Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutu "Dinamik sistemlərdə xaos" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, dosent
Elman Məhəmməd oğlu Şahverdiyev

Rəsmi opponentlər: AMEA-nın müxbir üzvü,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Səlimə İbrahim qızı Mehdiyeva

Fizika elmləri doktoru, professor
Mirteymur Mirkazım oğlu Mirabutalıbov

Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
Vətən Həsənverdi oğlu Bədəlov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA Fizika İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:
AMEA-nın həqiqi üzvü,
fizika–riyaziyyat elmləri doktoru, professor
______________ **Nazim Timur oğlu Məmmədov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:
Fizika elmləri doktoru, dosent
______________ **Rəfiqə Zabil qızı Mehdiyeva**

Elmi seminarın sədri:
Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
______________ **Şakir Məmməd oğlu Nağıyev**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.

Bir sıra dinamik qeyri-xətti sistemlər parametrlərin müəyyən diapazonda olan qiymətlərində öz dinamikalarında xaotiklik nümayiş etdirirlər. Belə sistemlər demək olar ki, elmin bütün sahələrində, məsələn fizikada, kimyada, biologiyada, iqtisadiyyatda, sosiologiyada, və sair mövcuddur. Xaotik dinamika həm kəsilməz, həm də diskret sistemlərdə mövcud ola bilər. Xaotiklik hətta bir ölçülü diskret sistemlərdə mümkündür. Bu fakt böyük fundamental məna daşıyır, belə ki, aydın olur ki, hətta kiçik ölçülü sistemlər belə statistik sistemlərin bir çox xassələrinə malik ola bilər. Dinamik sistemlərdə xaotikliyin, qeyri-müəyyənliyin kəşfi Laplas determinizminə kvant mexanikasından sonra ən böyük zərbə oldu.

Xaos qeyri-xətti sistemlərdə yarana bilər. Əsas səbəb belə sistemlərdə parametrlərin bəzi qiymətlərində qeyri-stabilliyin yaranmasi və başlanğıc şərtlərinin sonsuz dəqiqliklə verilə bilməməsidir. Riyazi cəhətdən xaos Lyapunov əmsalı – iki yaxın trayektoriyanın zaman keçdikcə uzaqlaşma sürətini göstərən kəmiyyət – müsbət olanda yaranır.Yəni xaotik sistem başlanğıc şərtlərinin kiçicik dəyişməsinə çox həssasdır. Buna bəzən kəpənək effekti də deyirlər. Məsələn kəpənəyin qanadlarının cənubi Amerikada yaratdığı hava təlatümü Şimali Amerikaya çatanda tornadoya çevrilə bilər. Xaosun attraktoru (zaman keçdikcə sistemin trayektoriyasının yaxınlaşdığı və gəzdiyi sahə) fraktal-kəsr olur. Trayektoriyalarin sonsuzluğa getməməsi də əsas şərtdir.

Hal-hazırda xaotik dinamikanın mövcudluğu bir çox sahələrinə aid olan qeyri-xətti sistemlərdə sübuta yetirilmişdir. Başqa sözlə, xaotik dinamika qeyri-xətti sistemlərin evolyusiyasının mühüm əlamətlərindəndir, və bu dinamika həm təbiətdə, həm də süni sistemlərdə geniş yayılmışdır. Ümumilikdə, belə dinamikanın vurduğu zərər, və ya xeyri haqqında bir mənalı fikir yürütmək olduqca çətindir və bu qarşıya qoyulan məqsəddən asılıdır. Belə ki, xaotik dinamikanın mövcudluğu bir sıra hallarda kimyəvi reaksiyaların sürətinin artırılmasına, istilik və maddə mübadiləsinin

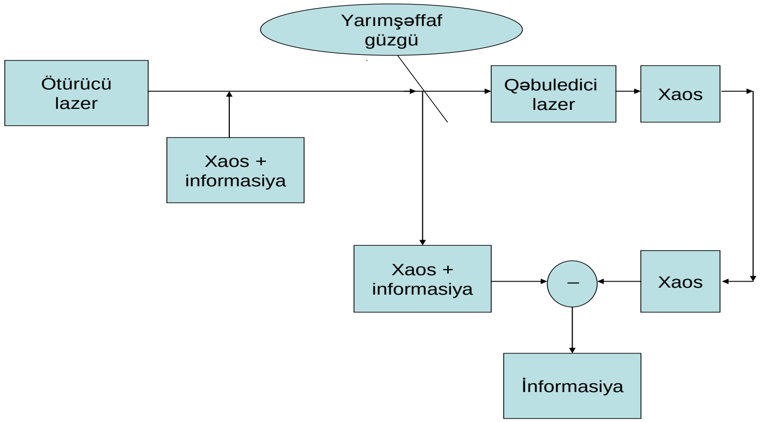
sürətlənməsinə kömək edə bilər. Bir sıra hallarda xaotik dinamikanın mövcudluğu arzu olunmazdır. Məsələn, tikinti konstruksiya elementlərinin xaotik vibrasiyası sistemin mexaniki dağılmasını sürətləndirə bilər. Psixoloji baxımdan da xaotiklik bir yoruculuq və ya üzüntü faktoru ola bilər.

Xaotik dinamikanın ən mühüm əlamətlərindən biri bu dinamikanın başlanğıc şərtlərinin verilmə dəqiqliyinə həddən artıq həssaslığıdır. Belə həssaslıq bir tərəfdən dinamikanın uzunmüddətli proqnozunu qeyri-mümkün edir, digər tərəfdən isə dinamikanın müəyyən məqsədə və ya vəziyyətə az enerji sərf etməklə çatmasına imkan yaradır. Son illər xaotik dinamikanın idarə olunması istiqamətində mühüm addımlar atılıb. Xaotik dinamikanın idarə olunması deyəndə xaotik ossilyasiyaların periodik, kvaziperiodik və ya stasionar vəziyyətə gətirilməsi və ya qeyd olunanların əksi nəzərdə tutulur. Belə idarə olunma qeyri-xətti sistemin parametrlərinə, dinamik dəyişənlərin özünə müdaxilə etməklə həyata keçirilə bilər.

İki və ya daha çox sistemin xaotik rəqslərinin sinxronlaşdırılması da xaosun idarə olunmasının bir üsuludur. Belə ki, bu zaman sonucda xaotik sistemlər bir-biri ilə unison dinamika üzrə öz ossilyasiyalarını davam etdirirlər. Xaotik dinamikanın idarə olunması məxfi informasiya mübadiləsi sistemlərində, qeyri-xətti sistemlərin fəaliyyətinin optimallaşdırılmasında və sair istifadə oluna bilər.

İnformasiya - kommunikasiya sistemlərində ötürücü və qəbuledici sistemlər arasında sinxronlaşma qəbuledici sistemdə ötürülən informasiyanın deşifrə olunması üçün çox vacibdir. Şəkil 1-də xaos əsasında informasiya mübadiləsinin prinsipləri qeyd olunub. Belə ki, ötürücü sistemdə lazımi informasiya bu sistemin xaotik dinamikası ilə maskalanır və cəmlənmiş siqnal qəbulediciyə göndərilir.Bu siqnal qəbuledicidən əvvəl iki yerə bölünür. Qəbuledicidən keçən hissə sinxronlaşma hesabına ötürücü sistemın xaotik dinamikasını bərpa edir. Siqnalın ikinci hissəsindən qəbuledicinin çıxışındakı nəticəni çıxmaqla ötürülən mesajı deşifrə

etmək olar. Beləliklə, iki sistem arasında sinxronlaşma informasiya mübadiləsi və emalı üçün çox vacibdir.



Şəkil 1. Xaos əsasında kommunikasiyanın prinsipal sxemi

Ənənəvi kriptoqrafik sistemlərdə informasiyanin etibarlılığı üçün program, yəni software imkanlarından istifadə olunur; amma kompyuterlərin informasiyanı emal sürətinin (CPU) günü-gündən artdığı bir zamanda belə metod, yanaşma böyük risklə müşayiət olunur. Lazer xaosu əsasında kommunikasiya sistəmlərində informasiyanın mühafizə dərəcəsi software kriptoqrafiyasının üstünə avadanlıq (hardware) kriptoqrafiyasını əlavə etməklə artırıla bilər. Yəni axırıncı metodda informasiyanın oxunması üçün ötürücü və qəbuledici sistemlərin sinxronlaşması da vacibdir. Belə sinxronlaşma üçün ən azı lazer sistemlərinin 200-300 parametrləri uyğunlaşdırılmalıdır ki, bu da real vaxt sistemində icazəsiz (unauthorized) şəxsin informasiyani deşifrə etməsini praktiki olaraq qeyri- mümkün edir. Xaos əsasında informasiya mübadiləsi sistemi alternativ, sadə, ucuz (cost effective) və yüksək mühafizəyə və sürətə malik bir sistem olaraq elmi ədəbiyyatda təbliğ olunur.

Xaotik sistemlər arasında sinxronlaşmanın araşdırılması təkcə onun informasiya - kommunikasiya sistemlərində tətbiq perespektivləri ilə bağlı deyil. Lazer sistemləri arasında sinxronlaşma

kompakt və yüksək intensivliyə malik enerji sistemləri üçün çox vacibdir. Bundan əlavə, lazer sistemləri arasında sinxronlaşma, sinxronlaşma xətasının idarə olunması hesabına bir-birinə transformasiya olunan məntiq elementlərinin yaradılmasına gətirib çıxara bilər, bu isə öz növbəsində daha kompakt və sürətli kompüter sistemlərinin yaradılmasına töhfə verə bilər. İki və ya daha çox sistem arasında sinxronlaşma-desinxronlaşma keçidinin öyrənilməsi təbabət üçün maraqlı ola bilər. Bəzi fərziyyələrə görə məsələn epilepsiya xəstəliyinin əsas səbəblərindən biri insan beynindəki neyronlar arasında sinxronlaşma ilə bağlı ola bilər. Sinxronlaşma-desinxronlaşma keçidinin araşdırılması müəyyən arealda infeksion xəstəliklərin dinamikasi üçün əhəmiyyət kəsb edə bilər: müxtəlif ərazilər arasında desinxronlaşma belə xəstəliklərin yayılmasının qarşısını ala bilməkdə kömək edə bilər. Fundamental nöqteyi-nəzərdən mürəkkəb sistemlərdə müxtəlif alt(sub)-sistemlər arasında sinxronlaşma belə sistemdə müəyyən istiqamlərdə qeyri-müəyyənliyin azalmasına gətirib çıxarır.

Qeyd olunduğu kimi, xaotik dinamika həm kəsilməz, həm də diskret sistemlərdə mövcud ola bilər. Adi törəməli diferensial qeyri-xətti sistemlərdə xaosun mövcudluğu üçün ən azı üç dəyişənın olması vacibdir. Diskret sistemlərə gəlincə,xaotiklik hətta bir ölçülü diskret sistemlərdə mümkündür. Qeyd etmək lazımdır ki, elmi ədəbiyyatda sübut olunub ki, belə sadə sistemlərdə xaos əsasında informasiya mübadiləsi sistemlərində yüksək dərəcəli məxfilik səviyyəsi qeyri-mümkundür. Ona görə son zamanlar alternativ xaotik sistemlər kimi daha çox funksional diferensial sistemlər araşdırılır. Belə sistemlərdə dəyişənin indiki zamandan əvvəl vəziyyəti də sistemə daxil olur. Bu sistemlər daha realdır, çünki onlar informasiyanın, işığın yayılma sürətinin sonlu olmasını nəzərə alırlar. Belə sistemlərin bariz nümayəndələrindən biri zamana görə gecikən arqumentli diferensial sistemlərdir(Delay-differensial equations). Belə sistemlər əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlərin modelləşdirilməsində yarana bilər.

Bu sistemlərdə xaos daha mürəkkəb ola bilər, çünki onlar hiperxaos nümayiş etdirirlər. Hiperxaosda müsbət Lyapunov əmsalı

bir neçədir və bu əmsalların sayi arqumentin (zamanın artımı ilə) daha da çox olur. Belə sistemlərdə faza fəzasının ölçüləri sonsuz böyük olur, çünki adi törəməli diferensial sistemlərdən fərqli olaraq başlanğıc şərtləri bir nöqtədə verilmir, intervalda verilir. Bu səbəbdən funksional sistemlər xüsusi törəməli diferensial tənliklər sistemi ilə əhatə olunan hadisələrin adekvat modelləşdirilməsində mühüm əhəmiyyətə malikdir.

Beləliklə, elmi ədəbiyyatda bir əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında sinxronlaşma geniş tədqiq olunsa da, bir neçə əks əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında sinxronlaşmanın kompleks araşdırılması nisbətən yenidir. Xüsusi ilə modulyasiya olunmuş əks-əlaqə rabitəsi və sistemlər arasında bağlantı əlaqəsinin modulyasiyası şəraitində sinxronlaşmanın tədqiqi qeyd olunmalıdır. Cozefson kontaktları arasında sinxronlaşmanın tədqiqi də bu istiqamətdə atılan ilk addımlardandır. Belə sinxronlaşma hesabına tətbiq üçün adekvat gücə malik mobil, daşınan, kiçik qabaritli və nisbətən ucuz başa gələn terahers mənbələri yaratmaq olar.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi bir və ya bir neçə əks-əlaqə və bağlantı rabitəsinə malik sistemlər arasında sinxronlaşma rejimlərinin tədqiqidir.

Göstərilən məqsədə nail olmaq üçün qarşıya aşağıdakı vəzifələr qoyulmuş və həll edilmişdir:

- Bir əks-əlaqə rabitəsinə malik funksional sistemlər arasında sinxronlaşma rejimlərinin zəruri və kafi şərtlərinin müəyyənləşdirilməsi;
- Sistemlər arasında parametr uyğunsuzluğunun sinxronlaşmanın keyfiyyətinə təsirinin müəyyən olunması;
- Bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında sinxronlaşma rejimlərinin zəruri və kafi şərtlərinin tapılması;
- Sistemlər arasında parametr uyğunsuzluğunun bəzi sinxronlaşma rejimlərinin mövcudluğu üçün həlledici olmasının müəyyənləşdirilməsi;
- Modulyasiya olunmuş (o cümlədən xaotik modulyasiya) əks-əlaqə rabitəsi və sistemlər arasında bağlantının modulyasiya olunması şəraitində sistemlər arasında sinxronlaşmanın

mümkünlüyünün müəyyən olunması;

- Parametr fərqliliyi mühitində sistemlər arasında ümumiləşmiş sinxronlaşma şərtlərinin tapılması;
- Ardıcıl birləşmiş Cozefson kontaktları arasında sinxronlaşmanın mümkünlüyünün müəyyən olunması.

Tədqiqat metodları: Dissertasiyada əsas tədqiqat obyektləri olaraq qeyri-xətti fizikada, o cümlədən xaotik dinamikada test modelləri kimi istifadə olunan İkeda və Maki-Qlas sistemləri və Cozefson kontaktları seçilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu dissertasiyada tədqiq olunan fiziki modellərin hamısı ölçüsüz vahidlərdə yazılıb.

Tədqiqat metodları olaraq həm müasir nəzəri, həm də kompyuter modelləşdirilməsi yanaşmaları seçilmişdir. Nəzəri metodlar arasında xüsusi olaraq zamana görə gecikən sistemlərin həllinin stabillik şərtlərini tapmaq üçün geniş tətbiq olunan Lyapunov-Krasovski və Lyapunov-Razumixin funksional yanaşmaları tətbiq olunmuşdur. Kompyuter simulyasiyaları əsasən Matlab proqramları çərçivəsində DDE23 və DDESD funksional sistemlərin araşdırılması üçün tətbiq olunan proqramların köməyi ilə həyata keçirilmışdır.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar aşağıdakılardır:

- ✓ Bir əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlərdə stabil sinxronlaşmanın müxtəlif növləri mövcuddur.
- ✓ Bəzi hallarda sistemlər arasında parametr müxtəlifliyi sinxronlaşmanın mövcudluğu üçün əsas şərtdir.
- ✓ Bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında sinxronlaşma rejimlərinin sayı bir əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında sinxronlaşma rejimlərinin sayından dəfələrlə çoxdur.
- ✓ Modulyasiya olunmuş əks-əlaqə rabitəsinə və bağlantıya malik sistemlər arasında sinxronlaşma mümkündür.
- ✓ Parametr uyğunzusluğu şəraitində funksional sistemlər arasında ümumiləşmiş sinxronlaşmanın mövcudluğu.
- ✓ Bir-istiqamətli bağlantı rabitəsinə malik Cozefson kontaktları arasında sinxronlaşma mümkündür.

Tədqiqatın elmi yeniliyi.

- Bir əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında sixronlaşma rejimlərinin stabillik şərtləri müəyyən olunub.
- Müəyyən olunub ki, sistemlər arasında parametr müxtəlifliyi sinxronlaşmada konstruktiv rol oynaya bilər.
- Bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında stabil sinxronlaşma rejimləri tapılıb. Belə rejimlərin sayı bir əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlərlə müqayisədə daha çoxdur.
- Gostərilib ki, əks-əlaqə rabitəsinin və sistemlər arasında əlaqə rabitəsinin xaotik və harmonik modulyasiyası şəraitində sinxronlaşma mövcud ola bilər.
- Parametr fərqliliyi mühitində funksional sistemlər arasında ümumiləşmiş sinxronlaşma mümkündür.
- Müəyyən edilib ki, bir istiqamətli ardıcıl birləşmış Cozefson kontaktları arasında sinxronlaşma mümkündür. Bu zaman sinxronlaşmanın keyfiyyəti Cozefson kontaktları arasında əlaqə siqnalının yayılma vaxtından əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiya işində həyata keçirilən tədqiqat onu göstərir ki, sadə, kiçik ölçülü sistemlər belə müəyyən şərtlər daxilində fluktuativ, xaotik dinamika yarada bilər. Bu nəticə təsadüfi ədədlər generasiyasında tətbiq oluna bilər. Mürəkkəb sistemlərdə sinxronlaşma rejimlərinin mövcudluğu belə sistemlərin müəyyən istiqamətlərdə kompyuter modelləşdirilməsini asanlaşdıra bilər. Sistemlər arasında sinxronlaşma bir-birinə çevrilə bilən dinamik məntiq elementlərinin yaradılmasında istifadə oluna bilər ki, bu kompyuterlərin hesablama sürətinin artırılmasına gətirib çıxara bilər.

Dissertasiya işinin nəticələrindən xaos əsasında yüksək sürətli etibarlı informasiya mübadiləsi və emalı sistemlərində istifadə oluna bilər. Müasir informasiya mübadiləsi sistemlərində təhlükəsizlik çox böyük ədədlərin faktoriala ayrılmasının çətinliklərində bərqərar olur. Kompüterlərin hesablama sürətinin günbə-gün, ayba-ay artması belə yanaşmanın təhlükəsizliyinə xələl gətirə bilər. Kvant sistemləri əsasında ideal təhlükəsiz informasiya mübadiləsi sistemlərinin hələ

uzun müddət praktiki mərhələdən uzaq olacağını nəzərə alaraq demək olar ki,, lazer xaosu əsasında təhlükəsizlik mövcud sistemlərə əlavə etibarlılıq kəməri təklif edə bilər.

Çoxsaylı Cozefson kontaktları arasında sinxronlaşma praktiki tətbiq üçün gücə malik Terahers diapazonunda dalğa mənbəyi kimi istifadə oluna bilər.

Tədqiqatın aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin əsas nəticələri Fizika üzrə VI Respublika elmi-praktik konfransında (Bakı, 13-15 dekabr, 2012) və AMEA Fizika İnstitutunun elmi seminarlarında məruzə və müzakirə edilmişdir.

Alınan nəticələrin dürüstlüyü və etibarlığı sınanmış və müasir riyazı yanaşmaların tətbiqi ilə alınmış nəticələrin müasir kompyuter simulyasiyası proqramları ilə aparılan hesablamalarla yüksək dərəcədə üst-üstə düşməsindədir. Bundan əlavə, alınmış nəzəri nəticələr mövcud eksperimentlərin nəticələri ilə də təsdiqlənir.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Çap olunmuş işlər. Dissertasiya mövzusu üzrə 11 elmi əsər çap olunmuşdur.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarələrlə ümumi həcmi. Dissertasiyanın struktur bölmələrinin həcmi aşağıdakı kimidir: titul səhifəsi – 400 işarə; mündəricat – 2435 işarə; giriş – 24360 işarə; dissertasiyanın əsas məzmunu- 168045 işarə; nəticə – 4652 işarə; istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı – 21583 işarə; ixtisarların siyahısı – 580 işarə. Dissertasiyanın işarələrlə ümumi həcmi – 221970 işarə. Dissertasiyanın həcmi (şəkillər, cədvəllər, qrafiklər, əlavələr və ədəbiyyat siyahısı istisna olmaqla) – 200 000 işarə.

Ümumilikdə dissertasiya işi giriş, 6 fəsil, nəticə və ədəbiyyat siyahısından, ixtisarların və şərti işarələrin siyahısından ibarətdir. İşin ümumi həcmi 45 şəkil və 152 adda ədəbiyyat siyahısı da daxil olmaqla ümumilikdə 173 səhifəni əhatə edir.

Dissertasiya üzrə alınmış nəticələrdə iddiaçının şəxsi töhfəsi. İki məqalə istisna olmaqla dissertasiya mövzusu üzrə işlər

başqa müəlliflərlə birgə çap olunub. Lakin müdafiyə təqdim olunan əsas elmi müddəalar müəllifin birbaşa iştirakı və aparıcılığı ilə alınmışdır. Müəllif həm də məsələlərin qoyuluşunda, riyazı yanaşmaların tətbiqində, nəticələrin alınmasında, müzakirəsində və məqalələrin çapa hazırlanmasında aparıcı rol oynamışdır.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Dissertasiyanın **giriş** hissəsində dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılıb, işin məqsədi müəyyən olunub, alınmış elmi nəticələrin yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti göstərilib. Müdafiəyə çıxarılan müddəalar və dissertasiyanın fəsillər üzrə qisa məzmunu təqdim olunub.

Dissertasiyanın **birinci fəslində** xaotik rəqslərin idarə olunmasına dair elmi ədəbiyyatın icmalı verilib. Əsas diqqət funksional sistemlərdə əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında xaotik rəqslərin sinxronlaşmasına yönəlib. Həm bir, həm də bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlərdə sinxronlaşma hadisəsi diqqət mərkəzində olub. Əsas diqqət İkeda, Maki-Glas və Cozefson kontaktlarının dinamikasına ayrılıb. Birinci fəslin sonunda dissertasiya qarşısında duran məqsəd təqdim olunub. Bu fəslin əsas nəticələri aşağıdakı məqalədə dərc olunmuşdur [10].

Dissertasiyanın **ikinci fəslində** bir-biri ilə qeyri-xətti və birtərəfli əlaqədə olan bir əks-əlaqə rabitəsinə malik İkeda sistemləri arasında sinxronlaşma rejimləri üçün mövcudluq və stabillik şərtləri tədqiq olunub. Əsas diqqət qabaqlayıcı sinxronlaşmanın tədqiqinə yönəlib. Qabaqlayıcı sinxronlaşma zamanı aparılan və ya idarə olunan sistem aparan və ya idarə edən sistemin gələcək vəziyyətinə sinxronlaşır.Başqa sözlə intiusiyanın əksinə bir proses baş verir. idarə olunan sistemin dinamikası idarə edən sistemin dinamikasını qabaqlayır. Qeyd etmək lazımdır ki, əslində bu proses asimptotikdir və ona görə də səbəb və nəticə prinsipinin pozulması müşahidə edilmir. Dissertasiyanın bu fəslində qabaqlayıcı sinxronlaşmanın mövcudluq, zəruri və kafi stabillik şərtləri müəyyən edilmişdir. Kafi stabillik şərtini tapmaq üçün zamana görə gecikən differensial

tənliklər sisteminin həlli Lyapunov-Krasovski funksional yanaşması əsasında tədqiq olunmuşdur. Zəruri stabillik şərtini müəyyən etmək üçün sinxronlaşma xətasının dinamikası üçün ən böyük eninə Lyapunov əmsalı hesablanmışdır.

Aparıcı (idarəedən, master, driver) sistemin $x(t)$ və aparılan (idarəolunan, slave, response) sistemin $y(t)$ arasında sinxronlaşma rejimlərini araşdıraq:

$$\frac{dx}{dt} = -\alpha_1 x + m_1 \sin x_{\tau 1} \tag{1}$$

$$\frac{dy}{dt} = -\alpha_2 y + m_2 \sin y_{\tau_2} + m_3 \sin x_{\tau 3} \tag{2}$$

Burada $x(\tau) \equiv x(t-\tau)$; α -relaksasiya əmsalı; m_1 və m_2 - optik rezonatorlara injektə olunmuş lazer şualarının intensivlikləri; τ_1 və τ_2 - aparıcı və idarə olunan sistemlər üçün əks-əlaqə rabitəsi zamanı; m_3 - sistemlər arasında əlaqə intensivliyi; Bu əlaqə ani deyil və τ_3 gecikməsi ilə baş verir. Müəyyən olunub ki, $\alpha_1 = \alpha_2$, $\tau_1 = \tau_2$, $m_1 = m_2 + m_3$ şərtləri daxilində $x = y_{\tau_1 - \tau_3}$ (və ya $y = x_{\tau_3 - \tau_1}$) - sinxronlaşma rejimidir.Bu rejimin kafi stabillik şərti isə belədir: $\alpha > |m_2|$. $\tau_1 > \tau_3$ halı qabaqlayıcı sinxronlaşma halına uyğun gəlir: $y(t) = x(t - \tau_3 + \tau_1)$ $\tau_1 < \tau_3$-gecikən, $\tau_1 = \tau_3$ isə identik(tam) sinxronlaşmadır. Sinxronlaşmanın keyfiyyətini müəyyən etmək üçün korelyasiya əmsalından istifadə olunur.

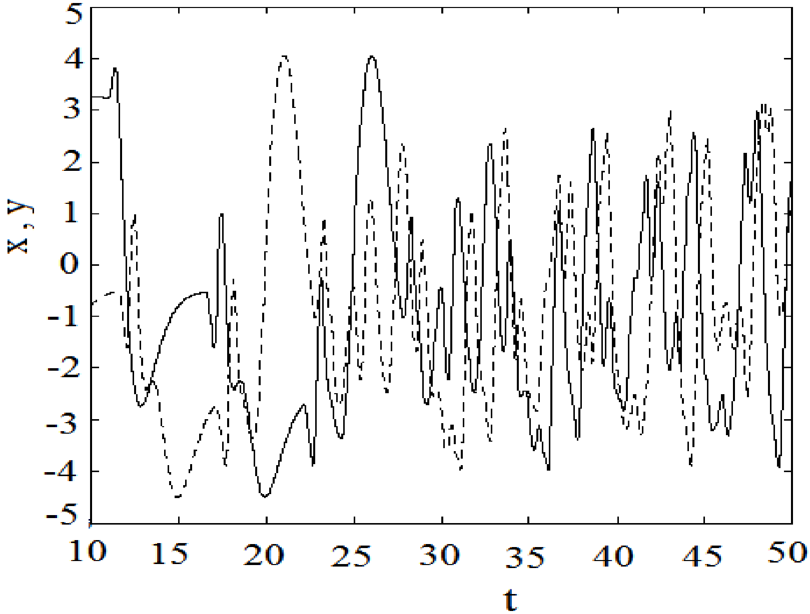
$$C(\Delta t) = \frac{\langle (x(t) - \langle x \rangle)(y(t+\Delta t) - \langle y \rangle) \rangle}{(\langle (x(t) - \langle x \rangle)^2 \rangle \langle (y(t+\Delta t) - \langle y \rangle)^2 \rangle)^{1/2}} \tag{3}$$

$\langle . \rangle$-zamana görə orta qiymət; Δt -sinxronlaşan sistemlər arasında zaman fərqidir. Məsələn, qabaqlayıcı sinxronlaşmada $\Delta t = \tau_1 - \tau_3$ ola bilər.

C=±1 - yüksək keyfiyyətli sinxronlaşma halına uyğundur. Şəkil 2-də idarəedən x və idarə olunan y sistemlərin dinamikası parametrlərin

$$\alpha = 2,\ m_1 = 10,\ \tau_1 = 5{,}5,\ \tau_3 = 0{,}5\ ,\ m_2 = 0{,}2,\ m_3 = 9{,}8$$

qiymətlərində nümayiş etdirilmişdir: idarəedilən (qırıq xət) sistem idarəedən (bütöv xət) sistemi $\Delta t = \tau_1 - \tau_3$ zaman vahidi qabaqlayır.

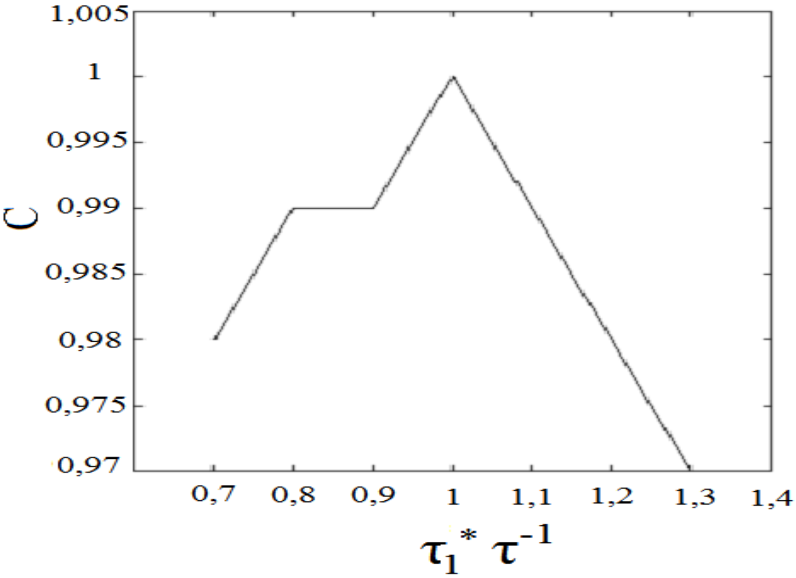


Şəkil 2. y idarəedilən (qırıq xət) sistem x idarəedən (bütöv xət) sistemi $\Delta t = \tau_1 - \tau_3 = 5$ zaman vahidi qabaqlayır.

İkinci fəslin sonunda parametr fərqliliyinin sinxronlaşmanın keyfiyyətinə təsirinin kompyuter modelləşdirilməsinin nəticələri onu

göstərir ki, bu halda sinxronlaşma keyfiyyəti azacıq da olsa pisləşir. Amma buna baxmayaraq yenə də sinxronlaşma əmsalı kifayət qədər yüksəkdir. Şəkil 3-də qabaqlayıcı sinxronlaşma üçün korelyasiya funksiyasının (C) idarəolunan və idarəedən sistemlərdə əks-əlaqə rabitəsi zamanın nisbətindən asılılığı göstərilib. Digər papametrlər səkil 2-dəki kimidir.

Bu fəsildə araşdırdığımız hal parametr uyğunsuzluğunun sinxronlaşmaya təsirinin yalnız bir aspektidir. Sonrakı fəsildə göstərəcəyik ki, bəzi hallarda sinxronlaşmada parametr uyğunsuzluğu destruktiv yox, konstruktiv rol oynaya bilər və faktiki olaraq sinxronlaşmanı həyata keçirməyin yeganə yoludur.



Şəkil 3. Korelyasiya funksiyası C-nın sinxronlaşan İkeda sistemləri arasında $\tau_1^{*}\tau^{-1}$ nisbətindən asılılığı. τ_1^{*} və τ müvafiq olaraq idarəedilən və idarəedən sistemlərdə əks-əlaqə rabitəsi zamanıdır.

Ikinci fəslin əsas nəticələri aşağıdakı məqalələrdə dərc olunmuşdur [1,11].

Üçüncü fəsildə sinxronlaşan sistemlər arasında parametr uyğunsuzluğunun sinxronlaşma rejimlərinə təsiri ətraflı tədqiq olunub. Sinxronlaşan sistemlər birtərəfli və ikitərəfli əlaqəyə malikdirlər və bu əlaqə signalın yayılma sürəti məhdud olduğundan müəyyən gecikmə ilə baş verir. Sinxronlaşma rejimləri həm ümumi formada, həm də bu ümumi yanaşmanın konkret populyar dinamik sistemlərə tətbiq olunaraq araşdırılıb. Tədqiq olunan modellər- zamana görə gecikən funksional differensial tənliklər qeyri-xətti dinamikada tez-tez müraciət olunan paradiqmatik İkeda və Maki-Glas sistemləridir.

Qeyd etmək lazımdır ki, ümumi halda sinxronlaşan sistemlər arasında parametr fərqliliyi bir çox hallarda sinxronlaşmanın keyfiyyətinə mənfi təsir edir; bəzi hallarda isə sinxronlaşma xətası sıfıra yaxınlaşmır, ancaq sıfır ətrtafında dəyişir. Bir sıra hallarda parametr uyğunsuzluğu tam(identik) sinxronlaşmanı gecikən sinxronlaşmaya çevirir. Parametrlərin fərqliliyinin böyük qiymətlərində isə sinxronlaşma yox olur. İkinci fəsildə müəyyən etdik ki, identik parametrlər və qeyri-xətti bağlantı şəraitində aparıcı sistemin əks-əlaqə rabitəsi zamanın sistemlər arasında bağlantı zamanına münasibətindən asılı olaraq qabaqlayıcı, gecikən və tam sinxronlaşma baş verə bilər.

Üçüncü fəsildə tədqiq edilən məsələ isə tamamilə başqadır sistemlər arasında parametr uyğunsuzluğu sinxronlaşma yaradır. Nümayiş olunur ki, bir çox hallarda parametr fərqliliyi yeganə vasitədir ki, sinxronlaşma yaratsın. Ən əsası isə odur ki, bu şəraitdə digər sinxronlaşma rejimlərinin mövcudluğuna yol verilmır. Analitik nəticələr kompyuter modelləşdirilməsi ilə tamamilə təsdiqlənir. Bu zaman bir mühüm faktı da qeyd etmək lazımdır: parametr uyğunsuzluğu və sinxronlaşan sistemlər arasında bağlantının xətti və ya qeyri-xətti olması. Başqa sözlə sistemlər arasında bağlantını və parametr müxtəlifliyini elə “seçmək” olar ki, yalnız bir növ sinxronlaşma rejimi həyata keçsin. Başqa sinxronlaşma rejimləri isə qadağan olunur. Sözsüz ki, bu cür selektiv sinxronlaşma geniş tətbiq sahəsinə malik ola bilər. Hətta ola bilsin ki, bu cür selektiv sinxronlaşma təkamül nəticəsində canlı aləmdə informasiya

mübadiləsində və emalında müəyyən rol oynasın. Bu cür nəticə ona əsaslanır ki, düşünülmüş şəkildə sinxronlaşan sistemlər arasında bağlantının növünü və parametr müxtəlifliyini “seçməklə” bəzi növ sinxronlaşma rejimlərini oyundan kənarda qoymaq olar və ya digər növ sinxronlaşma rejimini həyata keçirmək olar.

Bu fəsildə həm də dəyişən əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında gecikən sinxronlaşma tədqiq olunur. Qeyd edək ki, bu zaman sinxronlaşan sistemlər arasında bağlantı zamanı modulyasiyaya məruz qalmır. Ümumi şəkildə sinxronlaşan sistemlər arasında bağlantının da modulyasiya olunması halı dördüncü fəsildə hərtərəfli araşdırılacaq.

Beləliklə üçüncü fəsildə müəyyən olunub ki, sistemlər arasında bağlantı növünü və parametr uyğunsuzluğunu seçməklə selektiv sinxronlaşmaya nail olmaq olar. Bu halda sinxronlaşma rejimi üçün mövcudluq və stabillik şərtləri müəyyən edilib. İdarəedən

$$\frac{dx}{dt} = -\alpha_1 x + m_1 f(x_{\tau_1}) \tag{4}$$

və idarəolunan sistemlər arasında

$$\frac{dy}{dt} = -\alpha_2 y + m_2 f(y_{\tau_1}) + m_3 x_{\tau_2} \tag{5}$$

xətti gecikən bağlantı şəraitində sinxronlaşma rejimlərini araşdıraraq belə nəticəyə gəlmək olar ki, $m_1 = m_2$ və $\alpha_2 - \alpha_1 = m_3$ şərtləri daxilində yalnız

$$x_{\tau_2} = y \tag{6}$$

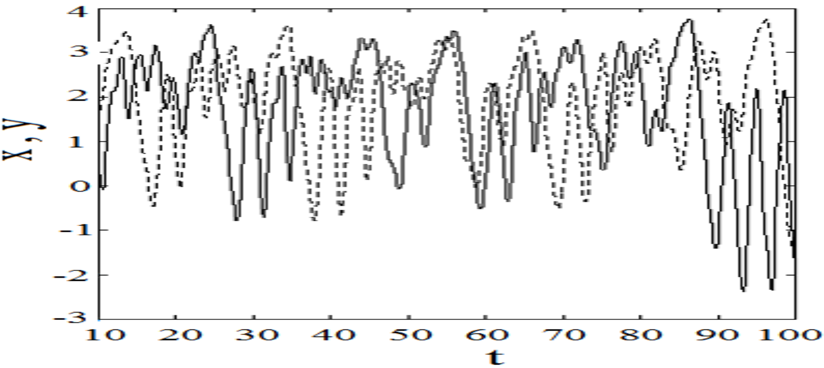
gecikən sinxronlaşma rejimi mövcuddur və bu rejim

$$\alpha_2 > \left| m_1 f'(x_{\tau_1+\tau_2}) \right| \tag{7}$$

şərti daxilində stabildir. Burada f' x -ə görə törəməni bildirir. Qeyd edək ki, İkeda modeli üçün $f(x_\tau) = \sin(x_\tau)$ və Maki-Glas

modeli üçün isə $f(x_\tau) = \frac{x_\tau}{1 + x_\tau{}^b}$; burada b -müəyyən sabit ədəddir, adətən $b = 10$ qəbul olunur. Bu halda İkeda modeli üçün stabillik şərti (7) $\alpha_2 > |m_1|$ kimi və Maki-Glas modeli üçün stabillik şərti isə $\alpha_2 > \left| m_1 \frac{(b-1)^2}{4b} \right|$ kimi yazıla bilər.

Beləliklə aparıcı sistemin əks-əlaqə rabitəsi zamanının sistemlər arasında bağlantı zamanına münasibətindən asılı olmayaraq yalnız gecikən sinxronlaşma mövcud ola bilər. Kompüter modelləşdirməsinin nəticələri nəzəri nəticələrlə üst-üstə düşür. Şəkil 4-də idarəedən və idarəedilən İkeda sistemlərinin dinamikası parametrlərin aşağıdakı qiymətlərində göstərilmışdir: $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 6$, $m_1 = m_2 = 4$, $m_3 = 5, \tau_1 = 3, \tau_2 = 10$. Qeyd edək ki, parametrlərin bu qiymətləri gecikən sinxronlaşma rejimi üçün $y = x_{\tau_2}$ həm mövcudluq, həm də stabillik şərtlərini ödəyir.



Şəkil 4.Relaksasiya əmsallarının müxtəlifliyi şəraitində xətti əlaqədə olan İkeda sistemlərinin dinamikası. x aparıcı sistemin dinamikası (bütöv xət) y aparılan sistemi (qırıq xət) τ_2=10 zaman vahidi qabaqlayır.

Müşahidə etmək olar ki, nəzəri nəticələrə tam uyğun olaraq aparılan sistemin $y(t)$ dinamikası aparıcı sistemin $x(t)$ dinamikasını $\tau_2 = 10$ zaman addımı ilə izləyir: $y(t) = x(t - \tau_2) = x(t - 10)$. Şəkil 4-də təsvir olunan dinamika $\tau_1 < \tau_2$ halına uyğun gəlir. Kompyuter modelləşdirilməsi onu göstərir ki, nəzəri nəticələrə uyğun olaraq τ_1 və τ_2 münasibətlərindən asılı olmayaraq həmişə yalnız gecikən sinxronlaşma rejimi həyata keçir.

Üçüncü fəsildə həm də modulyasiya olunmuş əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında gecikən sinxronlaşma araşdırılıb. Qeyd etmək lazımdır ki, modulyasiya olunmuş əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər xaos əsasında informasiya mübadiləsi üçün daha da cəzbedicidir, çünki belə sistemlər daha yüksək təhlükəsizlik təminatı verə bilər. Belə sistemlər arasında stabil sinxronlaşma isə ötürülən informasiyanın qəbuledicidə deşifrə olunması üçün vacibdir. Modulyasiya olunan əks-əlaqə rabitəsi üçün $\tau_1(t)$ sinxronlaşma rejimi $x_{\tau_2} = y$ üçün stabillik şərti Lyapunov-Razumixin funksional yanaşması əsasında belə yazıla bilər:

$$\alpha_2^{\,2}\left(1 - \frac{d\tau_1(t)}{dt}\right) > \left(m_1 f'(x_{\tau_1(t)+\tau_2})\right)^2 \qquad (8)$$

Bu fəslin əsas nəticələri aşağıdakı məqalələrdə dərc olunmuşdur [2,3].

Dissertasiyanın **dördüncü fəslində** bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında sinxronlaşma tədqiq olunub və sinxronlaşmanın varlıq, zəruri və kafi şərtləri müəyyənləşdirilib. Qeyd edək ki bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər təbiətdə, elmin müxtəlif sahələrində, texnikada geniş yayılıb. Lazer sistemlərində əlavə əks əlaqə rabitəsi lazerin intensivliyinin stabilləşdirilməsində istifadə oluna bilər. Canlılar aləmində belə əks-əlaqələr normal funksiya və adaptasiya üçün istifadə oluna bilər. Elmi ədəbiyyatda müəyyən olunub ki, bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik lazer sistemləri daha mürəkkəb və kompleks xaos yaratmaqla məxfi informasiya mübadiləsi sistemləri üçün daha əlverişli ola bilər.

Bundan əlavə sübut olunub ki, bir neçə əks-əlaqə rabitəsi sistemlərində müsbət Lyapunov əmsallarının sayi bir əks-əlaqə rabitəsi sistemlərinə nisbətən daha çoxdur.;həm də bu Lyapunov əmsallarının ədədi qiyməti də yüksək ola bilər. Bu faktorları nəzərə alaraq, dördüncü fəsildə bir neçə əks əlaqəyə malik sistemlər arasında sinxronlaşma rejimləri araşdırılıb. *Dördüncü fəsildə* müəyyən olunub ki, bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlərdə sinxronlaşma rejimlərinin sayı bir əks-əlaqə rabitəsi sisteminə nisbətən dəfələrlə çox ola bilər.

Dissertasiyanın dördüncü fəslində bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik İkeda və Maki-Glas sistemləri arasında sinxronlaşma rejimləri araşdırılıb. Sistemlər arasında həm xətti, həm də qeyri-xətti bağlantı halları tədqiqat mövzusu olub. Burada yalnız iki əks-əlaqə rabitəsinə malik qeyri-xətti birtərəfli əlaqəli Maki-Glas sistemləri arasında sinxronlaşma rejimlərinin varlıq, və stabillik şərtləri təqdim olunacaq. Aparıcı

$$\frac{dx}{dt} = -\alpha\ x + k_1 \frac{x_{\tau_1}}{1 + x_{\tau_1}^b} + k_2 \frac{x_{\tau_2}}{1 + x_{\tau_2}{}^b} \tag{9}$$

və aparılan

$$\frac{dy}{dt} = -\alpha\ y + k_3 \frac{y_{\tau_1}}{1 + y_{\tau_1}^b} + k_4 \frac{y_{\tau_2}}{1 + y_{\tau_2}{}^b} + K \frac{x_{\tau_3}}{1 + x_{\tau_3}{}^b} \tag{10}$$

sistemlər arasında sinxronlaşma rejiminin $y = x_{\tau_3 - \tau_1}$ varlıq şərti

$k_1 = k_3 + K$, $k_2 = k_4$ stabilik şərti isə $\alpha > (k_1 + k_2)\frac{(b-1)^2}{4b}$.

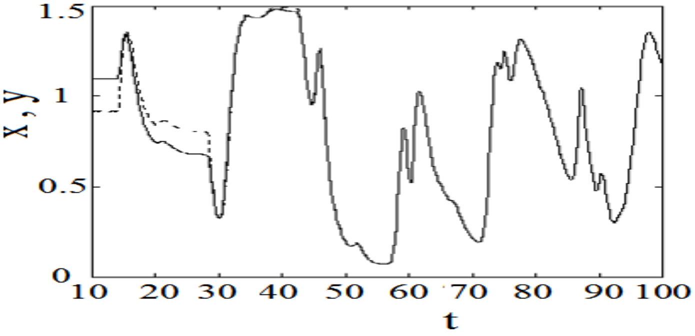
Sinxronlaşma rejiminin $y = x_{\tau_3 - \tau_2}$ varlıq şərti $k_2 = k_4 + K$,

$k_1 = k_3$ stabilik şərti isə $\alpha > (k_2 + k_3)\frac{(b-1)^2}{4b}$.

Qeyd edildiyi kimi, iki əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında sinxronlaşma rejimlərinin sayı 6-ya bərabərdir. Bir əks-

əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında isə 3-ə bərabərdir. Sinxronlaşma rejiminin çoxluğu tətbiq məsələlərində, xüsusi ilə də adapativlik nöqteyi-nəzərindən faydalı ola bilər.

Xətti əlaqəli sistemlər üçün isə (bu zaman (10)-cu tənlikdə əlaqə $K(x-y)$ kimi yazılır) $x=y$ sinxronlaşması mövcud ola bilər. Bu sinxronlaşmanın varlıq (zəruri) şərti belədir: $k_1=k_3, k_2=k_4$. $x=y$ sinxronlaşmasının kafi stabillik şərti isə belədir: $\alpha+K>(k_1+k_2)\frac{(b-1)^2}{4b}$. Kompyuter modelləşdirilməsinin nəticələri analitik nəticələrlə yaxşı uzlaşır. Şəkil 5-də xətti bağlantılı iki əks-əlaqə rabitəsinə malik idarəedən x və idarəolunan y Maki-Glas sistemləri arasında sinxronlaşma təsvir olunub.



. Şəkil 5. Xətti bağlantıya malik iki əks-əlaqə rabitəli idarəedən x (bütöv xət) və idarəolunan y (qırıq xət) Maki-Glas sistemlərinin dinamikası.

Sinxronlaşan sistemlər arasında korelyasiya əmsalı $C=1$. Kompyüter modelləşdirilməsində parametlərlərin aşağıdakı qiymətləri istifadə olunub:

$$\alpha=1, b=10, \tau_1=14, \tau_2=20, k_1=k_3=2, k_2=k_4=0.2, K=5.$$

Qeyd edək ki, $K=5$ qiyməti kafi stabillik şərtini ödəyir. Tələb olunan minimal xətti əlaqə intensivliyinin qiyməti isə $K\approx 3.46$-dır. Nəzəri hesablamalar və Kompyüter modelləşdirilməsinin nəticələri onu göstərir ki, parametrlərin verilən qiymətlərində sinxronlaşma hətta $K\approx 1.11$ olanda belə baş verir. Sonuncu qiymət sinxronlaşma xətasının $x-y$ dinamikasından hesablanan şərti Lyapunov əmsalının mənfi olmasından tapılır. Bu şərt daxilində müəyyən olunan K-nın qiymətlərində baş verən sinxronlaşma xarici təsirlərə, küyə, parametr uyğunsuzluğuna yüksək dərəcədə həssas olur.

Dördüncü fəsildə həm də modulyasiya olunmuş bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında sinxronlaşma araşdırılıb. Bu zaman əlaqə rabitəsi də modulyasiyaya məruz qalır. Bir tərəfli, qarşılıqlı xətti və ya qeyri-xətti əlaqəyə malik sistemlər arasında invers ($x=-y$) sinxronlaşma ətraflı tədqiq olunub. Şəkil 6-da qarşılıqlı əlaqəyə malik modulyasiya olunmuş əks-əlaqə rabitəsinə malik İkeda sistemləri arasında invers sinxronlaşma modulyasiya olunmuş əlaqə intensivliyi şəraitində nümayiş olunmuşdur:

$$\frac{dx}{dt}=-\alpha x-m_1\sin x(t-\tau_1)-m_2\sin x(t-\tau_2)+K_y\sin y(t-\tau_3) \qquad (11)$$

$$\frac{dy}{dt}=-\alpha y-m_3\sin y(t-\tau_1)-m_4\sin y(t-\tau_2)+K_x\sin x(t-\tau_3) \qquad (12)$$

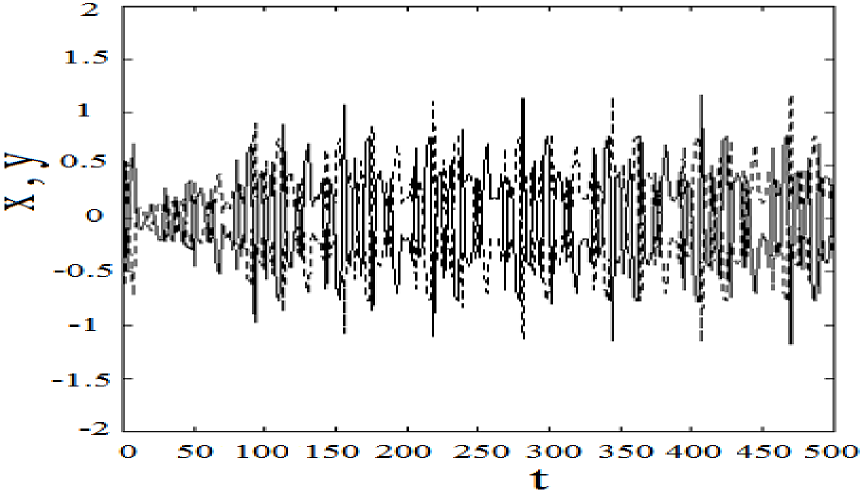
Burada

$\tau_{1,2}=\tau_{01,02}+x_1(t)\tau_{a1,a2}\sin(\varpi_{1,2}t)$ -modulyasiya olunmuş əks-əlaqə rabitəsi zamanlarıdır;

$\tau_3=\tau_{03}+x_1(t)\tau_{a3}\sin(\varpi_3 t)$- sinxronlaşan sistemlər arasında modulyasiya olunmuş əlaqə zamanıdır;

$\tau_{01,02,03}$- sabit komponentdir ; $\tau_{a1,a2,a3}$-modulyasiya amplitududur; $\varpi_{1,2,3}$- modulyasiya tezliyidir;

$x_1(t)$ - (11) İkeda sisteminin sabit τ_1 və τ_2 zamanı üçün həllidir. $m_{1,2}$ və $m_{3,4}$ müvafiq olaraq x və y sistemləri əks-əlaqə rabitəsinin intensivliyidir; $K_{x,y}$ - x və y sistemləri arasında əlaqə intensivlikləridir. Dəyişən əks-əlaqə rabitəsi və əlaqə intensivliyi $\tau_{1,2,3}$ zamanı həm xaotik, həm də deterministik modulyasiya komponentlərini birləşdirir.



Şəkil 6. Modulyasiya olunmuş iki əks-əlaqə rabitəsinə malik, qarşılıqlı modulyasiya olunmuş əlaqə intensivliyinə malik İkeda sistemləri arasında invers xaotik sinxronlaşma.

Kompyuter modelləşdirməsi parametrlərin aşağıdakı qiymətlərində həyata keçirilmişdir.

$\tau_1(t) = 3 + 2x_1(t)\sin(0.15t), \tau_2(t) = 5 + 2x_1(t)\sin(0.15t)$ və $\tau_3(t) = 7 + 2x_1(t)\sin(0.15t)$;

$\alpha = 3,\ m_1 = m_3 = 3.1,\ m_2 = m_4 = 2.5,\ K_x = K_y = 0.03.$

Dördüncü fəslin əsas nəticələri aşağıdakı əsərlərdə dərc olunmuşdur [4-8].

Dissertasiyanın **beşinci fəsli** parametr müxtəlifliyi şəraitində Maki-Glas və İkeda sistemləri arasında ümumiləşmiş sinxronlaşmanın tədqiqinə həsr olunub. Ümumiləşmiş sinxronlaşma zamanı sinxronlaşan sistemlər arasında funksional asılılıq mövcud olur. Bu hal belə sistemləri etibarlı kommunikasiya şəbəkəsi üçün daha cəzbedici edir, cünki ötürülən informasiyanın deşifrə olunması üçün sinxronlaşan sistemlər arasında funksional asılılığın formasını bilmək zəruridir. Bu asılılıq adətən çox mürəkkəb olduğundan kommunikasiya sistemlərinə müdaxilə edən icazəsi olmayan şəxsın real zaman vaxtında lazımi informasiyanı dekodlaşdırmaq üçün imkanları məhduddur.

Beşinci fəsildə əvvəlcə köməkçi sistemlər yanaşması vasitəsi ilə Maki-Qlas və İkeda sistemləri arasında ümumiləşmiş sinxronlaşmanın şərtləri Lyapunov-Krasovski funksionalı əsasında müəyyən edilib. Daha sonra bu tip sistemlər üçün ümumiləşmiş sinxronlaşmanın ümumi nəzəriyyəsi işlənib. Beşinci fəslin əsas nəticələri aşağıdakı məqalədə dərc olunmuşdur [6].

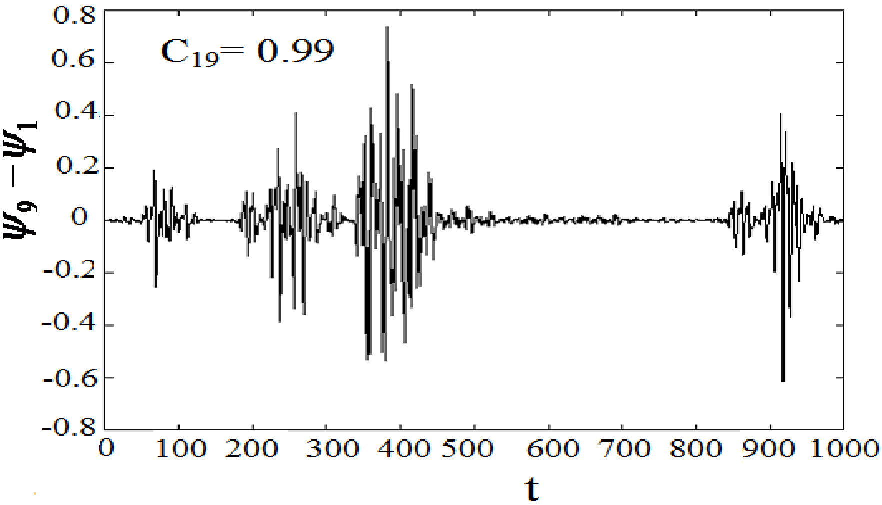
Altıncı fəsil Cozefson kontaklarına və bu kontaklar arasında sinxronlaşmaya həsr olunmuşdur. Əvvəlcə Cozefson kontaktları haqqında qısa məlumat və bu kontaklar arasında sinxronlaşmanın praktiki əhəmiyyəti haqqında məlumat verilir.Qeyd olunur ki, bu kontaklar da qeyri xətti dinamik sistemlərin mühüm bir sinifini təşkil edir. Bu sistemlərdə də parametrlərin müəyyən qiymətində xaotik dinamika mövcud ola bilər. Bu sistemlərdə xaosun və onun idarə olunmasının öyrənilməsi tətbiq nöqteyi-nəzərindən çox mühümdür. Xüsusilə xaosun idarə olunmasının bu kontaktların detektor kimi, gərginlik standartı kimi və sair bu kimi məqsədlər üçün istifadə olunmasında böyük əhəmiyyəti var. Bu hallarda xaotik qeyri stabillik arzu olunmazdır. Xaotik Cozefson kontaktları isə yaxın məsafələr üçün etibarlı rabitə sistemlərində, hər hansı bir lazımi obyektə qədər olan məsafənin yüksək dəqiqliklə təyin olunmasında mühüm rol oynaya bilər. Digər tərəfdən yaxşı məlumdur ki,Cozefson kontaktları Terahers (THs) diapazonuna qədər uzanan elektromaqnit dalğaları mənbəyi rolunu oynaya bilər. Məlumdur ki, THs dalğalar infraqırmızı və mikrodalğalar arasında yerləşir və görünən işıq

dalğalarının nüfuz edə bilmədiyi materiallarda yayıla bilər. THs dalğalar çox geniş sahələrdə tətbiq oluna bilər. Nümunə olaraq,məsələn kimyəvi analizi, təhlükəsizlik məqsədi ilə skrininqi, məsafədən qapalı konvertdəki partlayıcı maddələrin kimyəvi tərkibinin müəyyənləşməsini, insan orqanizmindəki xərçəng şişlərinin qeyri-dağıdıcı üsulla müəyyən olunmasını, yüksək zolaqlı etibarlı kommunikasiya sistemlərini və s. göstərmək olar. THs süaların telekommunikasiyada tətbiqi ilə onu xüsusi olaraq qeyd etmək lazımdır ki, Yer kürəsinin atmosferi THs dalğalarını güclü şəkildə udur, ona görədə bu dalğalar uzun məsafəyə kommunikasiya üçün istifadə olunmur.Ancaq qısa məsafələr (onlarla metr) üçün bu dalğalar yüksək zolaqlı kommunikasiya sistemləri üçün yararlıdır. Bundan əlavə, potensial olaraq THs dalğaları yüksək hündürlükdə peyk-peyk və ya peyk-təyyarə (digər yüksək hündürlükdə olan obyekt) rabitəsi üçün istifadə oluna bilər, çünki belə hündürlüklərdə bu dalğaları güclü udan su buxarı çox az miqdardadır.

Cozefson kontaktlarının THs dalğalarının mənbəyi kimi praktikada tətbiq imkanlarını araşdırarkən bir məsələni xüsusi ilə qeyd etmək lazımdır: Bir Cozefson kontaktının verə biləcəyi güc çox zəifdir (təxminən pikovat). Ona görə də praktiki tətbiq üçün dalğa gücünü artıra bilən mexanizmlərin müəyyənləşməsi çox böyük əhəmiyyətə malikdir. Çoxlu sayda Cozefson kontaklarının sinxronlaşması belə mexanizmlərdən biri ola bilər. Məlumdur ki, koherent mənbələrin sinxronlaşması zamanı alınan radiasiya gücü Cozefson kontaktlarının kvadratı ilə düz mütənasibdir. Bu hadisəyə supersüalanma deyilir. Xoşbəxtlikdən bu yaxınlarda müəyyən olunmuşdur ki, bir çox anizotrop yüksək temperaturlu kuprat ifratkeçiricilər minlərlə, hətta on minlərlə bir-biri ilə əlaqəli Cozefson kontaklarına malik ola bilər. Bu halda sinxronlaşma hesabına belə kontaklardan alınan güc millivat səviyyəsinə çata bilər. Lazımi halda belə kontakları süni şəkildə də hazırlamaq olar. Bu səbəbdən çoxlu sayda Cozefson kontaktları arasında sinxronlaşmanın mümkünlüyünün tədqiqi böyük əhəmiyyətə malikdir. Bu məqsədlə altıncı fəsildə sinxronlaşma xaotik dinamikaya malik Cozefson kontaktları arasında tədqiq olunur. Amma nəticələr digər qeyri xaotik

dinamikaya malik Cosefson kontaktları şəbəkəsi üçün də əhəmiyyətlidir. Məlumdur ki, qeyri-xətti sistemin dinamikasının xaotikliyi və ya qeyri-xaotikliyi sistemin parametrlərinin qiymətindən asılıdır.

Beləliklə altıncı fəsildə xaotik Cozefson kontaktları arasında sinxronlaşma tədqiq edilmişdir. Aparıcı sistem digərləri ilə ardıcıl birləşmişdır. Bu birləşmə real olaraq müəyyən gecikmə ilə baş verir. Aparıcı sistemin özündə isə zamana görə gecikməni nəzərə alan hədd yoxdur. Sistemlər arasında əlaqələr birtərəflidir. Müəyyən olunmuşdur ki, bu cür əlaqə topologiyasında Cozefson sistemləri arasında sinxronlaşma mümkündür. Amma o nəticə də alınmışdır ki, yüksək korelyasiya ilə sinxronlaşdırılan Cozefson kontaktlarının sayı bu konfiqurasiyada elə də böyük deyil və 10-u keçmir. Bu nəticə digər bağlantı topologiyasına malik Cozefson kontaktları arasında sinxronlaşmanın araşdırılması zərurətini ortaya qoyur. Altıncı fəslin əsas nəticələri aşağıdakı məqalədə dərc olunmuşdur [9].



Şəkil 7. 9 Cozefson kontaktları arasında sinxronlaşma: Başlanğıc və sonuncu kontaktlar arasında sinxronlaşma xətasının dinamikası göstərilib.

$C_{19} = 0.99$ -1-ci və 9-cu Cozefson kontaktları arasındakı korrelyasiya əmsalıdır. ψ - müvafiq Cozefson kontaktlarında ifratkeçiricilər arasında fazalar fərqinin dinamikasına dəlalət edir.

NƏTİCƏ

Dissertasiya işi xaotik funksional əks-əlaqə rabitəsi sistemləri arasında sinxronlaşmaya həsr olunub. Ötürücü və qəbuledici sistemlər arasında xaotik rəqslərin sinxronlaşması xaos əsasında kommunikasiya sistemlərində məxfi informasıyanın dekodlaşdırılması üçün vacibdir. Dissertasiyada irəli sürülmüş ümumi nəzəriyyə qeyri-xətti dinamikada məşhur olan İkeda, Maki-Qlass və Cozefson sistemlərinə tətbiq olunub. Mürəkkəb sistemlərdə sinxronlaşma rejimlərinin mövcudluğu belə sistemlərin müəyyən istiqamətlərdə kompyuter modelləşdırilməsini asanlaşdıra bilər. Sistemlər arasında sinxronlaşma bir-birinə çevrilə bilən dinamik məntiq elementlərinin yaradılmasında istifadə oluna bilər ki, bu da kompyuterlərin hesablama sürətinin artırılmasına gətirib çıxara bilər.

Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakılardır:

1. Funksional bir əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında xaotik rəqslərin sinxronlaşmasının varlıq və stabillik şərtləri Lyapunov-Krasovski funksional yanaşması əsasında müəyyənləşdirilib. Həm də müəyyən olunub ki, sistemlər arasında parametr uyğunsuzluğunun 1-5% miqdarında olması sinxronlaşmanın keyfiyyətinə az təsir göstərir.

2. Tapılıb ki, müəyyən hallarda sistemlər arasında parametrlərin qiymətlərinin fərqli olması sinxonlaşmanın mövcudluğu üçün hətta zəruridir.

3. Bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında sinxronlaşma rejimlərinin stabillik şərtləri Lyapunov-Razumixin funksionalının tətbiqi əsasında tapılıb.

4. Parametr uyğunsuzluğu şəraitində Maki-Qlas və İkeda sistemləri arasında köməkçi sistemlər yanaşması əsasında ümumiləşmiş sinxronlaşmanın şərtləri Lyapunov-Krasovski və Lyapunov-Razumixin funksional metodlarını istifadə etməklə mü-

əyyənləşdırılib. Ümumiləşmiş sinxronlaşma zamanı sinxronlaşan sistemlər arasında mürəkkəb funksional asılılığın mövcud olması belə sistemləri xaos əsasında etibarlı kommunikasiya sistemləri üçün daha cəlbedici edir

5. Bir-istiqamətli ardıcıl birləşmiş bir neçə Cozefson kontaktları arasında xaotik sinxronlaşmanın mümkünlüyü müəyyən olunub.

Dissertasiyada qabaqlayıcı sinxronlaşmanın tədqiqinə mühüm önəm verilib. Belə sinxronlaşma zamanı idarəolunan sistem idarəedən sistemin gələcək dinamikasına sinxronlaşır, yəni onun gələcək vəziyyətini görür, duyur. Bu fakt tətbiq üçün geniş perspektivlər aça bilər. Qabaqlayıcı sinxronlaşmanın daha konkret tətbiq sahələrinə gəlincə isə qeyd etmək lazımdır ki, belə sinxronlaşma çox sürətli proqnoz məsələlərində istifadə oluna bilər, çünki bu zaman kifayətdir ki, aparıcı sistemə identik aparılan sistem qoşasan. Bu xassə qeyri-zədəsiz diaqnostika problemlərində, canlı aləmdə informasiya emalı zamanı və sair istifadə oluna bilər. Nəhayət, xaos əsasında informasiya emalı sistemlərində qabaqlayıcı sinxronlaşma icazəsi olmayan üçüncü tərəfə ötürülən informasiyanın deşifrəsi üçün əlavə vaxt verə bilər.

Dissertasiya işində geniş tədqiq olunan selektiv sinxronlaşmanın da çoxlu tətbiq perspektivləri ola bilər. Belə ki, sinxronlaşan sistemlər arasında bağlantı topologiyasını, "lazımi" parametrlərin uyğunsuzluğunu seçməklə yalnız müəyyən tip sixronlaşma rejimini həyata kecirmək olar. Bu fakt informasiya emalında, o cümlədən canlı aləmdə informasiya mübadiləsi üçün mühüm rol oynaya bilər.

İşdə bir neçə əks-əlaqə rabitəsinə malik xaotik sistemlər arasında sinxronlaşmaya da mühüm diqqət ayrılıb. Əlavə əks-əlaqə rabitələri lazer sistemlərində stabil intensivlik almaq üçün tətbiq oluna bilər. Belə əlavə əks-əlaqə rabitələri xarici təsirlərə adekvat reaksiya üçün də istifadə oluna bilər. Bundan əlavə, bir neçə əks-əlaqə rabitəsi sistemləri daha böyük və daha çox Lyapunov əmsallarına malik ola bilər ki, bu da daha mürəkkəb xaosun yaradılmasına gətirib çıxara bilər. Belə xaos daha etibarlı

informasiya kommunikasiya sistemləri üçün çox vacibdir.

Dissertasiyada funksional sistemlər arasında ümumiləşmiş sinxronlaşma da mühüm tədqiqat obyekti kimi yer alır. Belə sinxronlaşma zamanı sinxronlaşan sistemlər arasında funksional asılılıq meydana gəlir. Bu hal belə sistemləri etibarlı kommunikasiya şəbəkəsi üçün daha cəzbedici edir, cünki ötürülən informasiyanın deşifrə olunması üçün sinxronlaşan sistemlər arasında funksional asılılığın formasını bilmək zəruridir. Bu asılılıq adətən çox mürəkkəb olduğundan kommunikasiya sistemlərinə müdaxilə edən icazəsi olmayan şəxsın real zaman vaxtında lazımi informasiyanı dekodlaşdırmaq üçün imkanları məhduddur.

Cozefson kontaktları arasında sinxronlaşma tətbiq üçün adekvat gücə malik Terahers dalğa mənbələrinin yaradılması üçün mühüm əhəmiyyətə malikdir. Dissertasiyada tədqiq olunan hal ardıcıl birləşmə topologiyasında uyğundur. Bu halda yüzlərlə, minlərlə Cozefson kontaklarının sinxronizasiyası müəyyən çətinliklərlə üzləşir. Beləliklə, kontaktlar arasında digər bağlantı topologiyalarının tədqiqi perspektivli ola bilər. Müasir Terahers dalğa mənbələri, adətən böyük həcmli, qeyri-mobil, ucus başa gəlməyən lazer qurğuları, sinxratron mənbələri və s. əsasında fəaliyyət göstətir. Cozefson kontaktları əsasında Terahers mənbələri daha yığcam, mobil və ucuz başa gələ bilər. Bu tələblər kontaktlar əsasında mənbələrin partlayıcı maddələrin uzaq məsafədən detektə olunmasında, aeroportlarda skrininq zamanı, plastik minaların müəyyən olunmasında, ekologiyada, dəri şişlərinin qeyri-dağıdıcı diaqnostikasında, yaxın məsafəli kommunikasiyada, wi-fi sistemlərində və s. tətbiq sahələrində önəmli ola bilər.

Dissertasiya mövzusu üzrə çap olunmuş elmi işlərin siyahısı

1. Shahverdiev, E. Anticipating chaos synchronization in time – delayed systems/ E.Shahverdiev, R.Nuriev, G. Gasimova [et al.] // Fizika (Azerbaijan), –2002, 8(3), – pp.9-11.
2. Shahverdiev, E. Chaos synchronization in time-delayed systems

with parameter mismatches and variable delay times /E. Shahverdiev, R.Nuriev, R. Hashimov [et al.] //ICTP preprint – 2004, N 28, IC / 2004 / 28, – 21 p.
3. Shahverdiev, E. Parameter mismatches, variable delay times and synchronization in time-delayed systems/E. Shahverdiev, R.Nuriev, R.Hashimov [et al.] // Chaos, Solitons and Fractals, – 2005, 25 (2), –pp.325-332.
4. Shahverdiev, E., Nuriev, R., Hashimova, L. et al. Chaos synchronization in the multifeedback Mackey-Glass model/ E.Shahverdiev, R. Nuriev, L.Hashimova [et al.] // Int. J. of Modern Physics B,–2005, 19(23), –pp. 3613-3618.
5. Shahverdiev, E. Chaos synchronization between the Mackey-Glass systems with multiple time delays /E. Shahverdiev, R.Nuriev, R.Hashimov [et al.] // Chaos, Solitons and Fractals, – 2006, 29 (4), –pp.854-861.
6. Shahverdiev, E. Complete inverse chaos synchronization, parameter mismatches and generalized synchronization in the multi-feedback Ikeda systems/ E.Shahverdiev, R.Nuriev, L.Hashimova [et al.] // Chaos Solitons& Fractals, –2008, 36 (2), –pp.211-216.
7. Shahverdiev, E., Nuriev, R., Qocayeva, M., Bayramov, P. İnverse chaos synchronization between the uni-directionally coupled systems with modulated multiple time delays/–Fizikanın müasir problemləri, VI Respublika Konfransının materialları, – 14-15 dekabr 2012, – pp.282-284.
8. Shahverdiev, E., Nuriev, R., Qocayeva, M., Bayramov, P. Bidirectionally coupled variable multiple time delay systems and inverse chaos synchronization / – Fizikanın müasir problemləri, VI Respublika Konfransının materialları, – 14-15 dekabr 2012, – pp.285-287.
9. Shahverdiev, E., Hashimova, L., Bayramov, P., Nuriev, R. Chaos synchronization between Josephson junctions coupled with time delays/E.Shahverdiev,L. Hashimova, P. Bayramov [et al.] // J. of Superconductivity and Novel Magnetism, –2014, 27 (10), –pp.2225-2229.

10. Nuriyev, R.A. Xaos və onun idarə olunması//Ekologiya və Su Təsərrüfatı, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, –2019, 5, –s. 103-112.
11. Nuriyev, R.A. Əks-əlaqə rabitəsinə malik sistemlər arasında xaotik rəqslərin qabaqlayıcı sinxronlaşması// Energetikanın problemləri, –2019, 4, –s.64-70.

Dissertasiyanın müdafiəsi 20 oktyabr 2021-ci il tarixində saat 11⁰⁰-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı şəh., H. Cavid pr. 131, Az-1143.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 17 09 2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 15.09.2021
Kağızın formatı: A5
Həcm:36 207
Tiraj: 100