

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

**QEYRİ-XƏTTİ MÜHİTDƏ MÜRƏKKƏB STRUKTURLU
İFRAT YÜKSƏK TEZLİKLİ DALĞAÖTÜRƏN
SİSTEMLƏRİN ANALİZİ VƏ OPTİMAL SİNTEZİ**

İxtisas: 3325.01-“Telekommunikasiya texnologiyası”

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **İslam Camal oğlu İslamov**

Elmlər doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı-2021

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin “Radiotexnika və telekommunikasiya” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: texnika elmləri doktoru,
professor **Elşad Qulam oğlu İsmibəyli**

Rəsmi
opponentlər: texnika elmləri doktoru,
professor **İsa Rəhman oğlu Məmmədov**

texnika elmləri doktoru,
professor **Xəqani İmran oğlu Abdullayev**

texnika elmləri doktoru,
professor **Bayram Qənimət oğlu İbrahimov**

texnika elmləri doktoru,
professor **Ramin Rza oğlu Rzayev**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.41 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya Şurasının sədri:
t.e.d., professor



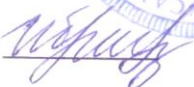
Vaqif Əlicavad oğlu Qasimov

Dissertasiya Şurasının
elmi katibi: t.e.n., dosent



Vahid Qara oğlu Fərhadov

Elmi seminarın sədri:
t.e.d., professor



Bayram Qənimət oğlu İbrahimov



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Telekommunikasiya və radiotexniki sistemlərinin fundamental həddi getdikcə daha yüksək tezlik diapazonlarının mənimsənilməsi olduğundan, informasiya-kommunikasiya əsri olan XXI əsirdə informasiya mübadiləsi günü gündən artmaqdadır. Məlumdur ki, daha geniş informasiya tutumuna və sürətinə malik olan ifrat yüksək tezlik (İYT) diapazonunda informasiyanın itkisiz verilişi və qəbulunda əsasən dalğaötürən sistemlərdən geniş istifadə edilir. İnformasiyaları ötürmək üçün istifadə edilən İYT diapazonlu dalğaötürən sistemlər müxtəlif konstruksiyalı və tənியatlı olub, telekommunikasiyada, televiziya texnikasında, radiolokasiyada, radionaviqasiyada, tibb texnikasında, radioidarəetmədə, rabitə texnikasında, antena texnikasında, elm və texnikanın digər sahələrində tətbiq olunur. Belə dalğaötürənlərdən ən geniş praktik əhəmiyyət kəsb edənləri İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərdir. İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin bir sıra üstün cəhətləri vardır. Belə ki, onlar yüksək etibarlılığa, parametrlərinin stabilyyətinə və istismar prosesində uzunömürlülyə malikdir. Eyni zamanda İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlər ətraf mühitdən tam izolə olduğundan informasiyanı belə sistemlərlə ötürən zaman elektromaqnit dalğalarının (radiodalğaların) xarici mühitə şüalanması demək olar ki, baş vermir.

İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin çox geniş tətbiq olunmasına baxmayaraq, belə ötürücü sistemlərdə yayılan elektromaqnit proseslərini tam əks etdirən və təcrübi əhəmiyyət kəsb edən elmi işlər kifayət qədər deyildir. A.N.Boqolyubov, V.A.Donçenko, G.F.Zarqano, G.P.Sinyavskiy, K.V.Vdovenko, V.V.Krivopustenko, V.A.Katriç, M.V.Nesterenko, E.İ.Mixaylova, S.C.Çen, V.C.Çyu, L.Qong, K.Zang, T.Qrik, L.Nikelson, S.Asmontas, A.Zağdani, O.S.Zaxarçenko, S.Y.Martynyuk, P.Y.Stepanenko kimi alimlərin bu sahədə olan mövcud işlərdə elektromaqnit dalğalarının (radiodalğaların) yayıldığı mühit xətti mühit kimi qəbul edilmişdir. Lakin tərəfimizdən aparılmış tədqiqatlar göstərmişdir ki, real praktikada İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin istismarı prosesində mühit özünü qeyri-xətti mühit kimi aparır. Eyni zamanda yuxarıda adları

göstərilmiş alimlərin işlərində belə dalğaötürənlərin modelləşdirilməsi zamanı mürəkkəb klassik riyazi aparatlardan istifadə edilmişdir ki, bunlar da hesablamaların xətasını artırmış və onların yerinə yetirilməsini çətinləşdirmişdir. Ona görə də, mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınmaqla İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin elektrik, maqnit, texniki, konstruktiv və istismar parametrlərinin və xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması məqsədilə bu qurğuların spesifik xüsusiyyətlərini özündə əks etdirən yeni riyazi modellərin işlənilməsinə və ədədi metodlar əsasında alqoritmləşdirilməsinə ciddi ehtiyac duyulduğundan bu məsələ çox böyük **elmi və təcrübi əhəmiyyətə** malikdir.

Digər tərəfdən L.İ.Babak, V.A.Vyuşkov, S.Y.Bankov, A.A.Kurşin, V.D.Razeviq, M.P.Batura, A.A.Kurayev, C.J.Railton, D.L.Paul, A.Munir kimi alimlərin işlərində İYT diapazonlu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin optimallaşdırılması zamanı bir mərhələli sintez prosesindən istifadə edilmişdir ki, bu da aşağıdakı neqativ hallarla müşayiət olunmuşdur:

- qurğuların həndəsi ölçülərində nəzərə çarpacaq dərəcədə xətalər yaranmışdır;

- qurğuların hazırlanma və təcrübi tədqiqatların nəticələri barəsində optimal informasiyadan istifadə olunması mümkün olmadığından iqtisadi və elmi-texniki effektivlik aşağı düşmüşdür.

Ona görə də yüksək etibarlılığa, parametrlərinin stabilliyinə və istismar prosesində uzunömürlülüyə malik İYT diapazonlu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin çoxkriteriyalı optimal sintezi məsələsinin həlli zərurəti yaranmışdır. Belə ki, İYT diapazonlu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin çoxkriteriyalı optimal sintezi məsələsinin həll edilməsi bu qurğuların elektrik, maqnit, texniki, konstruktiv və istismar parametrlərinin və xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması, sintezi və nəticədə optimal parametrlə yeni modellərin işləyib hazırlanması **aktual elmi-texniki məsələ olaraq qalmaqdadır**.

Yuxarıda qeyd olunanları ümumiləşdirərək demək etmək olar ki, hazırda İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlər istehsalatda geniş tətbiq olunduğundan bu qurğuların elektrik, maqnit, texniki, konstruktiv və istismar parametrlərinin və xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması və mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınmaqla daha optimal kons-

truktiv ölçülərə malik yeni dalğaötürən tipli sistemlərin layihələndirilməsi həm elmi nöqteyi-nəzərdən, həm də istehsal baxımından vacib və **aktualdır**.

Tədqiqat obyektı və predmeti. Dissertasiya işində tədqiqat obyektı mürəkkəb strukturlu İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürən tipli telekommunikasiya və radiotexniki sistemlərdir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi qeyri-xətti mühitdə mürəkkəb strukturlu İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürən tipli telekommunikasiya və radiotexniki sistemlərinin elektrik, maqnit, texniki, konstruktiv və istismar parametrlərinin və xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması, sintezi və nəticədə optimal parametrlı yeni dalğaötürən sistemlərin modellərinin işlənib hazırlanmasından ibarətdir.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində aşağıdakı tədqiqat metodlarından istifadə edilmişdir: sonlu elementlər metodu, sonlu fərqlər metodu, Lorens çevrilməsi, xətlər nəzəriyyəsi, diferensial tənliklər nəzəriyyəsi, elektromaqnit sahə nəzəriyyəsi, kompüter modelləşdirilməsi metodu, Rits metodu, Qalerkin metodu, HFSS, Empipe 3D, Femlab, Matlab, yuxarı relaksasiya metodu (Yanq metodu), kollokasiya metodu və dəyişənlərə ayırma metodu.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar. Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar aşağıdakılardır:

1. Mühitin qeyri-xəttiliyi, dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından 4,9-7,05 QHs tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin yeni riyazi modelləri.

2. Mühitin qeyri-xəttiliyi, dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından 4,9-7,05 QHs tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin hərəkət edən koordinat sistemində yeni riyazi modelləri.

3. Mühitin qeyri-xəttiliyi, dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından 4,9-7,05 QHs tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 QHs

tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin yeni riyazi modellərinin həlli üçün effektiv alqoritmlər.

4. İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin E -tip (TH) və H -tip (TE) dalğalarının elektromaqnit sahələrinin modelləşdirilməsi üçün bu qurğuların konstruktiv ölçüləri nəzərə alınmaqla sonlu elementlər və sonlu fərqlər metodları təkmilləşdirilməsi və bunun nəticəsində baxılan tezlik diapazonunda elektromaqnit dalğalarının sönmə əmsalının minimuma endirilməsi metodikası.

5. E -tip və H -tip dalğalar üçün 4,9-7,05 QHs tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elementar oblastlarında elektromaqnit sahəsinin intensivliklərinin paylanması üçün 3D modelləri.

6. İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərdə yayılan müxtəlif tip elektromaqnit dalğalarının dispersiya tərkibləri və sahə intensivliklərinin dispersiya asılılıqlarına təsiri.

7. Qeyri-xətti mühitli 4,9-7,05 QHs tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin intensivliyinin, o cümlədən İYT traktın digər parametrlərinin eksperimental təyini üçün ölçü sxemləri.

8. E -tip və H -tip dalğalı İYT diapazonlu qurğuların optimal sintezi üçün yeni alqoritmlər və optimallaşdırma kriteriyaları.

9. İYT diapazonlu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin təcrübi hesablanma sintezi prosesinin alqoritmi.

10. İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin HFSS və Empipe 3D proqramlar kompleksindən istifadə etməklə parametrik və struktur optimallaşdırılması prosesi.

11. İYT diapazonlu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlər üçün maksimum funksiyanın minimallaşdırılması metodikası.

12. Optimallaşdırılmış İYT diapazonlu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin tezlik xarakteristikaları.

13. İşlənib hazırlanmış dalğaötürənlər əsasında televiziya qüvvələrində verilişin keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün verici ilə antenani birləşdirən yeni dalğaötürən trakt sistemi.

14. Nəzəri və təcrübi nəticələrin istehsalatda və tədris prosesində tətbiqi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Dissertasiya işində alınmış elmi yeniliklər İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin elektrik, maqnit, texniki, konstruktiv və istismar parametrlərinin və xarakteristikalarının yaxşılaşdırılmasına imkan verir və əsasən aşağıdakılardan ibarətdir:

1. Mühitin qeyri-xəttiliyi, dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından 4,9-7,05 *QHS* tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 *QHS* tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin dekart, silindrik və hərəkət edən koordinat sistemlərində yeni riyazi modelləri işlənmişdir.

2. Mühitin qeyri-xəttiliyi, dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından 4,9-7,05 *QHS* tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 *QHS* tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin yeni riyazi modellərinin həlli üçün effektiv alqoritmlər təklif və tətbiq edilmişdir. Bu da İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin elektrik, maqnit, konstruktiv və istismar parametrlərinin və xarakteristikalarının 30-40% tərtibində yaxşılaşdırılmasına imkan vermişdir.

3. İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin konstruktiv ölçüləri nəzərə alınmaqla *E*-tip (*TH*) və *H*-tip (*TE*) dalğalarının elektromaqnit sahələrinin modelləşdirilməsi üçün sonlu elementlər və sonlu fərqlər metodları təkmilləşdirilmiş və bunun nəticəsində 4,9-7,05 *QHS* tezlik diapazonunda və 9 *QHS* tezliyində elektromaqnit dalğalarının sönmə əmsalının 2 dəfə olmaqla minimuma endirilməsi metodikası işlənmişdir.

4. *E*-tip və *H*-tip dalğalar üçün 4,9-7,05 *QHS* tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 *QHS* tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elementar oblastlarında elektromaqnit sahəsinin istensivliklərinin paylanmasının 3*D* modelləri işlənmişdir. Bu da göstərilən qurğularda elektrik və maqnit sahələrin polyarizasiya dərəcələrinin necə dəyişməsinə göstərməyə imkan vermişdir.

5. İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərdə yayılan H_{10} və H_{11} modlu elektromaqnit dalğalarının dispersiya tərkibləri tədqiq edilmiş və sahə istensivliklərinin dispersiya asılılıqlarına təsiri göstərilmişdir.

6. Qeyri-xətti mühitli 4,9-7,05 QHs tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin intensivliyinin, o cümlədən İYT traktın digər parametrlərinin eksperimental təyini üçün təcrübi sxemlər işlənmişdir. Nəzəri olaraq təyin edilmiş parametrlər və xarakteristikalar təcrübi olaraq təsdiq edilmiş və göstərilən tezlik diapazonlarında sahə intensivliklərinə görə nisbi xətanın 4%-ə, İYT traktın digər parametrlərinə görə isə nisbi xətanın 1%-ə qədər olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

7. E-tip və H-tip dalğalı İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin optimal sintezi üçün yeni alqoritmlər işlənmiş və optimallaşdırma kriteriyaları seçilmiş, onların üstünlükləri əsaslandırılmış və bu alqoritmlər əsasında yeni düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlər, o cümlədən dalğaötürən tipli yumşaq keçidlər işlənmişdir.

8. İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin parametrik və struktur optimallaşdırılması üçün ilk dəfə olaraq HFSS və Empipe 3D proqramlar kompleksindən istifadə edilmiş və nəticədə göstərilən telekommunikasiya və radiotexniki qurğuların konstruktiv ölçüləri 5%-ə qədər, dispersiya xarakteristikaları isə 30-40% tərtibində yaxşılaşdırılmışdır.

9. İşlənib hazırlanmış dalğaötürənlər əsasında televiziya qüllələrində verilişin keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq üçün verici ilə antenani birləşdirən yeni dalğaötürən trakt sistemi işlənmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. İstismar olunan mühitin qeyri-xəttiliyi, yayılan dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin elektromaqnit sahəsi üçün ilk dəfə olaraq alınmış yeni riyazi modellər və bu modellərin həlli üçün işlənib hazırlanmış alqoritmlər digər tezlik diapazonlarında, o cümlədən optik diapazonda işləyən telekommunikasiya sistemlərinin analizi, sintezi və layihələndirilməsi prosesində də uğurla tətbiq edilə bilər.

Tədqiqatın əsas məsələləri. Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün işdə aşağıdakı məsələlər qarşıya qoyularaq həll edilməlidir:

- mühitin qeyri-xəttiliyi, dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından 4,9-7,05 QHs tezlik

diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 *QHs* tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin yeni riyazi modellərinin işlənməsi və tətbiqi;

- mühitin qeyri-xəttiliyi, dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından 4,9-7,05 *QHs* tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 *QHs* tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin hərəkət edən koordinat sistemində elektromaqnit sahəsinin yeni riyazi modellərinin işlənməsi və tətbiqi;

- mühitin qeyri-xəttiliyi, dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT telekommunikasiya qurğularından 4,9-7,05 *QHs* tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 *QHs* tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin yeni riyazi modellərinin həlli üçün effektiv alqoritmlərin işlənməsi;

- İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin *E*-tip (*TH*) və *H*-tip (*TE*) dalğalarının elektromaqnit sahələrinin modelləşdirilməsi üçün bu qurğuların konstruktiv ölçüləri nəzərə alınmaqla sonlu elementlər və sonlu fərqlər metodlarının təkmilləşdirilməsi və bunun nəticəsində baxılan tezlik diapazonlarında elektromaqnit dalğalarının sönmə əmsalının minimuma endirilməsi metodikasının işlənməsi və tətbiqi;

- *E*-tip və *H*-tip dalğalar üçün 4,9-7,05 *QHs* tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 *QHs* tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elementar oblastlarında elektromaqnit sahəsinin intensivliklərinin paylanması üçün 3D modellərinin işlənməsi və analizi;

- İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərdə yayılan müxtəlif tip elektromaqnit dalğalarının dispersiya tərkiblərinin tədqiq edilməsi və sahə intensivliklərinin dispersiya asılılıqlarına təsirinin göstərilməsi;

- qeyri-xətti mühitli 4,9-7,05 *QHs* tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 *QHs* tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin intensivliyinin, o cümlədən İYT traktın digər parametrlərinin eksperimental təyini üçün ölçü sxemlərinin işlənməsi;

- *E*-tip və *H*-tip dalğalı İYT diapazonlu qurğuların optimal sintezi üçün yeni alqoritmlərin işlənməsi və tətbiqi;

- İYT diapazonlu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin təcrübi hesablanma sintezi prosesinin alqoritminin işlənməsi;

- İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin HFSS və Empipe 3D proqramlar kompleksindən istifadə etməklə parametrik və struktur optimallaşdırılması;

- İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin HFSS və Empipe 3D proqramlar kompleksindən istifadə etməklə parametrik və struktur optimallaşdırma prosesinin aparılması və tətbiqi;

- alınan nəzəri və təcrübi nəticələrin istehsalatda və tədris prosesində tətbiq edilməsi.

Nəticələrin dürüstlük dərəcəsi. Dissertasiyada alınmış nəzəri nəticələr eksperimentlərlə sübut edilmiş, istehsalatda və tədris prosesində tətbiqlərlə təsdiq edilmiş və müvafiq aktlar alınmışdır.

Müəllifin şəxsi töhfəsi. Dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş elmi məsələlər və əldə edilmiş əsas nəticələr bilavasitə müəllif tərəfindən müstəqil olaraq alınmışdır. Mühitin qeyri-xəttiliyi, dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT telekommunikasiya və radiotexniki qurğularından düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin elektromaqnit sahəsi üçün alınmış yeni riyazi modellər və bu modellərin həlli üçün işlənilib hazırlanmış alqoritmlər, düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin İYT traktının əsas parametrlərinin eksperimental təyini üçün işlənilib hazırlanmış ölçü sxemləri, İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin optimal sintezi üçün işlənilib hazırlanmış alqoritmlər müəllif tərəfindən müstəqil və ya onun məsul icraçı qismində iştirakı ilə yerinə yetirilmişdir.

İşin nəticələrinin həyata keçirilməsi və tətbiqi. Dissertasiya işinin nəticələri Azərbaycan Respublikası Nəqliyyat, Rabitə və Yüksək Texnologiyalar Nazirliyinin Radio-Televiziya Yayımı və Peyk Rabitəsi İstehsalat Birliyində radiorele rabitə xətlərində tətbiq edilmişdir. Dissertasiyanın nəticələrinin tətbiqindən əldə edilən illik iqtisadi səmərə 116842 AZN təşkil edir. Eyni zamanda dissertasiya işinin nəticələri Azərbaycan Texniki Universitetində dövlət büdcəli elmi-tədqiqat işlərinin yerinə yetirilməsində və tədris prosesində tətbiq edilir. Dissertasiya işinin nəticələrinin istifadə olunması müvafiq tətbiq aktları ilə təsdiq edilmişdir.

Dissertasiya işinin aprobasiyası. Dissertasiya işinin əsas müddəaları aşağıdakı konfrans və simpoziumlarda ətraflı müzakirə və təqdir edilmişdir: AzTU-nun professor-müəllim heyətinin 45-ci və 46-cı elmi-texniki konfransları, Bakı, 2000 və 2001-ci illər; AzTU-nun yaranmasının 50 illiyinə həsr olunmuş respublika elmi-texniki konfransı, Bakı, 2001-ci il; “Rabitə və elm” adlı beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Bakı, 2002-ci il; “Elektronika və informatika-2002” mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Moskva, 2002-ci il; “Mikroelektron çeviricilər və onlar əsasında cihazlar” mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Bakı-Sumqayıt, 2003-cü il; “İnformasiyalaşdırma, kibernetika və informasiya texnologiyalarının müasir problemləri” mövzusunda elmi konfrans, Bakı, 2003-cü il; Federal Dövlət Unitar müəssisəsi “İstok” Elmi-tədqiqat İnstitutunun yaradılmasına həsr olunmuş beynəlxalq elmi konfrans, Moskva, 2003-cü il; “Müasir informasiya və elektron texnikasının materialları-2003” mövzusunda 4-cü beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Odessa, 2003-cü il; “Antena nəzəriyyəsi və texnikası” mövzusunda 4-cü beynəlxalq konfrans, Sevastopol, 2003-cü il; “Sıqnalların rəqəmli emalı və onun tətbiqi” mövzusunda 6-cı beynəlxalq konfrans və sərgi, Moskva, 2004-cü il; “Riyazi modelləşdirmə bazasında informasiya emalı vasitələrinin effektivliyinin artırılması” mövzusunda 7-ci beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Tambov, 2004-cü il; AzTU-nun professor-müəllim heyətinin elmi-texniki konfransı, Bakı, 2004-cü il; akademik A.Ş.Mehdiyevin 70 illik yubileyinə həsr olunmuş “Məsafədən zondlamada informasiya və elektron texnologiyalar” mövzusunda beynəlxalq konfrans, Bakı, 2004-cü il; Poçt rabitəsinə həsr olunmuş beynəlxalq elmi-praktiki konfrans, Sumqayıt, 2005-ci il; AzTU-nun professor-müəllim heyətinin elmi-texniki konfransı, Bakı, 2005-ci il; “Mikroelektron çeviricilər və onlar əsasında cihazlar” mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Taqanroq, 2005-ci il; İnkişaf üçün Beynəlxalq Elm və Texnologiya Birliyinin keçirdiyi “Təhsil və texnologiya” adlı beynəlxalq konfrans, Kalqari, 2005-ci il; Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans, Lənkəran, 2006-cı il; AzTU-nun professor-müəllim heyətinin və aspirantların 53-cü elmi-texniki konfransı, Bakı, 2007-ci il; “Radiotexnika, televiziya və rabitənin müasir problemləri” mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Bakı, 2007-ci il;

“Elmdə və təhsildə kompüter texnologiyalarının tətbiqi” mövzusunda beynəlxalq konfrans, Bakı, 2007-ci il; 13-cü Beynəlxalq “Telekommunikasiya və informasiya texnologiyaları” sərgi və konfransı, Bakı, 2007-ci il; “Müasir İKT-nin inkişaf perspektivləri” beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Bakı, 2011-ci il; “Rabitə şəbəkələrinin inkişafının müasir tendensiyaları: nəzəriyyə və praktika” mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Bakı, 2012-ci il; “Avtomatika və idarəetmənin müasir problemləri” mövzusunda respublika elmi-praktiki konfransı, Bakı, 2012-ci il; “İKT-nin müasir vəziyyəti və inkişaf perspektivləri” mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Bakı, 2014-cü il; “İKT-nin müasir vəziyyəti və inkişaf perspektivləri” mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Bakı, 2016-cı il; “Maşınqayırmada intellektual texnologiyalar” mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Bakı, 2016-cı il; Maşın və mexanizm elmləri üzrə beynəlxalq simpozium, Bakı, 2017-ci il; Belarus Dövlət Rabitə Akademiyasının keçirdiyi “Müasir rabitə vasitələri” mövzusunda beynəlxalq konfranslar, Minsk, 2017, 2018 və 2021-ci illər; “Təhsil-tədqiqat-istehsalat mexanizminin qurulması” mövzusunda respublika elmi-texniki konfransı, Bakı, 2018-ci il; “Enerji təchizatının aktual problemləri” mövzusunda keçirilən beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Kiyev, 2018-ci il; “Riyaziyyat və mexanikanın aktual problemləri” mövzusunda keçirilən beynəlxalq konfrans, Bakı, 2018-ci il; Beynəlxalq Avtomatik İdarəetmə Federasiyasının “Texnologiya, mədəniyyət və beynəlxalq sabitlik” mövzusunda keçirdiyi beynəlxalq konfrans, Bakı, 2018-ci il; Kiyev Politexnik İnstitutunun “Enerji təchizatının aktual problemləri” mövzusunda keçirdiyi beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Kiyev, 2019-cu il; “Telekommunikasiyada innovativ texnologiyalar” mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfrans, Bakı, 2019-cu il; “Azərbaycan və Türkiyə Universitetləri: Təhsil, Elm, Texnologiya” mövzusunda keçirilən 1-ci Beynəlxalq elmi-praktik konfrans, Bakı, 2019-cu il; 13-cü “İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının tətbiqi” adlı beynəlxalq konfrans, Bakı, 2019-cu il; “İstilik mühəndisliyi: nəzəriyyə və tətbiq” mövzusunda 13-cü beynəlxalq konfrans, Kanada, 2020-ci il; 23-cü “WECONF-2020” adlı Beynəlxalq konfrans, Sankt-Peterburq, 2020-ci il; “Enerji qənaəti və işğal təhlükəsizliyi: problemlər və perspektiv-

lər” adlı 3-cü Beynəlxalq elmi və praktiki konfrans, Kiyev, 2020-ci il; “Rabitə və texnologiyanın idarə olunması” adlı beynəlxalq konfrans, Vyana, 2021-ci il; “İstehsal tədqiqatlarına həsr olunmuş beynəlxalq simpozium”, Antalya, 2021-ci il; “Yumşaq hesablama, sözlərlə hesablama, algılama və süni intellekt nəzəriyyəsi və tətbiqi” üzrə 11-ci beynəlxalq konfrans, Antalya, 2021-ci il; “Kompüter və enerji elmləri” üzrə 2-ci beynəlxalq elmi forum, Almata, 2021.

İşin nəticələrinin dərc olunması. Dissertasiyanın məzmununu əks etdirən tədqiqatlar və onların nəticələrinə dair ölkə və xarici elmi-texniki nəşrlərdə 101 elmi iş, o cümlədən 4 monoqrafiya çap olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat. Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetində yerinə yetirilmişdir.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi giriş, yeddi fəsil, istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı və əlavələr olmaqla A4 formatlı 393 səhifə kompüter mətnindən ibarət olub, özündə 173 şəkil, 35 cədvəl (əlavələrdə 23 şəkil, 4 cədvəl), 333 adda istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı və 5 əlavəni birləşdirir. Dissertasiya işinin girişi A4 formatlı 11 səhifə, 1-ci fəsil 34 səhifə, 2-ci fəsil 77 səhifə, 3-cü fəsil 46 səhifə, 4-cü fəsil 25 səhifə, 5-ci fəsil 47 səhifə, 6-cı fəsil 43 səhifə, 7-ci fəsil 32 səhifə, nəticə 3 səhifə, istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı 39 səhifə, əlavələr 30 səhifə, ixtisarlara və şərti işarələr siyahısı 1 səhifə kompüter mətnindən ibarətdir.

Dissertasiya işinin əsas mətni (şəkillər, cədvəllər, qrafiklər, əlavələr və ədəbiyyat siyahısı istisna edilməklə) - giriş A4 formatlı 11 səhifə (işarələrin sayı 22000), 1-ci fəsil 29 səhifə (işarələrin sayı 58000), 2-ci fəsil 51 səhifə (işarələrin sayı 102000), 3-cü fəsil 29 səhifə (işarələrin sayı 58000), 4-cü fəsil 21 səhifə (işarələrin sayı 42000), 5-ci fəsil 20 səhifə (işarələrin sayı 40000), 6-cı fəsil 30 səhifə (işarələrin sayı 60000), 7-ci fəsil 24 səhifə (işarələrin sayı 48000), nəticə 3 səhifə (işarələrin sayı 6000) olmaqla ümumilikdə 218 səhifə (işarələrin sayı **436000**) kompüter mətnindən ibarətdir.

TƏDQIQATIN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatların məqsədi və əsas vəzifələri şərh edilmişdir. İşin elmi yeniliyi və alınmış nəticələrin təcrübi əhəmiyyəti təqdim olunmuşdur. Mühüm nəticə, təklif və tövsiyələrin tədris prosesində və istehsalatda tətbiqinə dair məlumatlar verilmişdir.

Birinci fəsilə mürəkkəb strukturlu İYT radiotexniki və telekommunikasiya dalğaötürən sistemlərin analizi və optimal sintezinin müasir vəziyyəti araşdırılmış, İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin elektrik, maqnit, texniki, konstruktiv və istismar parametrlərinin və xarakteristikalarının yaxşılaşdırılmasının əsas istiqamətləri müəyyən edilmişdir.

İYT radiotexniki və telekommunikasiya qurğularının analizinin müasir vəziyyətini təhlil etmək məqsədilə bu sahədə dünya miqyasında yerinə yetirilən elmi-tədqiqat işlərinin icmalı verilmiş və nəticədə müəyyən edilmişdir ki, hava ilə dolu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin daxilindəki mühitin qeyri-xəttiliyi nə nəzəri, nə də təcrübi tədqiqatlarda nəzərə alınmamışdır.

Digər tərəfdən İYT radiotexniki və telekommunikasiya qurğularının optimal sintezinin müasir vəziyyətini təhlil etmək məqsədilə bu sahədə dünya miqyasında yerinə yetirilən elmi-tədqiqat işlərinin icmalı verilmiş və nəticədə müəyyən edilmişdir ki, mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınmaqla onların çoxkriteriyalı optimal sintezi məsələsi hələ də öz həllini tapmamışdır. Belə ki, İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin çoxkriteriyalı optimal sintezi məsələsinin həll edilməsi bu qurğuların elektrik, maqnit, texniki, konstruktiv və istismar parametrlərini və xarakteristikalarını yaxşılaşdırmaqla yanaşı optimal ölçülərə malik yeni fiziki modellərin layihələndirilməsinə və hazırlanmasına imkan verir.

Ona görə də İYT radiotexniki və telekommunikasiya düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürən qurğularının daxilindəki mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınmaqla onların çoxkriteriyalı optimal sintezi məsələsinin həll edilməsi və bu qurğuların elektromaqnit, konstruktiv, texniki-istismar parametrlərinin və xarakteristikalarının dəqiqləşdiril-

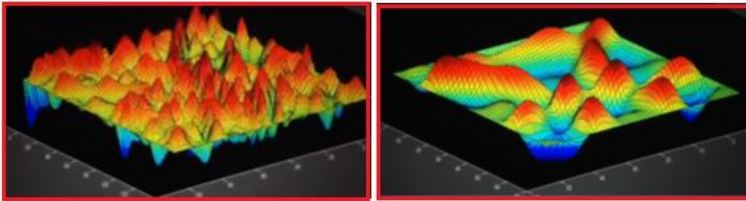
məsilə yanaşı optimal ölçülərə malik yeni fiziki modellərin layihələndirilməsinə və işlənilib hazırlanmasına zərurət yaranır.

İkinci fəsildə qeyri-xətti mühitdə mürəkkəb strukturlu İYT dalğaötürən sistemlərinin modelləşdirilməsi məsələsinə baxılmışdır.

Qeyri-xətti mühit üçün ilk dəfə olaraq nisbi dielektrik nüfuzluğu ilə elektrik sahəsinin intensivliyi arasında riyazi ifadə alınmış və bunun əsasında İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin riyazi modelləri və bu modellərin həll edilməsi üçün sonlu fərqlər və sonlu elementlər ədədi metodları əsasında effektiv alqoritmlər işlənmişdir. Nəticədə mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınmaqla E -tip və H -tip dalğalarında, H_{10} modunda, 4,9-7,05 QHs tezliyə diapazonunda işləyən İYT düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 QHs tezliyində, H_{11} modunda işləyən İYT dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin intensivlikləri təyin edilmişdir.

Alınmış ədədi nəticələr əsasında E -tip və H -tip dalğalı, H_{10} modunda, 4,9-7,05 QHs tezlik diapazonunda işləyən İYT düzbucaqlı dalğaötürənin (şəkil 1, a, b) və 9 QHs tezliyində, H_{11} modunda işləyən İYT dairəvi dalğaötürənin (şəkil 2, a, b) uzunluğunun elektromaqnit sahəsinin intensivliyidən 3D asılılıqları qurulmuşdur. Şəkil 1, 2, a, b -də göstərilən 3D asılılıqlar İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin daxilində yayılan elektromaqnit sahəsinin paylanmasını və bu qurğuların elektromaqnit və konstruktiv parametrləri arasındakı əlaqəni təyin edir.

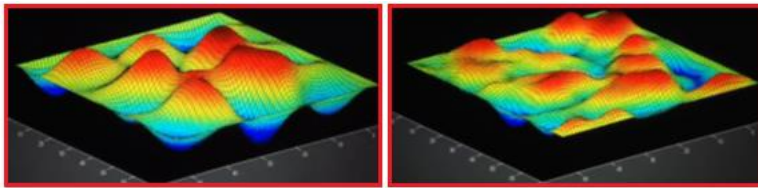
Burada eyni zamanda İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərdə yayılan müxtəlif tip (yüksək və aşağı tip) elektromaqnit dalğalarının qeyri-xətti mühitdə dispersiya tərkibləri tədqiq edilmiş və sahə intensivliklərinin dispersiya asılılıqlarına təsiri göstərilmişdir.



$a)$

$b)$

Şəkil 1. 4,9-7,05 QHs tezlik diapazonlu düzbucaqlı dalğaötürənin E -tip dalğası üçün elektrik (a) və maqnit (b) sahələrinin intensivliklərinin paylanmasının 3D modeli



Şəkil 2. 9 QHs tezlikli dairəvi dalğaötürənin E -tip dalğası üçün elektrik (a) və maqnit (b) sahələrinin intensivliklərinin paylanması 3D modeli

Alınmış əyriyərdən görüldüyü kimi, seçilmiş diapazonlarda qeyri-xətti mühitdə radiodalğaların yayılması xətti mühitə nəzərən daha kəskin dəyişir.

Bütün bunlarla yanaşı bu fəsildə E -tip (TH) və H -tip (TE) dalğalarının H_{10} modu üçün 4,9-7,05 QHs tezlik diapazonunda düzbucaqlı dalğaötürənin İYT traktının limit gücü, buraxıla bilən gücü, sönmə əmsalı, durğun dalğa əmsalı, əksölünmə əmsalı, məxsusi keyfiyyətliliyi, əksölünmə əmsalının fazası və xarakteristik müqaviməti üçün mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınmaqla yeni riyazi ifadələri alınmışdır.

Üçüncü fəsil qeyri-xətti mühitdə mürəkkəb strukturlu İYT dalğaötürən sistemlərinin hərəkət edən koordinat sistemində modelləşdirilməsi, tədqiqi və nəticələri verilmişdir.

Məlumdur ki, elektromaqnit dalğalarının yayıldığı mühit qeyri-xətti olduğundan tədqiq olunan dalğaötürənlərin daxilində elektrik və maqnit sahələrinin intensivlikləri müxtəlif qiymətlər almalıdır. Ona görə də hərəkət edən koordinat sistemindən istifadə etmək zərurəti yaranır.

Bu fəsildə hərəkət edən koordinat sistemində İYT düzbucaqlı dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin riyazi modelləri işlənilib hazırlanmışdır.

- İYT düzbucaqlı dalğaötürənin E -tip (TH) dalğasının H_{10} modu üçün:

$$E_z^{tmm} = E_0 \sin \frac{m\pi x'}{a} \sin \frac{n\pi y'}{b} e^{-i\beta z}, \quad (1)$$

$$E_x'^{mn} = -iE_0 \frac{\chi_x [\beta - (v/c^2)\omega]}{\chi^2 \sqrt{1 - (v/c^2)}} \cos \frac{m\pi x'}{a} \sin \frac{n\pi y'}{b} e^{-i\beta z}, \quad (2)$$

$$E_y'^{mn} = -iE_0 \frac{\chi_x [\beta - (v/c^2)\omega]}{\chi^2 \sqrt{1 - (v/c^2)}} \sin \frac{m\pi x'}{a} \cos \frac{n\pi y'}{b} e^{-i\beta z}, \quad (3)$$

$$H_x'^{mn} = iE_0 \frac{\varepsilon_0 \chi_y (\omega - v\beta)}{\chi^2 \sqrt{1 - (v/c^2)}} \sin \frac{m\pi x'}{a} \cos \frac{n\pi y'}{b} e^{-i\beta z}, \quad (4)$$

$$H_y'^{mn} = -iE_0 \frac{\varepsilon_0 \chi_x (\omega - v\beta)}{\chi^2 \sqrt{1 - (v/c^2)}} \cos \frac{m\pi x'}{a} \sin \frac{n\pi y'}{b} e^{-i\beta z}, \quad (5)$$

$$H_z'^{mn} = 0, \quad (6)$$

- İYT düzbucaqlı dalğaötürənin H -tip (TE) dalğasının H_{10} modu üçün:

$$E_z'^{mn} = 0, \quad (7)$$

$$E_x'^{mn} = iH_0 \frac{\mu_0 \chi_y (\omega - v\beta)}{\chi^2 \sqrt{1 - (v/c^2)}} \cos \frac{m\pi x'}{a} \sin \frac{n\pi y'}{b} e^{-i\beta z}, \quad (8)$$

$$E_y'^{mn} = -iH_0 \frac{\mu_0 \chi_x (\omega - v\beta)}{\chi^2 \sqrt{1 - (v/c^2)}} \sin \frac{m\pi x'}{a} \cos \frac{n\pi y'}{b} e^{-i\beta z}, \quad (9)$$

$$H_x'^{mn} = iH_0 \frac{\chi_x [\beta - (v/c^2)\omega]}{\chi^2 \sqrt{1 - (v/c^2)}} \sin \frac{m\pi x'}{a} \cos \frac{n\pi y'}{b} e^{-i\beta z}, \quad (10)$$

$$H_y'^{mn} = iH_0 \frac{\chi_y [\beta - (v/c^2)\omega]}{\chi^2 \sqrt{1 - (v/c^2)}} \cos \frac{m\pi x'}{a} \sin \frac{n\pi y'}{b} e^{-i\beta z}, \quad (11)$$

$$H_z'^{mn} = H_0 \cos \frac{m\pi x'}{a} \sin \frac{n\pi y'}{b} e^{-i\beta z}. \quad (12)$$

- İYT dairəvi dalğaötürənin E -tip (TH) dalğasının H_{11} modu üçün:

$$E_z'^{nm} = J_n(\chi_{nm} r') \psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (13)$$

$$E_r'^{nm} = -i \frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm} \sqrt{1 - (v/c^2)}} J_n'(\chi_{nm} r') \psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (14)$$

$$E_\theta'^{nm} = -in \frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm}^2 r' \sqrt{1 - (v/c^2)}} J_n(\chi_{nm} r') \psi_n'(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (15)$$

$$H'_z = 0, \quad (16)$$

$$H'_r{}^{nm} = i \frac{n\varepsilon_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}^2 r' \sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n(\chi_{nm} r') \psi'_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (17)$$

$$H'_\theta{}^{nm} = -i \frac{\varepsilon_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm} \sqrt{1 - (v/c)^2}} J'_n(\chi_{nm} r') \psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (18)$$

- İYT dairəvi dalğaötürənin H -tip (TE) dalğasının H_{11} modu üçün:

$$E'_z{}^{nm} = 0, \quad (19)$$

$$E'_r{}^{nm} = -i \frac{n\mu_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}^2 r' \sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n(\chi_{nm} r') \psi'_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (20)$$

$$E'_\theta{}^{nm} = i \frac{\mu_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm} \sqrt{1 - (v/c)^2}} J'_n(\chi_{nm} r') \psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (21)$$

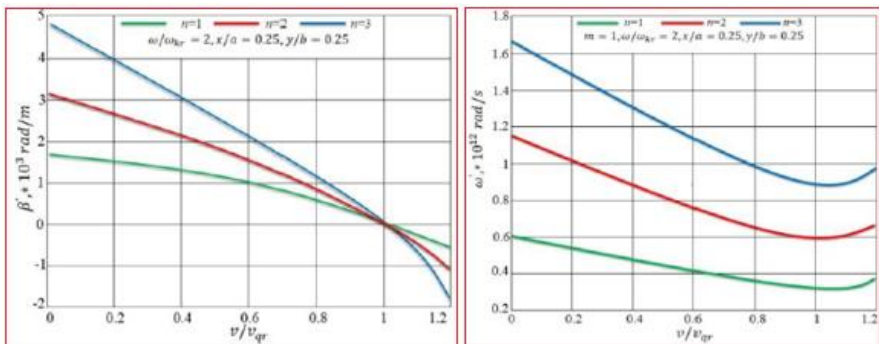
$$H'_z{}^{nm} = J_n(\chi_{nm} r') \psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (22)$$

$$H'_r{}^{nm} = -i \frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm}^2 \sqrt{1 - (v/c)^2}} J'_n(\chi_{nm} r') \psi_n(\theta') \exp(-i\beta z'), \quad (23)$$

$$H'_\theta{}^{nm} = -in \frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm}^2 r' \sqrt{1 - (v/c)^2}} J_n(\chi_{nm} r') \psi'_n(\theta') \exp(-i\beta z'). \quad (24)$$

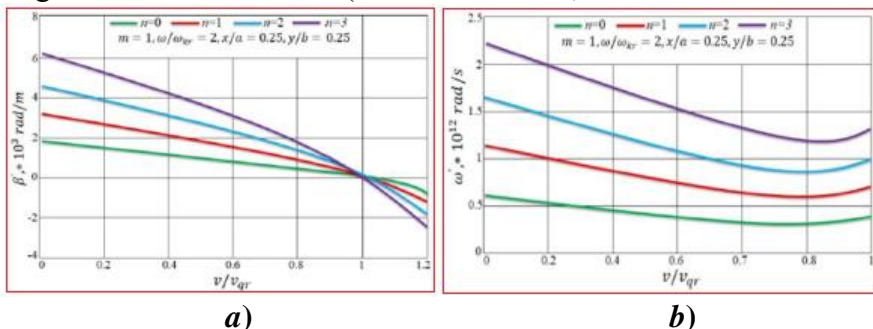
Alınmış (1)-(12) və (13)-(24) tənlikləri həll edilərək İYT düzbucaqlı dalğaötürənin E -tip (TH) dalğası üçün hərəkət edən koordinat sistemində β' və ω' parametrlərinin koordinat sistemin sürətindən asılılıqları qurulmuşdur (şəkil 3, a , b).

Bu fəsildə eləcə də 4,9-7,05 QHS tezlik diapazonunda işləyən İYT düzbucaqlı dalğaötürəndə H_{10} və E_{11} modları və 9 QHS tezlikli İYT dairəvi dalğaötürəndə H_{11} və H_{01} modları üçün sönmə əmsalının tezlikdən asılılıqları, o cümlədən bu dalğaötürənlərdə s -polyarizasiyalı və p -polyarizasiyalı elektromaqnit dalğaları üçün səthi impedanslarının hesablaması sisteminin sürətindən asılılıqları dalğaötürənlərin daxili keçirici səthinin keçiriciliyi $\sigma = 5,8 \cdot 10^8 \text{ Sim/m}$ qəbul edilərək təyin edilmişdir. İYT düzbucaqlı dalğaötürənin H -tip dalğası üçün β' və ω' parametrlərinin koordinat sistemin sürətindən asılılıqları isə şəkil 4, a , b -də göstərilmişdir.



Şəkil 3. İYT düzbucaqlı dalğaötürənin E -tip dalğası üçün hərəkət edən koordinat sistemində β' (a) və ω' (b) parametrlərinin koordinat sistemin sürətindən asılılıqları

Beləliklə, bu fəsil üzrə müəyyənləşdirilmişdir: a) həyəcanlanan rəqslərin dalğa uzunluğu nə qədər kiçik olarsa, İYT düzbucaqlı dalğaötürəndə bir o qədər çox tip dalğa həyəcanlanı bilər; b) İYT düzbucaqlı dalğaötürəndə ən böyük böhran dalğa uzunluğuna malik H_{10} dalğasıdır. Bu dalğa aşağı tip və ya əsas tip, yəni, informasiyanı daşıyan dalğadır. Bütün digər dalğalar daha qısa böhran uzunluğuna malik dalğalardır; c) İYT düzbucaqlı dalğaötürəndə sahə müxtəlif cür paylanır, lakin eyni böhran uzunluğuna malik dalğalar mövcud ola bilər ($E_{11}-H_{11}$, $E_{21}-H_{21}$).



Şəkil 4. İYT düzbucaqlı dalğaötürənin H -tip dalğası üçün hərəkət edən koordinat sistemində β' (a) və ω' (b) parametrlərinin koordinat sistemin sürətindən asılılıqları

Dördüncü fəsil mürəkkəb strukturlu qarışıq kombinasiyalı İYT dalğaötürən sistemlərin modelləşdirilməsinə həsr edilmişdir. Burada qeyri-müntəzəm və mürəkkəb divarlı düzbucaqlı dalğaötürənin səthi impedansının riyazi modeli işlənmiş, mürəkkəb dalğaötürən İYT traktlarda müxtəlif ölçülü yarıqlar açılmaqla onların bir-biriləri ilə əlaqələndirilməsi məsələsi həll edilmişdir. Eyni zamanda İYT düzbucaqlı dalğaötürəndən dairəvi dalğaötürənə keçid qurğusunda elektromaqnit sahəsinin modelləşdirilməsi məsələsi nəzəri və təcrübi olaraq həll edilmişdir. Belə ki, İYT düzbucaqlı dalğaötürənin daxilində dairəvi dalğaötürən yerləşdirilmiş və bu mürəkkəb dalğaötürən sistemində elektromaqnit dalğasının yayılması, qarşılıqlı əlaqə əmsalı təyin edilmişdir.

Bu fəsildə həmçinin İYT dairəvi dalğaötürənin elektrodinamiki modelləşdirilməsinə baxılmışdır. Belə ki, İYT dairəvi dalğaötürəndə yayılma sabitinin və elektromaqnit sahəsinin strukturunun müəyyən edilməsi Helmholsun aşağıdakı tənliklərinə gətirilmişdir:

$$\nabla^2 E_z + g^2 E_z = 0, \quad (25)$$

$$\nabla^2 H_z + g^2 H_z = 0. \quad (26)$$

Bu zaman aşağıdakı sərhəd şərtləri daxil edilmişdir:

$$E_z = 0, \quad (27)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial n} = 0. \quad (28)$$

Bu məsələni həll etmək üçün elə ortoqonal koordinat seçilmişdir ki, onların koordinat səthi İYT dairəvi dalğaötürənin səthi ilə üst-üstə düşsün.

(25), (26) və (27), (28) sərhəd məsələsinin həlli üçün kollokasiya və sonlu fərqlər metodlarından istifadə edilmişdir.

Silindrik koordinat sistemində (25) və (26) tənliklərini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} + \frac{\partial E_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \varphi^2} + g E_z = 0, \quad (29)$$

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} + \frac{\partial H_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 H_z}{\partial \varphi^2} + g H_z = 0. \quad (30)$$

Burada E_Z və H_Z uyğun olaraq $E_Z = E_Z(r, \varphi)$ və $H_Z = H_Z(r, \varphi)$ başa düşülür. Bu tənliklərin dəyişənlərə ayırma metodu ilə həlli aşağıdakı ifadələrə gətirmişdir:

$$E_Z(r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} [C_{Em} J_m(gr) + D_{Em} N_m(gr)] \times [A_{Em} \cos(m\varphi) + B_{Em} \sin(m\varphi)], \quad (31)$$

$$H_Z(r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} [C_{Hm} J'_m(gr) + D_{Hm} N'_m(gr)] \times [A_{Hm} \cos(m\varphi) + B_{Hm} \sin(m\varphi)], \quad (32)$$

burada $J_m(gr)$, $J'_m(gr)$ Bessel funksiyası və ya m tərtibli silindrik funksiya, $N_m(gr)$, $N'_m(gr)$ Neyman funksiyası və ya ikinci dərəcəli silindrik funksiya, g eninə dalğa ədədidir.

İYT dairəvi dalğaötürənin en kəsiyinin sahəsi və onun konturu iki hissədən ibarətdir: $r = a$ radiusu və L xətti.

$r = a$ olanda (27) və (28) sərhəd şərtlərinin φ -nin ixtiyari qiymətlərində ödənildiyini nəzərə alsaq, alarıq

$$D_{Em} = -C_{Em} \frac{J_m(ga)}{N_m(ga)}, \quad (33)$$

$$D_{Hm} = -C_{Hm} \frac{J'_m(ga)}{N'_m(ga)}. \quad (34)$$

Aşağıdakı əvəzləmələri qəbul edək:

$$Z_{Em}(gr) = J_m(gr)N_m(ga) - J_m(ga)N_m(gr), \quad (35)$$

$$Z_{Hm}(gr) = J'_m(gr)N'_m(ga) - J'_m(ga)N'_m(gr). \quad (36)$$

Onda alarıq

$$E_Z(r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} Z_{Em}(gr) [A_{Em} \cos(m\varphi) + B_{Em} \sin(m\varphi)], \quad (37)$$

$$H_Z(r, \varphi) = \sum_{m=0}^{\infty} Z_{Hm}(gr) [A_{Hm} \cos(m\varphi) + B_{Hm} \sin(m\varphi)] \quad (38)$$

Burada $C_{Em}/N_m(ga)$ və $C_{Hm}/J'_m(ga)$ sabitləri uyğun olaraq A_{Em} və B_{Em} , A_{Hm} və B_{Hm} əmsallarına daxil edilmişdir. Kollokasiya metodunun mahiyyəti aşağıdakı kimidir: E -dalğası üçün A_{Em} və B_{Em} parametrləri və ya H -dalğası üçün A_{Hm} və B_{Hm} parametrləri elə seçilir ki, (37) və (38) funksiyaları uyğun olaraq (27) və (28) şərtlərini ödəsin.

Kollokasiya metodunun köməyilə E -tip və H -tip dalğalar üçün aşağıdakı yeni dispersiya tənlikləri alınmışdır:

E -tip dalğalar üçün:

$$\left[Z_k(g r_i) \sin k\varphi \right] = 0, \quad (39)$$

$$\left[Z_k(g r_i) \cos k\varphi \right] = 0, \quad (40)$$

burada $k = 1, 2, \dots, n$ –sətir üzrə indekslər, $i = 1, 2, \dots, n$ –sütun üzrə indekslər, $n - L$ sərhədində yerləşən nöqtələrin sayı, g – eninə dalğa ədədi, $r = a$ – dalğaötürənin radiusudur.

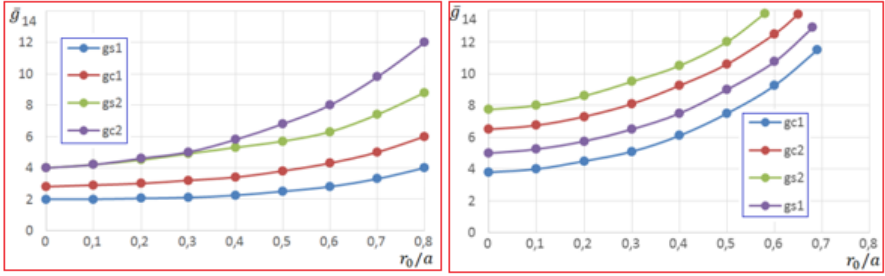
H -tip dalğalar üçün:

$$\left[\cos(k+1)_{\varphi} \left(g Z'_{Hk}(g r_i) - \frac{k}{r_i} Z_{Hk}(g r_i) \right) + \cos(k-1)_{\varphi} \left(g Z'_{Hk}(g r_i) + \frac{k}{r_i} Z_{Hk}(g r_i) \right) \right] = 0, \quad (41)$$

$$\left[\sin(k+1)_{\varphi} \left(g Z'_{Hk}(g r_i) - \frac{k}{r_i} Z_{Hk}(g r_i) \right) + \sin(k-1)_{\varphi} \left(g Z'_{Hk}(g r_i) + \frac{k}{r_i} Z_{Hk}(g r_i) \right) \right] = 0. \quad (42)$$

Alınmış (25)-(28) tənlikləri həll edilməklə eninə g dalğa ədədi və kritik dalğa uzunluğu təyin edilmiş və bu qiymələr əsasında eninə g dalğa ədədinin İYT dairəvi dalğaötürənin en kəsiyinin ölçüləri r_0/a nisbətindən asılılıqları (şəkil 5, a, b) qurulmuşdur.

Alınan qrafikləri $r_0/a \rightarrow 0$, oblastına ekstrapolyasiya etsək, həllərin yığılmasına nail olmaq olar. Belə ki, E -tip dalğa üçün \bar{g}_{c1} kökü asimptotik olaraq E_{11} -tip dalğanın kökünə yaxınlaşacaq (3,832), \bar{g}_{s1} – kökü E_{21} -tip dalğaya (5,52), \bar{g}_{c2} – kökü E_{31} -tip dalğaya (6,38), \bar{g}_{s2} – kökü E_{41} -tip dalğaya (7,588); H -tip dalğa üçün \bar{g}_{c1} kökü asimptotik olaraq H_{21} -tip dalğanın kökünə yaxınlaşacaq (3,054), \bar{g}_{c2} – kökü H_{01} -tip dalğaya (3,832), \bar{g}_{s1} – kökü H_{11} -tip dalğaya (1,841), \bar{g}_{s2} – kökü H_{31} -tip dalğaya (4,201) yaxınlaşacaq.



a)

b)

Şəkil 5. Eninə g dalğa ədədinin İYT dairəvi dalğaötürənin en kəsiyinin ölçüləri r_0/a nisbətindən asılılıqları:
a) E -tip dalğa halında; b) H -tip dalğa halında

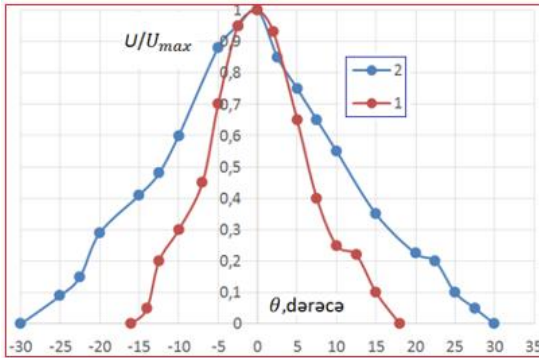
Bəşinci fəsildə qeyri-xətti mühitdə mürəkkəb strukturlu İYT dalğaötürən sistemlərin eksperimental tədqiqi məsələsinə baxılmışdır. Burada İYT düzbucaqlı dalğaötürəndən rüpora keçid qurğusunun xarakteristikaları eksperimental olaraq, işlənib hazırlanmış şəkil 6-da göstərilmiş qurğu ilə təyin edilmişdir.

Ölçü aşağıdakı metodika ilə aparılmışdır. İYT klitron generatoru rüpor şüalandırıcı ilə birlikdə gövdənin üzərinə birləşdirilmişdir. Verici rüpordan ən azı 3 m uzaqlıqda qəbuledici rüpor yerləşdirilmişdir. Verici və qəbuledici rüporlar da bir ox boyunca yerləşdirilmişdir. Qəbuledici rüporun çıxışından siqnal indikator blokunun millivoltmetr cihazına verilir.



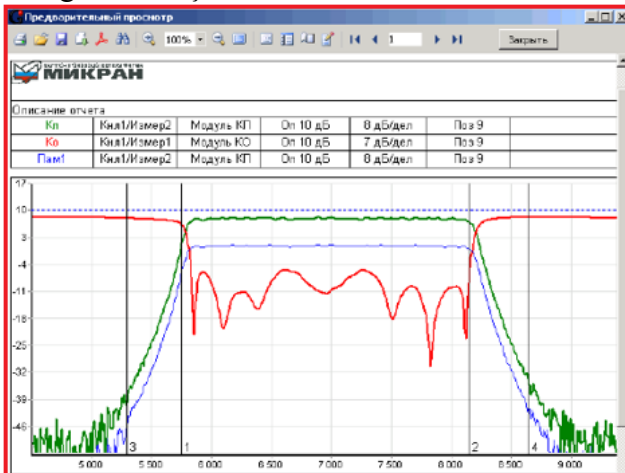
Şəkil 6. İstiqamətlənmə diaqramının eksperimental təyini üçün işlənib hazırlanmış qurğu

Təcrübi tədqiqat zamanı şaquli müstəvidə θ bucağını 1^0 diskret dəyişməklə qəbuledici qurğunun çıxışında çıxış gərginliyi ölçülmüş, sonra isə sahənin istiqamətlənmə diaqramlarının normallaşdırılmış qrafikləri qurulmuşdur (şəkil 7). Ölçmələr rupor qurğusunun oxuna nəzərən θ -nın -90^0 -dən $+90^0$ -dək intervalında aparılmışdır.



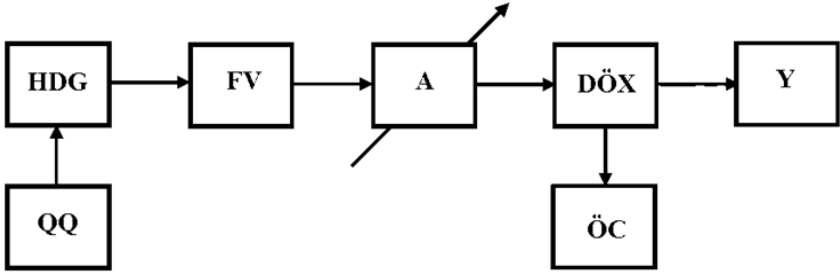
Şəkil 7. Rupor şüalandırıcının səhə intensivliyinə görə istiqamətlənmə diaqramları: 1-şaquli müstəvidə; 2-üfüqi müstəvidə

Ötürmə və əksolunma əmsallarının modullarının ölçmə nəticələri şəkil 8-də göstərilmişdir.



Şəkil 8. Ötürmə və əksolunma əmsallarının modullarının kompüterdə alınmış nəticələri

İYT diapazonda dalğaötürənlərin elektromaqnit sahəsinin parametrlərini eksperimental təyin etmək üçün dalğaötürən ölçü xəttindən istifadə edilmişdir. İYT dalğaötürəndə elektromaqnit sahəsinin tədqiqi üçün təklif olunan ölçü qurğusunun struktur sxemi şəkil 9-da göstərilmişdir.



Şəkil 9. İYT dalğaötürəndə elektromaqnit sahəsinin tədqiqi üçün ölçü qurğusunun struktur sxemi

Ölçü qurğusunun dalğaötürən traktına daxil olan bütün qovşaqları en kəsiyinin sahəsi $40 \times 20 \text{ mm}$ olan İYT düzbucaqlı dalğaötürən əsasında hazırlanmışdır. Elektromaqnit dalğası xəttə Hann diodlu İYT generator (HDG) vasitəsilə verilir. Bu generator qida qurğusu (QQ) vasitəsilə qidalanır. Yüklə (Y) girişi razılaşdırmaq üçün ölçü qurğusunun giriş hissəsinə ferrit ventillər (FV) yerləşdirilmişdir. Dalğanın güc səviyyəsini tənzimləmək üçün istifadə olunan attenyuatordan (A) sonra dalğaötürən ölçü xətti (DÖX) yerləşdirilmişdir. DÖX-in köməyiylə Y-də DDƏ və elektromaqnit sahəsinin paylanması, o cümlədən dalğaötürənin elektrik və maqnit sahəsinin intensivliklərinin qiymətləri təyin edilmişdir. DÖX-nin detektorunun çıxışına qoşulan ölçü cihazı (ÖC) sabit gərginlikli mikrovoltmetrdir.

Ölçmələr nəticəsində $4,9-7,05 \text{ QHs}$ tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürən və 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin intensivliklərinin təcrübi qiymətləri təyin edilmişdir.

İkimodlu İYT dalğaötürəndə hər iki dalğa halında gücün ölçülməsi üçün şəkil 10-da göstərilmiş sxem təklif edilmişdir. Burada qalvanomaqnit çeviricidən (2) ibarət olan ikimodlu İYT-li dalğaötürənin ölçü seksiyasının (1) girişinə H_{10} və H_{20} modlu dalğaların hər biri üçün İYT-li güc verilir. Ölçü seksiyası yükə (3) qoşulmuşdur. Bu

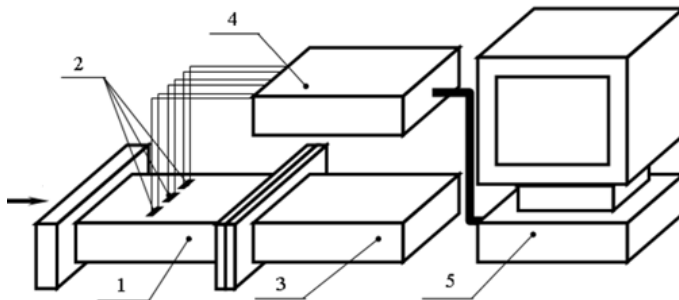
zaman ölçü seksiyasında elektromaqnit sahəsi düşən və əks olunan dalğaların superpozisiyası formasında təsvir edilmişdir. Qalvano- maqnit çeviricinin köməyi ilə gərginlik ölçülmüş və bu gərginlik yekun elektromaqnit sahəsinin güc selinin sıxlığına mütənəsb götürülmüşdür. Sıxal analoq-rəqəm çeviricisindən (4) keçərək emal üçün kompüterə (5) daxil olur və emal olunur. Bununla da hər bir dalğa tipi üçün ikimodlu İYT-li dalğaötürənin en kəsiyinin sahəsindən keçən güc təyin edilmişdir.

İYT diapazonunda dalğaötürən vasitəsilə elektromaqnit sahəsinin enerjinin ötürülməsi cərəyan və gərginliyin qiyməti ilə xarakterizə olunur. İYT dalğaötürənlər vasitəsilə elektromaqnit dalğalarının ötürülməsi zamanı dispersiyanın və sönmənin ölçülməsi ən vacib məsələlərdəndir. Ötürücü traktın digər əsas parametri dalğa müqavimətidir (tam müqavimət və ya impedans). Bu müqavimət elektrik və maqnit sahəsinin intensivliyinin eninə toplananlarının nisbəti ilə təyin edilir.

Qeyri-bircins və qeyri-xətti trakt üçün müqavimət dalğaötürənin bütün en kəsiyi boyunca eyni qiymətə malik olur. Traktın müxtəlif elementlərinin müqavimətlər nisbəti enerjinin ötürülməsinin effektivliyini göstərir. Belə ki, gücün maksimal ötürülməsi o zaman baş verir ki, bütün elementlərin dalğa müqavimətləri bərabər olsun. Dalğa müqavimətlərinin müxtəlif qiymətlərə malik olması əks olunmaya gətirib çıxarır. Qeyd olunanlardan belə nəticəyə gəlmək olar ki, İYT traktın əsas parametrləri dispersiya, sönmə və impedansdır. Ona görə də bu parametrlərin ölçülməsi üçün eksperimental qurğu təklif edilmiş bu qurğunun üzərində dispersiya, sönmə və impedansın ölçülməsi yerinə yetirilmişdir.

Bu fəsilə də həmçinin İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin eksperimental tədqiqindən alınmış nəticələrlə ədədi metodlarla hesablama zamanı alınmış nəticələrin müqayisəli analizi verilmiş və xətanın qiymətləndirilməsi aparılmışdır. Sahə intensivliklərinə görə nəzəri və eksperimentdən alınan nəticələr arasındakı nisbi xətanın 4%-ə qədər, İYT traktın digər parametrlərə görə isə nisbi xətanın 1%-ə qədər olduğu müəyyənləşdirilmişdir. H_{10} dalğasında işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin İYT traktının eksperimental və nəzəri təyin

edilmiş parametrlərin qiymətlərinin müqayisəsi cədvəl 1-də verilmişdir.



Şəkil 10. İkimodlu İYT-li dalğaötürəndə H_{11} və H_{10} dalğa halında gücün ölçülməsi üçün qurğunun sxemi

Cədvəl 1

H_{10} modunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin İYT traktının parametrlərinin eksperimental və nəzəri təyin edilmiş qiymətləri

Parametrin adı və vahidi	Eksperiment	Nəzəri
Limit gücü, P_d, Vt	4010,5	4000
Buraxıla bilən güc, P_{bur}, Vt	1211	1200
Sönmə əmsalı, $\alpha, dB/m$	0,0201	0,0203
Durğun dalğa əmsalı, K_{dd}	1,021	1,02
Əksolunma əmsalı, Q	0,0098	0,0099
Məxsusi keyfiyyətlik, Q_0	4497,2	4490
Əksolunma əmsalının fazası, $\varphi, rad/m$	$39,9\pi$	$39,8\pi$
Xarakteristik müqavimət, Z_H, Om	376,6	376,7

Cədvəl 1-dən görüldüyü kimi bütün parametrlər üzrə nisbi xətanın qiyməti 1% həddini aşmır. Bu da öz növbəsində mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınmaqla alınmış ifadələrin və bu ifadələr əsasında nəzəri yolla təyin edilmiş nəticələrin doğruluğunu sübut edir.

Altıncı fəsil qeyri-xətti mühidə mürəkkəb strukturlu İYT dalğaötürən sistemlərinin optimal sintezi məsələsinə həsr edilmişdir. Bunun üçün İYT diapazonlu qurğuların çoxkriteriyalı parametrik optimallaşdırma məsələsi həll edilmişdir. İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin optimal sintezində kriteriyalar aşağıdakı kimi seçilmişdir. Qəbul edilmişdir ki, L operatoru İYT düzbucaqlı və dairəvi

dalğaötürənlərin analiz operatorudur. L operatoru bu qurğuların elektrik və maqnit sahələrinin intensivlikləri $E, H(a, b, r)$ və dalğaların yayılma sabiti $\gamma(f)$ ilə xarakterizə edilir. Burada f - düzbucaqlı və ya dairəvi dalğaötürənin normallaşdırılmış tezliyidir.

İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlər üçün aşağıdakı funksional təklif olunmuşdur.

$$\gamma(f) = L[E, H(a, b, r)]. \quad (43)$$

Dalğaların normallaşdırılmış yayılma sabitinin tələb olunan asılılığını $\tilde{\gamma}(f)$ ilə işarə edək. $\gamma(f)$ və $\tilde{\gamma}(f)$ funksiyalarının yaxınlığı $F = \{L[E, H(a, b, r)], \tilde{\gamma}\}$ qiymətləndirmə funksionalının köməyi ilə aşağıdakı kimi təyin edilmişdir:

$$F = \{L[E, H(a, b, r)], \tilde{\gamma}\} = \max_{f \in [f_1, f_2]} |L[E, H(a, b, r)] - \tilde{\gamma}| \quad (44)$$

və ya

$$F = \{L[E, H(a, b, r)], \tilde{\gamma}\} = \int_{f_1}^{f_2} \sigma(f) (L[E, H(a, b, r)] - \tilde{\gamma})^2 df, \quad (45)$$

burada f_1, f_2 - düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənin işçi tezlik diapazonudur.

$\sigma(f)$ çəki funksiyasının daxil edilməsi f diapazonunun ayrı-ayrı yarımdiapazonlarında $\tilde{\gamma}(f)$ -nin dəqiq realizasiyasına imkan verir. Optimal sintez məsələsinin həlli üçün üsulların seçilməsi zamanı qurğuların fiziki və konstruktiv parametrləri nəzərə alınmışdır.

İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlər üçün bunlar aşağıdakılardır:

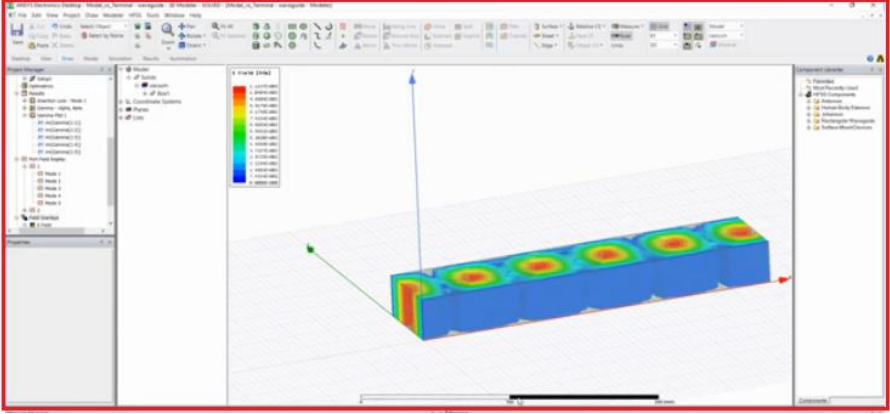
$$0 < E_{\min}, H_{\min} \leq E, H(a, b, r) \leq E_{\max}, H_{\max}, \quad (46)$$

$$E, H(a, b, r) \in M, \quad (47)$$

$$N^P[E, H(a, b, r)] = F\{L[E, H(a, b, r)] - \tilde{\gamma}\} + pT[E, H(a, b, r)], \quad (48)$$

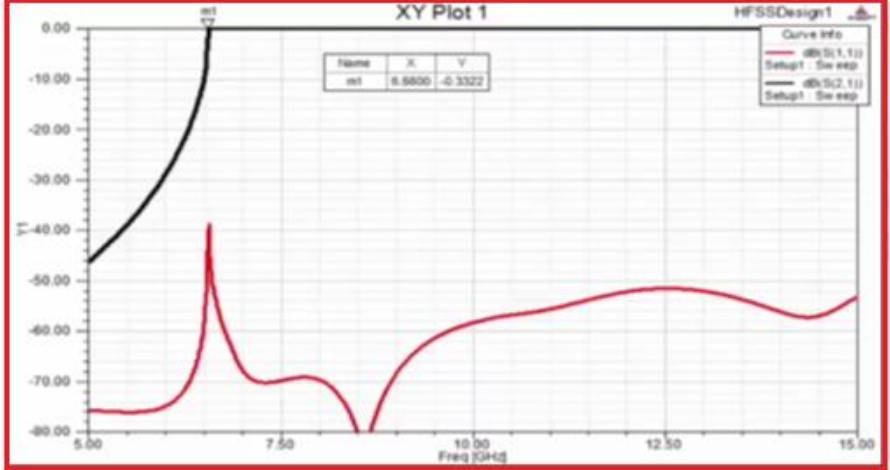
$$F = \{L[E, H(a, b, r)], \tilde{\gamma}\} \leq \Delta.$$

Göstərilən şərtlər daxilində Empipe 3D və HFSS komplekslərindən istifadə etməklə İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin optimal sintezi aparılmış və optimallaşdırılmış İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin fəza modelləri (şəkil 11 və şəkil 13) və tezlik xarakteristikaları (şəkil 12 və şəkil 14) alınmışdır.



Şəkil 11. Optimallaşdırılmış İYT düzbucaqlı dalğaötürənin fəza modeli

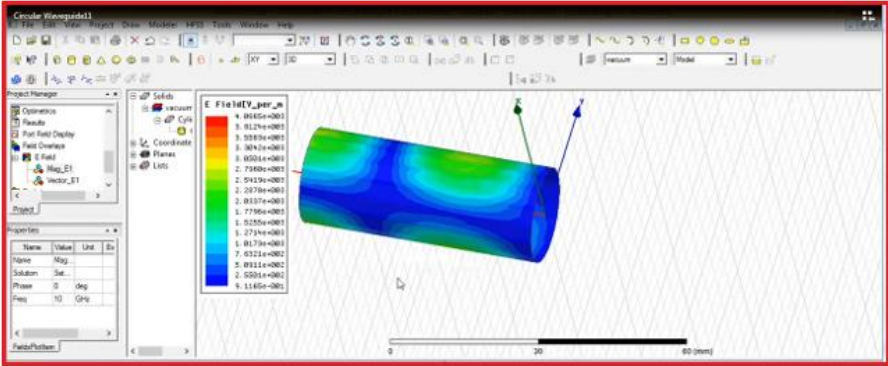
Beləliklə, optimal sintez prosesindən sonra İYT düzbucaqlı dalğaötürənin yeni fiziki modeli alınmışdır. Onun optimallaşdırma-dan sonra konstruktiv ölçüləri $47,55 \times 22,15 \text{ mm}$ təşkil etmişdir.



Şəkil 12. Optimallaşdırılmış düzbucaqlı dalğaötürənin tezlik xarakteristikası

Eyni zamanda müəyyən edilmişdir ki, İYT diapazonlu qurğuların optimal sintezinin əsasını bu qurğuların elektromaqnit sahəsinin optimal strukturunun axtarılması təşkil edir. Bu strukturun optimal-

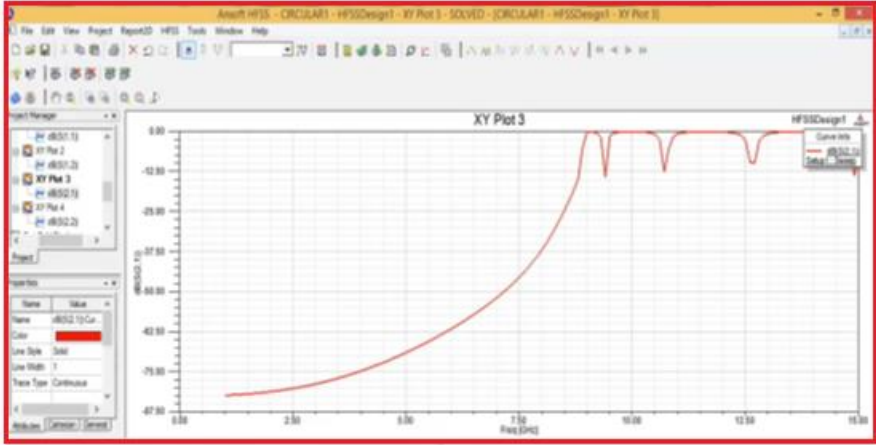
lılıq kriteriyalarının seçilməsindən, mühitin qeyri-xəttiliyindən, dalğaların tiplərindən asılıdır. İYT diapazonlu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin elektromaqnit sahəsinin optimal strukturunun qeyri-qənaətbəxş seçilməsi parametrik optimallaşdırma prosesində kompensasiya olunaraq təkmilləşdirilə bilməz.



Şəkil 13. Optimallaşdırılmış İYT dairəvi dalğaötürənin fəza modeli

Bu ölçülərə uyğun işçi tezlik diapazonu $f=4,94-5,99$ QHs seçilmişdir. Göründüyü kimi, İYT düzbucaqlı dalğaötürənin tezlik diapazonu optimallaşdırmadan sonra kiçildiyindən sönmə əmsalı $0,0431$ dB/m-dən $0,0201$ dB/m-ə qədər azalmış oldu. İYT dairəvi dalğaötürən üçün isə işçi tezliyi 9 QHs-dən $7,5$ QHs-ə qədər kiçildi. Bu da öz növbəsində sönmə əmsalının $0,0527$ dB/m-dən $0,0211$ dB/m-ə qədər azalmasına imkan vermişdir.

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində Sumqayıt-Giləzi magistral radiorele xəttinin Sumqayıt verici hissəsində hündürlüyü 37 m, Giləzi qəbuledici hissəsində isə hündürlüyü 40 m olan en kəsiyinin sahəsi 40×20 mm ölçülü dalğaötürən trakt sistemi en kəsiyinin sahəsi $47,55 \times 22,15$ mm olan dalğaötürən trakt sistemi ilə əvəz edilmişdir. Bu da öz növbəsində verici hissədə 12 ədəd İYT gücləndiricinin istismardan çıxarılmasına imkan vermiş və illik iqtisadi səmərə 116842 AZN təşkil edilmişdir. İqtisadi səmərənin əldə edilməsində əsas faktorlar elektrik enerjisi sərfiyatına qənaət edilməsi və magistral radiorele xəttində istifadə olunan avadanlıqların istismardan çıxarılması olmuşdur.



Şəkil 14. Optimallaşdırılmış dairəvi dalğaötürənin tezlik xarakteristikası

Optimallaşdırmadan sonra İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin parametrləri cədvəl 2 və cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəl 2

Optimallaşdırmadan sonra alınmış İYT düzbucaqlı dalğaötürənin parametrləri

Optimallaşdırmadan əvvəl İYT düzbucaqlı dalğaötürənin parametrləri			
İşçi tezlik diapazonu, QHs	En kəsiyinin sahəsi, mm		Latun dalğaötürən üçün sönmə əmsalı, dB/m
	a	b	
4,9-7,05	40	20	0,0431
Optimallaşdırmadan sonra İYT düzbucaqlı dalğaötürənin parametrləri			
3,94-5,99	47,55	22,15	0,0201

Beləliklə, optimallaşdırılan dalğaötürənlər əsasında televiziya qüllələrində verilişin keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq məqsədilə verici ilə antenani birləşdirən yeni dalğaötürən trakt sistemi işlənib hazırlanaraq tətbiq edilmişdir (şəkil 15).

Optimal sintez prosesində E -tip və H -tip dalğalı İYT diapazonlu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin parametrik optimallaşdırıl-

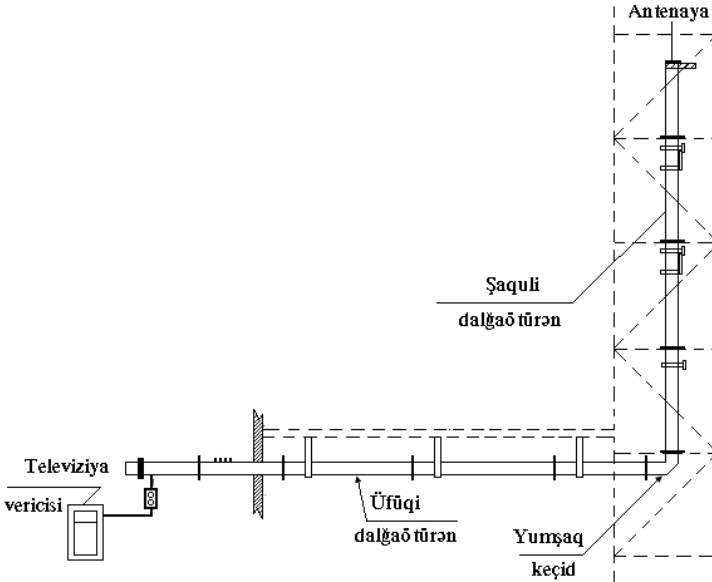
ması iki mərhələdə yerinə yetirilmişdir. Birinci mərhələdə normal (ilkin verilən) düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürən yaradılaraq texniki tələbatların yerinə yetirilməsi qiymətləndirilmişdir. İkinci mərhələdə isə daha yüksək səviyyəli modelə əsaslanaraq onun parametrlərinin dəqiqləşdirilməsini aparılmışdır.

Cədvəl 3

Opimallaşdırmadan sonra alınmış İYT dairəvi dalğaötürənin parametrləri

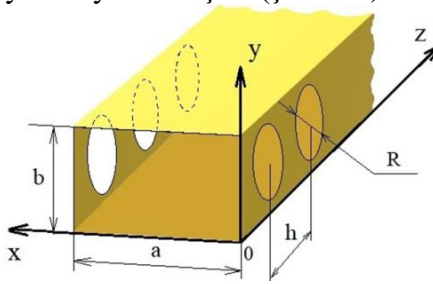
Optimallaşdırmadan əvvəl İYT dairəvi dalğaötürənin parametrləri		
İşçi tezliyi, QHz	Diametri, d, mm	Latun dalğaötürən üçün sönmə əmsalı, dB/m
9	50	0,0422
Optimallaşdırmadan sonra İYT dairəvi dalğaötürənin parametrləri		
7,5	60	0,0211

Bu fəsilə həmişinin sintez prosesinin optimal təşkili üçün düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürən qurğuların ən azı iki modelinin - əsas (təqribi, birdalğalı) və köməkçi (dəqiqləşdirilmiş) modellərinin qurulması yerinə yetirilmişdir.



Şəkil 15. Televiziya qüllələrində verici ilə antenayı birləşdirmək üçün işlənib hazırlanmış yeni dalğaötürən trakt sistemi

Yeddinci fəsil xüsusi konstruksiyalı İYT dalğaötürən sistemlərin modelləşdirilməsi məsələlərinə həsr edilmişdir. Burada yan divarları yarıqlı düzbucaqlı dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin modelləşdirilməsi yerinə yetirilmişdir (şəkil 16).



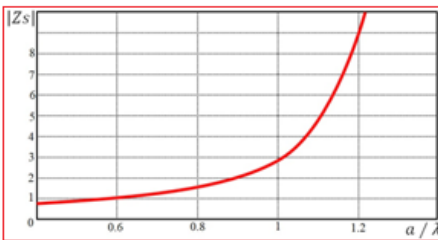
Şəkil 16. Yan divarı dairəvi yarıqlı düzbucaqlı dalğaötürən

Belə ki, bu fəsilə kiçik divarında sonsuz sayda yarıqlar açılmış düzbucaqlı dalğaötürən üçün dispersiya tənliyi işlənmişdir.

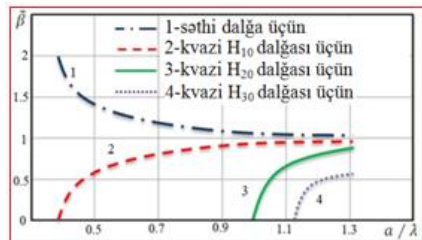
$$\sum_{k=0}^{\infty} \left\{ \left[(\tilde{z}_{p0}^+ + \tilde{z}_{p0}^-) U_k^{(s)} - (1 + \delta_{nk}) \delta_{nk} \cdot V_k^{(s)} \right] A_k^{(s)} + \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} (\tilde{z}_{pr}^+ U_k^{(s-r)} A_k^{(s-r)} + \tilde{z}_{pr}^- U_k^{(s+r)} A_k^{(s+r)}) \right\} = 0, \quad (49)$$

burada $n = 0, 1, 2, \dots; s = 0, \pm 1, \pm 2, \dots; p = |n - k|; \delta_{nk}$ – Kroneker simvoludur.

Şəkil 16-da göstərilən struktur üçün effektiv səthi impedans hesablanmış və effektiv səthi impedansın qiymətindən və dalğa uzunluğundan asılı olaraq dispersiya xarakteristikaları alınmışdır (şəkil 17 və şəkil 18).



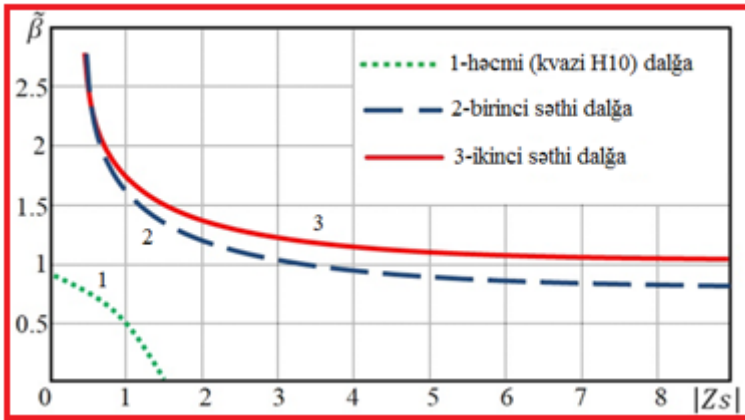
Şəkil 17. $|Z_{seff}|$ effektiv impedansın modulunun a/λ dalğa uzunluğundan asılılığı



Şəkil 18. Səthi və həcmi dalğaların $\tilde{\beta}(a/\lambda)$ normallaşdırılmış yayılma sabitinin asılılıqları

Şəkil 18-dən görünür ki, belə İYT strukturda həm həcmi, həm də səthi dalğalar, iki impedans divarlı dalğaötürəndə isə iki səthi dalğa yayıla bilər. Qrafiklərdən görüldüyü kimi effektiv impedansın modulunun artması yayılma sabitinin artmasına səbəb olur.

Ədədi analiz həmçinin dalğaötürənin iki divarının impedans olması halı üçün də aparılmışdır. Hesablamalar göstərmişdir ki, bu strukturda iki eninə səthi dalğaların yayılması mümkündür. Şəkil 19-da $a/\lambda = 0,8$ halında iki impedans divarlı dalğaötürən üçün $\tilde{\beta}(|Z_{seff}|)$ asılılıqları göstərilmişdir.



Şəkil 19. $a/\lambda = 0,8$ halında iki impedans divarlı dalğaötürən üçün $\tilde{\beta}(|Z_{seff}|)$ asılılıqları: 1 - həcmi (kvazi H_{10}) dalğa; 2 - birinci səthi dalğa; 3 - ikinci səthi dalğa

Qeyd etmək lazımdır ki, $Z_{seff} \rightarrow 0$ halında kvazi H_{10} dalğası H_{10} dalğasına keçir. Bu zaman səthi dalğalar yaranır. Eyni zamanda şəkil 19-dan görünür ki, Z_{seff} - in bir sıra qiymətlərində həcmi dalğa (1-ci əyri) kəsilməyə məruz qalır. Onun artması nəticəsində β yayılma sabitinin qiyməti azalır. Bu zaman səthi dalğalardan biri (3-cü əyri) vahidə tərəf meyl edir, digər dalğa isə səthi dalğadan həcmi dalğaya keçir (2-ci əyri).

Bu fəsildə eyni zamanda şəkil 20-də göstərilmiş dairəvi en kəsiyə malik dielektrik dalğaötürənin elektromaqnit dalğalarının yayılması

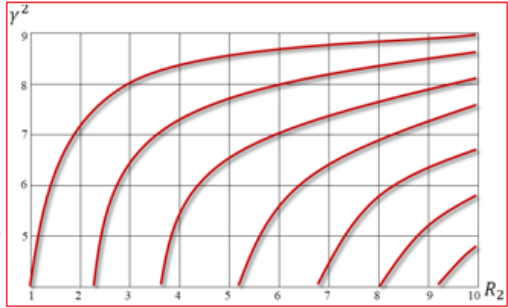
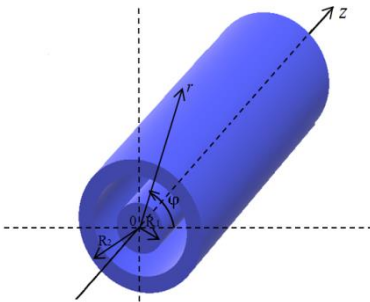
yılma əmsalı üçün aşağıdakı dispersiya tənliyini alınmış və yayılma əmsalının radiusdan asılılığı qurulmuşdur (şəkil 21).

$$\Delta(\gamma) \equiv (\varepsilon_2 + \chi\Psi|_{r=R_2=0})\Psi_1(R_2=0) - \gamma \frac{\varepsilon_3}{k_3} \frac{K_1(k_3 R_2)}{K_0(k_3 R_2)} \Psi_2(R_2=0). \quad (50)$$

burada γ – yayılma sabiti, χ – qeyri-xəttilik əmsalıdır.

Bu fəslin dördüncü paragrafında bir-birindən müəyyən məsafədə yerləşən sonsuz ideal divarları olan kiral mühitli düzbucaqlı dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin TE və TM tipli normal dalğaları üçün yeni riyazi modellər işlənmişdir:

$$\int_0^{z_0} \int_0^a \frac{1}{\mu} \text{rot} \mathbf{E}^* \text{rot} \mathbf{E} dx dz + \frac{\omega}{c} \int_0^{z_0} \int_0^a \frac{\chi}{\mu} \mathbf{E} \text{rot} \mathbf{E}^* dx dz + \frac{\omega}{c} \int_0^{z_0} \int_0^a \frac{\chi}{\mu} \mathbf{E}^* \text{rot} \mathbf{E} dx dz - \left. - \frac{\omega^2}{c^2} \int_0^{z_0} \int_0^a \left(\varepsilon - \frac{\chi^2}{\mu} \right) \mathbf{E}^* \mathbf{E} dx dz - \int_0^a \frac{1}{\mu} [e_z, \mathbf{E}^*] \left\{ \text{rot} \mathbf{E} \right\}_{z=0}^{z=z_0} + \frac{\omega}{c} \chi \mathbf{E} \Big|_{z=0} \right\} = 0. \quad (51)$$



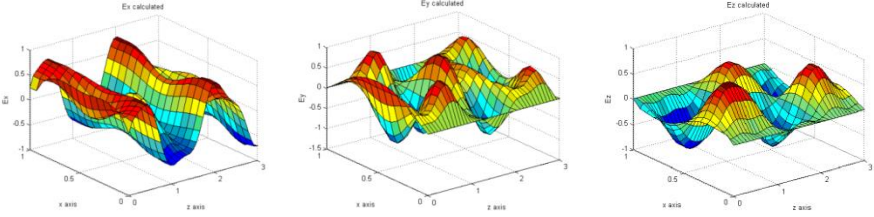
Şəkil 20. Dairəvi en kəsiyə malik dielektrik dalğaötürən

Şəkil 21. γ^2 yayılma sabitinin R_2 radiusundan asılılığı:

$$\varepsilon_1 = 4, \varepsilon_2 = 9, \varepsilon_3 = 1, R_1 = 2, 2 < R_2 < 12, \chi = 0, k_0 = 1$$

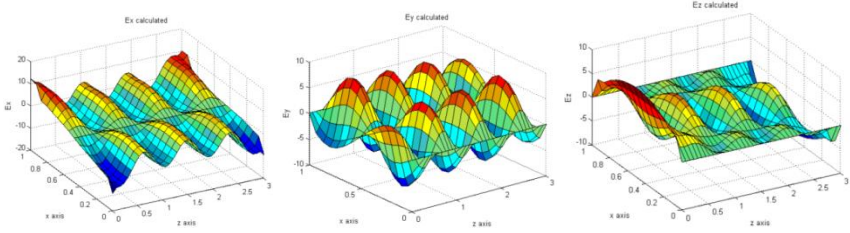
Sonlu elementlər metodundan istifadə etməklə alınmış riyazi modellər həll edilərək mühitin kirallılıq parametrisinin müxtəlif qiymətləri üçün dalğaötürənin daxilində sahənin komponentlərinin paylanmaları qurulmuşdur (şəkil 22 və şəkil 23).

- *TE* tipli dalğa halında:



Şəkil 22. $\chi = 0,8$ halında dalğaötürənin daxilində sahənin komponentləri

- *TH* tipli dalğa halında:



Şəkil 23. $\chi = 0,8$ halında dalğaötürənin daxilində sahənin komponentləri

Sahə komponentlərinin analizi göstərilmişdir ki, dalğaötürənin kiral oblastında sahə hibrididir. Bunun nəticəsində qeyd edə bilərik ki, belə sistem bir tip dalğanı digər tip dalğaya çevirmək üçün çevirici funksiyasını yerinə yetirə bilər.

NƏTİCƏ

1. İYT qurğuların analizi və optimal sintezinin müasir vəziyyətinin icmalı əsasında müəyyənləşdirilmişdir ki, real praktikada mühit özünü qeyri-xətti mühit kimi apardığından İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin analizi və optimal sintezi üçün mövcud nəzəriyyənin mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınaraq yenidən işlənməsinə zərurət vardır.

2. İlk dəfə olaraq mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınmaqla İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin elektrik sahəsinin intensivliyi

ilə nisbi dielektrik nüfuzluğu arasında analitik ifadə alınmışdır. Bu analitik ifadə çox böyük nəzəri və praktiki əhəmiyyət kəsb etməklə yanaşı informasiyanı uzaq məsafələrə ötürmək üçün müxtəlif tezlik diapazonlu dalğaötürən tipli radiotexniki və telekommunikasiya sistemlərinin layihələndirilməsinin əsasını təşkil edir.

3. Mühitin qeyri-xəttiliyi, dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT radiotexniki və telekommunikasiya qurğularından 4,9-7,05 QHS tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 QHS tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin dekart və silindrik koordinat sistemlərində yeni riyazi modelləri və bu modellərin həlli üçün effektiv alqoritmlər təklif edilmişdir ki, bu da İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin elektrik, maqnit, konstruktiv və istismar parametrlərinin və xarakteristikalarının yaxşılaşdırılmasına, sönmə əmsalının minimuma endirilməsinə imkan vermişdir.

4. *E*-tip və *H*-tip dalğalar üçün 4,9-7,05 QHS tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin və 9 QHS tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elementar oblastlarında elektromaqnit sahəsinin intensivliklərinin paylanmasının 3D modelləri işlənmiş, elektromaqnit dalğalarının dispersiya tərkibləri dəqiqləşdirilmiş və beləliklə, sahə intensivliklərinin dispersiya asılılıqlarına təsiri göstərilmişdir.

5. Mühitin qeyri-xətti halında *E*-tip (*TH*) və *H*-tip (*TE*) dalğalarının H_{10} modu üçün 4,9-7,05 QHS tezlik diapazonunda işləyən İYT düzbucaqlı dalğaötürənin ötürücü traktının limit gücü, buraxıla bilən gücü, sönmə əmsalı, durğun dalğa əmsalı, əksolunma əmsalı, məxsusi keyfiyyətlik, əksolunma əmsalının fazası və xarakteristik müqaviməti kimi parametrləri üçün yeni riyazi ifadələr alınmışdır. Eyni zamanda qeyri-müntəzəm divarlı düzbucaqlı dalğaötürənin səthi impedansını istənilən dəqiqliklə təyin etməyə imkan verən yeni riyazi ifadə alınmışdır. Göstərilmişdir ki, qeyri-müntəzəm divarlı və qeyri-xətli mühitli düzbucaqlı dalğaötürənin İYT traktı üçün alınmış yeni riyazi ifadələr daha mürəkkəb dalğaötürən sistemlərin layihələndirilməsi zamanı da uğurla tətbiq edilə bilər.

6. Mühitin qeyri-xətli halında düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin İYT traktının, o cümlədən elektrik və maqnit sahələrinin parametrlərinin ölçülməsi üçün eksperimental qurğular və funksional sxemlər təklif edilmiş və dalğaötürənlərin parametrləri eksperimental

olaraq təyin edilmişdir. Elektrik və maqnit sahələrinin intensivliklərinin nəzəri və təcrübi nəticələrinin müqayisəsi göstərmişdir ki, bu parametrlərə görə nisbi xəta 4%, İYT traktın digər parametrlərinə görə isə 1% təşkil edir. Bu da alınan nəzəri və təcrübi nəticələrin adekvatlığını sübut etmişdir.

7. *E*-tip və *H*-tip dalğalar üçün 4,9-7,05 *QHs* tezlik diapazonunda işləyən düzbucaqlı dalğaötürənin, 9 *QHs* tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektrik və maqnit sahələrinin intensivliklərinin eksperimentdən alınan qiymətlərinin onun en kəsiyinin uzunluğundan asılılıqları, dispersiya asılılığı, İYT traktıda sönmənin asılılığı qurulmuşdur. Bu asılılıqlar tədqiq olunan qurğuların daxilində yayılan elektromaqnit sahəsi və İYT traktın digər parametrləri barəsində vizual təsəvvür yaratmağa imkan verir.

8. Müəyyən edilmişdir ki, İYT diapazonlu qurğularının optimal sintezinin əsasını bu qurğuların elektromaqnit sahəsinin optimal strukturunun və konstruktiv ölçülərinin axtarılması təşkil edir. Bu da optimallıq kriteriyalarının seçilməsindən, mühitin qeyri-xəttiliyindən, dalğaların tipindən asılıdır.

9. *E*-tip və *H*-tip dalğalı İYT diapazonlu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin parametrik optimallaşdırılmasının iki mərhələdə yerinə yetirilməsi müəyyənləşdirilmişdir. Birinci mərhələdə optimallaşdırılacaq düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürən yaradılaraq texniki tələbatların yerinə yetirilməsi qiymətləndirilmiş, ikinci mərhələdə isə daha yüksək səviyyəli modelə əsaslanaraq onun parametrlərinin dəqiqləşdirilməsi təmin edilmiş, maksimum funksiyanın minimallaşdırılması məsələsi həll edilmişdir.

10. H_{10} və H_{11} dalğa modlarında İYT diapazonlu düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin optimal sintezi üçün yeni alqoritmlər verilmiş, onların üstünlükləri əsaslandırılmış və HFSS, Empipe 3D proqram komplekslərindən istifadə etməklə bu qurğuların parametrik analizi və struktur optimallaşdırılması yerinə yetirilmiş, düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin prinsipə yeni fiziki modelləri işlənib hazırlanmış və onların konstruktiv, elektrik parametrləri yaxşılaşdırılmışdır.

11. İşlənib hazırlanmış dalğaötürənlər əsasında Azərbaycan Respublikasının Nəqliyyat, Rabitə və Yüksək Texnologiyalar Nazir-

liyinin Radio Televiziya Yayımı və Peyk Rabitəsi İstehsalat Birliyinin televiziya qüllələrində verilişin keyfiyyətini yaxşılaşdırmaq məqsədilə verici ilə antenamı birləşdirən yeni dalğaötürən trakt sistemi təklif, tətbiq, tədqiq edilmiş və nəticəsində düzbucaqlı dalğaötürənə görə sönmə əmsalı $0,0431 \text{ dB/m}$ -dən $0,0201 \text{ dB/m}$ -ə, dairəvi dalğaötürənə görə isə $0,0422 \text{ dB/m}$ -dən $0,0211 \text{ dB/m}$ -ə qədər azaldılmışdır ki, bu da vericidən qəbulediciyə ötürülən informasiyanın daha uzaq məsafələrə ötürülməsinə imkan vermişdir.

12. Alınmış nəticələr Azərbaycan Respublikasının Nəqliyyat, Rabitə və Yüksək Texnologiyalar Nazirliyinin Radio Televiziya Yayımı və Peyk Rabitəsi İstehsalat Birliyində uzunluğu $41,8 \text{ km}$ olan Sumqayıt-Giləzi magistral radiorele xəttində tətbiq olunmuşdur. Belə ki, düzbucaqlı dalğaötürən trakt sisteminin en kəsiyinin sahəsini artırmaqla onun işçi tezlik diapazonu $3,94\text{-}5,99 \text{ QHz}$ -ə qədər azaldılmış, bu da dalğaötürən trakt sistemində informasiya ötürülməsində siqnalın sönməsinin 2 dəfədən də artıq azaldılmasına imkan vermişdir. Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində Sumqayıt-Giləzi magistral radiorele xəttinin Sumqayıt verici hissəsində hündürlüyü 37 m , Giləzi qəbuledici hissəsində isə hündürlüyü 40 m olan en kəsiyinin sahəsi $40 \times 20 \text{ mm}$ ölçülü dalğaötürən trakt sistemi en kəsiyinin sahəsi $47,55 \times 22,15 \text{ mm}$ olan dalğaötürən trakt sistemi ilə əvəz edilmişdir. Bu da öz növbəsində verici hissədə 12 ədəd İYT gücləndiricinin istismardan çıxarılmasına imkan vermiş və illik iqtisadi səmərə 116842 AZN təşkil edilmişdir. İqtisadi səmərənin əldə edilməsində əsas faktorlar elektrik enerjisi sərfiyatına qənaət edilməsi və magistral radiorele xəttində istifadə olunan avadanlıqların istismardan çıxarılması olmuşdur.

Dissertasiya işinin mövzusu üzrə aşağıdakı əsas elmi əsərlər dərc olunmuşdur:

1. Исламов, И.Дж. Алгоритмизация численного расчета электромагнитных полей СВЧ элементов и устройств // Материалы НТК «Связь и наука», Министерство Связи, – Баку: – 2002, – с. 42-43.
2. Исламов, И.Дж. Численный анализ рассеяние электромагнитных волн волновода связи сантиметрового диапазона при режиме неоднородности и нелинейности среды //

- Материалы НТК «Связь и наука», – Министерство Связи, – Баку: – 2002, – с. 40-41.
3. Исмибейли, Э.Г., Исламов, И.Дж. Математические модели электромагнитного поля прямоугольного волновода с воздушным заполнением при нелинейной трактовке, используемых в системах связи // Труды 4-ой международной НТК «Электроника и информатика-2002», – ч. 2, – Московский Государственный Институт Электронной Техники, – Москва: – 19-21 ноября, – 2002, – с. 186-188.
 4. Исламов, И.Дж. Моделирование электромагнитного поля полоскового СВЧ устройства методом конечных элементов // Труды республиканской конференции «Современные проблемы информатизации, кибернетики и информационных технологий», – Баку: – 2003, – т. 2, – с. 88-90.
 5. Исламов, И.Дж. Новые математические модели электромагнитного поля прямоугольного волновода с воздушным заполнением при учете нелинейных свойств среды // Материалы РНТК, «Радиотехника и связь», – Баку: – 2003, – с. 13-25.
 6. Исламов, И.Дж. Улучшенные модели расчета магнитного поля СВЧ прямоугольного волновода с учетом нелинейных свойств среды // – Баку: Техника, – 2003. №3, (16), – с. 60-69.
 7. Исламов, И.Дж. Численное моделирование электрического поля прямоугольного волновода при нелинейной трактовке // “Heydər Əliyev və Azərbaycanın elmi-texniki tərəqqi” mövzusunda professor-müəllim heyəti və aspirantların Respublika konfransının materialları, – Bakı: – 2003, – s. 23-28.
 8. Исмибейли, Э.Г., Исламов, И.Дж., Газиев, Ю.Г. Математическое моделирование и алгоритмизация расчета электромагнитных полей волноводов СВЧ диапазона // Труды 4-ой МНТК «Современные информационные и электронные технологии-2003», – Одесса, – 19-23 май, – 2003, – с. 57.

9. Islamov, I.J. Numerical method for analysis of electromagnetic field in microwave waveguide // 4th International Conference on Antenna Theory and Techniques, – Sevastopol, – 9-12 September, – 2003, – pp. 729-731.
10. Исламов, И.Дж. Расчет магнитного поля сверхвысокочастотного (СВЧ) волновода прямоугольного сечения с воздушным заполнением, работающего на частотах 4,9-7,05 ГГц // – Баку: Известия НАН Азербайджана. Серия физико-математической и технической наук, Элм, – 2003. №2, – т. 13, – с. 142-150.
11. Исламов, И.Дж. Оценка погрешности метода конечных элементов при расчете электрического поля прямоугольного волновода с воздушным заполнением // Труды юбилейной МНТК «Информационные и электронные технологии в дистанционном зондировании», посвященной 70-летию академика А.Ш.Мехтиева, – Баку: – 20-23 декабрь, – 2004, – с. 197-200.
12. İsmibəyli, E.Q. Elektron kvant cihazları və ifrat yüksək tezlikli qurğular. Dərslik. / E.Q.İsmibəyli, R.M.Rəhimov, İ.C.İslamov, – Bakı: Adiloğlu nəşriyyatı, – 2004, – 262 s.
13. Исламов, И.Дж. Численное моделирование и экспериментальное исследование электрического поля прямоугольного волновода при нелинейной трактовке // Баку: Известия НАН Азербайджана, Серия физико-мат. и тех. наук, – 2004. №2, – т. 24, – с. 48-57.
14. Исмибейли, Э.Г., Исламов, И.Дж., Набиев, Г.Ш. Обобщенные математические модели электромагнитного поля полого круглого волновода // Баку: Ученые записки АзТУ, – 2004. №2, – т. 13, – с. 16-21.
15. Исламов, И.Дж. Электродинамический анализ сложных трехмерных волноводных СВЧ структур с помощью метода конечных разностей // Ümummilli lider Heydər Əliyevin Azərbaycan Respublikasının rəhbərliyinə gəlməsinin 36-cı ildönümünə həsr olunmuş beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları, – Sumqayıt: – 2005, – s. 343-347.

16. Исламов, И.Дж., Аббасов, А.М. Измерение параметров электромагнитного поля в полом круглом волноводе // Материалы конференции АзТУ, – Баку: – 2005, – т. 2, – с. 33-36.
17. Исламов, И.Дж., Панычев, А.И. Математическая модель возбуждения электромагнитного поля системой нелинейной образований на клине // Труды пятой МНТК «Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе», – Баку-Сумгаит: 2005, – 5-8 декабрь, – с. 50-54.
18. İsmibəyli, E.Q., İslamov, İ.C. EHM-in tətbiqilə İYT element və qurğuların hesabatının alqoritimizasiyası, modelləşdirilməsi üçün ədədi-analitik üsulların işlənilib hazırlanması // Dövlət büdcəli ETİ, – Bakı: – 2005, – 38 s.
19. Исламов, И.Дж. Новый подход к определению потенциала электрического поля, создаваемого заданным распределением в пространстве электрических зарядов // – Баку: – Известия НАН Азербайджана, серия физ.-мат. и технических наук, – 2005. №5, – с. 205-214.
20. Исламов, И.Дж. Численное моделирование электромагнитных полей в сверхвысокочастотных элементах и устройствах / И.Дж.Исламов. – Баку: Элм, – 2005. – 250 с.
21. Исламов, И.Дж. Критерии оптимальности синтеза СВЧ устройств // Материалы конференции АзТУ, – Баку: – 2005, – т. 2, – с. 31-33.
22. Исламов, И.Дж. Математические модели затухание при распространении электромагнитных волн в средах с конечной проводимостью // – Баку: – Ученые записки АзТУ, – 2005. №3, – с. 21-24.
23. Исмибейли, Э.Г., Исламов, И.Дж., Аббасов, А.М. Расчет числа возбуждаемых типов волн прямоугольного полого волновода для произвольной частоты // – Баку: – Ученые записки АзТУ, – 2005. №4, – с. 30-31.
24. Islamov, I.J., Mammadov, A.H. Modeling of an electromagnetic field of rectangular waveguide at nonlinearity of environment // Beynəlxalq ETK-in materialları, – Bakı: – 2005, – s. 76-83.

25. Исламов, И.Дж. Трехмерное электродинамическое моделирование электромагнитного поля круглого волновода с помощью HFSS // Труды пятой международной конференции «Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе», – Баку-Сумгаит: – 2005, – 5-8 декабрь, – с. 58-61.
26. Islamov, I.J. Application of finite elements method by calculating electric field of hollow rectangular waveguide // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2005. №4, – s. 35-38.
27. İsmibəyli, E.Q. Elektrodinamika və radiodalğaların yayılması. Dərslik. / E.Q.İsmibəyli, İ.C.İslamov – Bakı: Elm, – 2006. – 450 s.
28. İslamov, İ.C. Rabitə vasitələrinin elektromaqnit şüalanmasının insana təsirinin analizi // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2006. №4, – s. 16-19.
29. İslamov, İ.C. Respublikaba elektromaqnit təhlükəsizliyinin təmininin konseptual prinsiplərinin bəzi məsələləri // Beynəlxalq elmi-praktiki konfransın materialları, – Lənkəran: – 25 mart, – 2006, – s. 21-22.
30. Исламов, И.Дж. К определению парадоксов при решении уравнений Максвелла // AzTU-nun professor-müəllim heyətinin ETK məruzə materialları, – Bakı: – 2006, – 1-ci hissə, – s. 111-114.
31. İslamov, İ.C. Qeyri-müntəzəm divarlı düzbucaqlı dalğaötürənin səthi impedansının riyazi modeli // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2007. №1, – s. 67-68.
32. İslamov, İ.C. İfrat yüksək tezlikli qurğuların optimal sintezi // – Bakı: Elm, – 2007, – 226 s.
33. Исламов, И.Дж. Определения постоянных распространения и построения структуры полей электромагнитных волн в круглом волноведущем устройстве телекоммуникации // 13th Azerbaijan International Exhibition and Conference “Telecommunications and Information Technologies”, – Bakı: – 2007, – pp. 147-150.
34. İslamov, İ.C. İfrat yüksək tezlik diapazonlu qurğuların hazırlanmasında buraxıla bilən xətalara optimallaşdırılması //

Azərbaycanda televiziyanın 50, radionun 80 illiyinə həsr edilmiş “Radiotexnika, televiziya və rabitənin müasir problemləri” mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfransın materialları, – Bakı: – 4-6 iyun, – 2007, – s. 85-90.

35. Исламов, И.Дж. Разработка математических моделей постоянных распространения электромагнитных волн в круглом волноводе при цифровом вещании // Материалы РНТК «Инновационные технологии в образовании и науке», посвященной 60-летию юбилею АзТУ, – Баку: – 2010, – с. 212-215.
36. İsmibəyli, E.Q. Müasir riyazi üsullar vasitəsilə ifrat yüksək tezlikli radiotexniki qurğuların analizi və optimal sintezi / E.Q.İsmibəyli, İ.C.İslamov, Y.Q.Qaziyev, M.M.Quliyev, R.Ş.Abdullayev, – Bakı: Dövlət büdcəli ETİ, – 2006-2010, №0106Az100956, – inv. №0211Az0059, – 25 s.
37. Исламов, И.Дж., Расулов, Р.Дж. Электродинамическое моделирование электромагнитных полей в круглом волноводе // – Москва: Электросвязь, – 2010. №10, – с. 16-18.
38. Исламов, И.Дж., Расулов, Р.Дж. Разработка математических моделей постоянных распространения электромагнитных волн в круглом волноводе при цифровом вещании // – Одесса: Цифровые технологии, 2010. №7, – с. 56-60.
39. Исламов, И.Дж., Джафарзаде, М.Б. Экспериментальное исследование электромагнитного поля в прямоугольном волноводе // “Müasir İKT inkişaf perspektivləri” beynəlxalq elmi-texniki konfransının materialları, – Bakı: – 22-24 sentyabr, – 2011, – s. 162-172.
40. Məmmədov, H.Ə., İslamov, İ.C. Qeyri-müntəzəm divarlı düzbucaqlı dalğaötürəndə səthi impedansın riyazi modeli // “Müasir İKT inkişaf perspektivləri” beynəlxalq ET konfransının materialları, – Bakı: – 22-24 sentyabr, – 2011, – s. 102-107.
41. Исламов, И.Дж., Джафарзаде, М.Б. Моделирование анизотропного прямоугольного волновода, частично введенного в анизотропную подложку // – Баку: Известия НАН Азербайджана, Сер. физ. мат. и техн. наук., – 2011. №5, – т. 31, – с. 173-178.

42. Məmmədov, H.Ə. Elektrodinamika və radioekologiya. Monoqrafiya. / H.Ə.Məmmədov, E.Q.İsmibəyli, İ.C.İslamov – Bakı: Elm nəşriyyatı, – 2011. – 609 s.
43. Islamov, I.J., Asgarov, A.S. Calculation of the Electromagnetic Field of the Microwave Devices With Use of Method FDTD and Integral Kirchhoff // Application of Information and Communication Technologies-AICT2013, Baku: – 2013, – pp. 223-226.
44. İslamov, İ.C., Abdullayev, R.Ş., Camalova, J.S. Telekomunikasiya sistemlərinin ifrat yüksək tezlikli qurğularının hazırlanmasında buraxıla bilən xətlərin optimallaşdırılması // “İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişaf perspektivləri” beynəlxalq ET konfransın materialları, – Bakı: – 27-28 oktyabr, – 2014, – s. 63-69.
45. Исламов, И.Дж., Аскеров, А.С., Джамалова, Ж.С. Экспериментальное исследование параметров тракта сверхвысокочастотных устройств // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2014. № 4, – cild 1, – s. 25-32.
46. Исламов, И.Дж. Моделирование электромагнитных полей СВЧ устройств телекоммуникаций / И.Дж.Исламов. – Germany: LAP Lambert Academic Publishing, – 2014, – 239 с.
47. İsmibayli, E.G., Islamov, I.J., Gaziyeu, Y.G. Modeling of Anisotropic Rectangular Waveguide Partially Embedded in an Anisotropic Substrate // – Turkey: Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology, – 2015. Vol. 2, – Issue 2, – pp. 153-157.
48. Исламов, И.Дж., Аскеров, А.С. Электродинамическое моделирование пространственной структуры электромагнитных полей в круглом волноводе сверхвысокочастотного диапазона телекоммуникаций // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2015. № 1, – cild 1, – с. 21-29.
49. İsmibəyli, E.Q., İslamov, İ.C. İfrat yüksək tezlikli (İYT) radiotexniki element və qurğuların ədədi üsullar əsasında müasir kompüterlərdə “Matlab” proqramının tətbiqilə modelləşdirilməsi, analizi və optimal sintezi üçün alqoritmlərin işlə-

- nib hazırlanması // – Bakı: Dövlət büdcəli elmi-tədqiqat işi. – Dövlət qeydiyyat № 0111Az1075, – inventar № 0315Az0393, – 2015, – 44 s.
50. İslamov, İ.C. İfrat yüksək tezlikli düzbucaqlı dalğaötürəndən dairəvi dalğaötürənə keçid qurğusunda elektromaqnit sahəsinin modelləşdirilməsi // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2015. №4, – cild 1, – s. 25-32.
51. İsmibaylı, E.G., İslamov, İ.J., Gəziyev, Y.G. Calculation Of The Electromagnetic Field Of The Microwave Of Devices With Use Of Method FDTD And Integral Kirchhoff // – Bhopal: International Journal of Engineering Innovation and Research, – 2016. Vol. 5, – Issue 1, – pp. 103-106.
52. İsmibaylı, E.G., İslamov, İ.J., Gəziyev, Y.G. Modeling Of Electromagnetic Fields Of Microwave Devices On The Basis Of Matlab Program // – Lucknow: International Journal of Innovative Science Engineering and Technology, – 2016. Vol. 3, – Issue 2, – pp. 61-63.
53. İsmibaylı, E.G., İslamov, İ.J., Gəziyev, Y.G. An Optimal Control Of An Electromagnetic Field In High-Powered Microwave Device // – Ranchi: International Journal of Trend In Research and Development, – 2016. Vol. 3(1), – pp. 246-249.
54. Исламов, И.Дж., Халилов, А.И. Электродинамические методы расчета сверхвысокочастотных устройств телекоммуникаций // – Екатеринбург: Национальная Ассоциация Ученых (НАУ), – 2016. №1, (17), – ч. 1, – с. 47-49.
55. İslamov, İ.C. Verici və qəbuledici antenalar arasında düzbucaqlı dalğaötürəndən rüpora keçid qurğusundan şüalanan elektromaqnit sahəsinin intensivliyinin təcrübi təyini // – Bakı: AMEA-nın xəbərləri, fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, – 2016. №2, – cild 36, – s. 128-132.
56. İslamov, İ.C. İfrat yüksək tezlikli düzbucaqlı dalğaötürəndən rüpora keçid qurğusunun xarakteristikalarının eksperimental tədqiqi // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2016. №1, – cild 1, – s. 12-17.

57. И

с

л

а

м

- электромагнитного поля теле-коммуникационных устройств сверхвысокочастотного диапазона // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2016. №1, – cild 1, – s. 184-193.
58. Ismibayli, E.G., Islamov, I.J., Abdullayev, R.Sh. Numerical Simulation and Experimental Investigation of Rectangular Waveguide Electrical Field Taking Into Account Nonlinear Means // – New York: American Journal of Engineering Research, – 2016. Vol. 5, – Issue 4, – pp. 38-45.
59. Ismibayli, E.G., Islamov, I.J., Gaziyeu, Y.G. New Approach to Definition of Potential of the Electric Field Created by Set Distribution in Space of Electric Charges // – Bangalore: International Journal of Engineering Research and Management, – 2016. Vol. 3, – Issue 3, – pp. 145-149.
60. Ismibayli, E.G., Islamov, I.J., Gaziyeu, Y.G. Simulation of electromagnetic field from microwave rectangular waveguide to circular in transition devices // – Patna: International Journal of Engineering Sciences and Research Technology, – 2016. Vol. 5, – Issue 3, – pp. 695-704.
61. Islamov, I.J., Ahmadova, S.R. Experimental study of characteristics of microwave devices transition from rectangular waveguide to the megaphone // – Patna: International Journal of Engineering Sciences and Research Technology, – 2016. Vol. 5, – Issue 5, – pp. 367-372.
62. Исмибейли, Э.Г., Исламов, И.Дж., Газиев, Ю.Г., Халилов, А.И. Методы оптимального управления электромагнитного поля в СВЧ устройствах телекоммуникаций // “İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişaf perspektivləri” beynəlxalq elmi-texniki konfransının materialları, Bakı: – 23-25 noyabr, – 2016, – s. 22-31.
63. Исламов, И.Дж. Математическое моделирование электромагнитного поля СВЧ полого круглого волновода передачи информации // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2016. №4, – cild 1, – s. 11-26.
64. Исламов, И.Дж. Обобщенные математические модели электромагнитного поля СВЧ прямоугольного волновода

- телекоммуникаций // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2017. №1, – s. 17-36.
65. Исламов, И.Дж. Моделирование электромагнитного поля сверхвысокочастотного прямоугольного волновода телекоммуникаций методом конечных элементов // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2017. №2, – s. 21-33.
66. Исламов, И.Дж. Обобщенные математические модели электромагнитного поля СВЧ двухпроводной линий передачи информации // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2017. №3, – s. 11-21.
67. Исламов, И.Дж. Расчет основных параметров СВЧ прямоугольного волновода при нелинейной трактовке // – Bakı: AzTU-nun elmi əsərləri, – 2017. №4, – s. 31-43.
68. Islamov, I.J. Experimental study of characteristics of microwave devices transition from rectangular waveguide to the megaphone // Proceedings of the International Symposium of Mechanism and Machine Science, – Baku: – 11-14 September, – 2017, – pp. 187-191.
69. Исмибейли, Э.Г., Исламов, И.Дж. Математическое моделирование электромагнитного поля СВЧ полого круглого волновода передачи информации // Материалы XXII Международной научно-технической конференции «Современные средства связи», – Минск: – 19-20 октября, – 2017, – с. 93-95.
70. İslamov, İ.C. Qeyri-xətti mühitli ifrat yüksək tezlikli dalğa-ötürənlərin optimal sintezi. “Təhsil-tədqiqat-istehsalat mexanizminin qurulması” mövzusunda Respublika Elmi-texniki konfransının materialları, – Bakı: – 4-5 aprel, – 2018, – s. 52-55.
71. İslamov, İ.C. İfrat yüksək tezlik diapazonlu dairəvi dalğa-ötürən telekommunikasiya qurğusunun modelləşdirilməsi // – Bakı: Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının elmi əsərləri, – 2018, – s. 56-62.
72. Исмибейли, Э.Г., Исламов, И.Дж. Моделирование электромагнитного поля прямоугольного волновода передачи энергии // Труды международной научно-технической

- конференции «Актуальные вопросы энергоснабжения как требование безопасности жизнедеятельности», – Киев: – 7-8 июнь, – 2018, – с. 47-53.
73. Исламов, И.Дж. Математические модели прямоугольного волновода передачи СВЧ информации // Материалы международной конференции «Актуальные проблемы математики и механики», – Баку: – 17-18 май, – 2018, – с. 156-157.
74. Islamov, I.J., Ismibayli, E.G. New Approach to Definition of Potential of the Electric Field Created by Set Distribution in Space of Electric Charges // World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC), – Baku: – 13-15 September, – 2018, – pp. 204-209.
75. Islamov, I.J., Ismibayli, E.G. Experimental Study of Characteristics of Microwave Devices Transition From Rectangular Waveguide to the Megaphone // World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC), – Baku: – 13-15 September, – 2018, – pp. 225-230.
76. Исмибейли, Э.Г., Исламов, И.Дж. Электродинамическое моделирование электромагнитного поля прямоугольного волновода передачи информации // Материалы XXIII Международной научно-технической конференции «Современные средства связи», – Минск: – 18-19 октября, – 2018, – с. 65-67.
77. İslamov, İ.C. Qeyri-xətti mühitdə ifrat yüksək tezlik diapazonlu düzbucaqlı dalğaötürən qurğusunun modelləşdirilməsi// “Telekommunikasiyada innovativ texnologiyalar” mövzusunda beynəlxalq elmi-texniki konfransın materialları, – Bakı: – 4-6 dekabr, – 2019, – s. 54-58.
78. Islamov, I.J. Mathematical modeling of the electromagnetic field of a circular information transfer waveguide // 1st International Scientific-Practical Conference on “Universities of Azerbaijan and Turkey: Education, Science, Technology”, – Baku: – 18-20 December, – 2019. Vol. 3, – pp. 485-492.
79. Islamov, I.J. Modeling of the Electromagnetic Field of a Rectangular Waveguide With Side Holes / I.J.Islamov,

- E.G.Ismibayli, Y.G.Gaziyev, S.R.Ahmadova, R.Sh.Abdullayev // Progress In Electromagnetics Research, – Massachusetts, USA: – 2019. Vol. 81, – pp. 127-132.
80. Islamov, I.J. Calculation of the Electromagnetic Field of a Rectangular Waveguide with Chiral Medium / I.J.Islamov, E.G.Ismibayli, M.H.Hasanov, Y.G.Gaziyev, S.R.Ahmadova, R.Sh.Abdullayev // Progress In Electromagnetics Research, – Massachusetts, USA: – 2019. Vol. 84, – pp. 97-114.
81. Hasanov, M.H. About a principle of the prevention of attacks in optical networks / M.H.Hasanov, I.J.Islamov, M.R.Maharrazadeh, A.G.Imanguliyev, N.J.Zamanova, Sh.F.Gojayeva// – T-Comm, Moskow: – 2019. Vol. 13, – pp. 70-75.
82. Islamov, I.J., Hasanov, M.H. Simulation of a waveguide with a nonlinear medium // The 13th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies AICT2019, Baku: – 23-25 October, – 2019, – pp. 89-94.
83. Исламов, И.Дж., Исмибейли, Э.Г. Моделирование круглого диэлектрического волновода передачи электромагнитной энергии // Труды международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы энергоснабжения как требование безопасности жизнедеятельности», Киев: – 4-5 июнь, – 2019, – с. 121-127.
84. Islamov, I.J. Numerical methods of modeling a rectangular waveguide for transmitting electromagnetic energy // Thirteen International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, Canada: – 12-14 June, – 2020, – pp. 176-182.
85. Islamov, I.J. Numerical simulation of a system of rectangular and circular waveguides for transmitting electromagnetic energy // Thirteen International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications, Canada: – 12-14 June, – 2020, – pp. 183-190.
86. Islamov, I.J., Shukurov, N.M., Abdullayev, R.Sh., Hashimov, Kh. Kh., Khalilov, A.I. Diffraction of Electromagnetic Waves of Rectangular Waveguides With a Longitudinal // XXIII International Conference WECONF-2020, “2020 wave elec-

- tronics and its application in information and telecommunication systems”, St. Petersburg: – 01-05 June, – 2020, – pp. 1-7.
87. Khalilov, A.I., Islamov, I.J., Hunbataliyev, E.Z., Shukurov, N.M., Abdullayev, R.Sh. Modeling microwave signals transmitted through a rectangular waveguide. XXIII International Conference WECONF-2020, “2020 wave electronics and its application in information and telecommunication systems”, St. Petersburg: – 01-05 June, – 2020, – pp. 8-15.
 88. Islamov, I.J., Mityuk, L.A. Mathematical modeling of electromagnetic waves of a rectangular waveguide transmitting energy. III International Scientific and Practical Conference “Energy saving and occupation safety: challenges and opportunities”, Kiev: – 2-3 June, – 2020, – с. 104-111.
 89. İfrat yüksək tezlikli elektron və kvant cihazları: ali məktəblər üçün dərslik / E.Q.İsmibəyli, İ.C.İslamov, Y.Q.Qaziyev, S.Əhmədova, E.Z.Hünbətəliyev – Bakı: Elm, – 2020, – 314 s.
 90. Исламов, И.Дж., Халилов, А.И. Моделирование электромагнитного поля сверхвысокочастотного прямоугольного волновода телекоммуникаций методом конечных элементов // – Минск: Научный журнал “Проблемы инфокоммуникаций”, – 2020. № 1 (11), – с. 75-86.
 91. Islamov, I.J. Numerical simulation of characteristics of propagation of symmetric waves in microwave circular shielded waveguide with radially inhomogeneous dielectric filling // Azərbaycan Texniki Universitetinin 70 illik yubileyinə həsr olunmuş “Dördüncü sənaye inqilabının texnoloji perspektivləri: sənaye interneti, kiberfiziki sistemləri və intellektual texnologiyalar” mövzusunda respublika elmi-texniki konfransının matereialları, – Bakı: – 26-28 noyabr, – 2020, – s. 113-120.
 92. Islamov, I.J., Hunbataliyev, E.Z., Zulfugarli, A.E. Modeling of microwave waveguide system with complex structure in nonlinear // International Conference “Engineering management of communication and technology”, – Vienna: – 20-22 October, – 2021.

93. Khalilov, A.I., Islamov, I.J., Hunbataliyev, E.Z., Maharramov, V.A. Numerical simulation of a circular dielectric microwave waveguide with a complex cross-section // International Conference “Engineering management of communication and technology”, – Vienna: – 20-22 October, – 2021.
94. Islamov, I.J., Khalilov A.I. Modeling a rectangular microwave waveguide used in digital television systems // XXVI International Scientific and Technical Conference “Modern Communication Means”, – Minsk: – 21-22 October, – 2021.
95. Islamov, I.J. Design of Radio-Electronic Means Taking into Account Electromagnetic / I.J.Islamov, E.Z.Hunbataliyev, M.F.Binnatov, A.E.Zulfugarli // Thermal and Mechanical Characteristics, EasyChair Preprint, – London: – 2021. № 4872, – 15 p.
96. Islamov, I.J., Hunbataliyev, E.Z., Zulfugarli, A.E. Numerical Simulation of Characteristics of Propagation of Symmetric Waves in Microwave Circular Shielded Waveguide With a Radially Inhomogeneous Dielectric Filling // – Cambridge University Press: International Journal of Microwave and Wireless Technologies, – 2021. Vol. 9, – pp. 1-7.
97. Islamov, I.J., Hunbataliyev, E.Z., Abdullayev, R.Sh., Shukurov, N.M., Hashimov, Kh. Kh. Modelling of a Microwave Rectangular Waveguide With a Dielectric Layer and Longitudinal Slots // International Symposium for Production Research 2021, Antalya: – 07-09 October, – 2021.
98. Islamov, I.J., Hasanov, M.H., Hunbataliyev, E.Z., Zulfugarli, A.Z. Relativistic calculations on the transmitting electromagnetic energy along a microwave rectangular waveguide // International Symposium for Production Research 2021, Antalya: – 07-09 October, – 2021.
99. Islamov, I.J., Hasanov, M.H., Abbasov, M.H. Simulation of Electrodynamic Processes in a Cylindrical-Rectangular Microwave Waveguide Systems Transmitting Information // 11th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words, Perception and

Artificial Intelligence, ICSCCW – 2021, Antalya: – 23-24 August, – 2021.

100. Islamov, I.J., Huseynli, I.G., Abdullayev, R.Sh. Modeling of a Resonator in a Rectangular Waveguide for Transmitting Electromagnetic Energy // II International Scientific Forum on Computer and Energy Sciences, WFCES II – 2021, Almaty: – 11-12 November, – 2021.

101. Islamov, I.J., Nuriyev, M.N. Simulation of a Circular Waveguide with a Complex Structure for Transmission of Microwave Signals // II International Scientific Forum on Computer and Energy Sciences, WFCES II – 2021, Almaty: – 11-12 November, – 2021.

Həmmüəlliflərlə çap olunmuş elmi işlərdə müəllifin şəxsi iştirakı:

-[1, 2, 4-7, 9-11, 13, 15, 19-22, 25, 26, 28-35, 46, 50, 55, 56, 63-68, 70, 71, 73, 77, 78, 84, 85, 91] - sayılı işlər müəllif tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir;

-[3, 8, 12, 14, 16-18, 23, 24, 27, 36-45, 47-49, 51-54, 57-62, 69, 72, 74-76, 79-83, 86-90, 92-101] - sayılı işlərdə mühitin qeyri-xəttiliyi, dalğaların tipləri nəzərə alınmaqla İYT radiotexniki və telekommunikasiya qurğularından düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin elektromaqnit sahəsi üçün alınmış yeni riyazi modellər və bu modellərin həlli üçün işlənib hazırlanmış alqoritmlər, düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin İYT traktın əsas parametrlərinin eksperimental təyini üçün hazırlanmış ölçü qurğuları, İYT düzbucaqlı və dairəvi dalğaötürənlərin optimal sintezi üçün işlənib hazırlanmış alqoritmlər müəllif tərəfindən yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 05 noyabr 2021-ci il tarixində saat 11⁰⁰-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.41 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: H.Cavid prospekti 25, Bakı, Azərbaycan, AZ 1073, Azərbaycan Texniki Universiteti.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya işi və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 30.09.2021-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 27.09.2021
Kağızın formatı: A5
Həcm: 76000
Tiraj: 100