

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazma hüququnda

**İDARƏETMƏNİN TƏTBİQİ YOLU İLƏ İNTERAKTİV TELEVİZİYA
YAYIM SİSTEMLƏRİNİN BURAXMA QABİLİYYƏTİNİN ARTIRILMASI**

İxtisas:– 3337.01 – İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri (sahələr üzrə)

Elm sahəsi: Texnika elmləri

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş

DİSSERTASIYA

İddiaçı: _____ **Elvin İlqar oğlu Muradzadə**

Elmi rəhbər: _____ **texn.e.d., professor İsa Rəhman oğlu Məmmədov**

Bakı-2024

MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ.....	6
I FƏSİL. İNTERAKTİV TELEVİZİYA YAYIM SİSTEMLƏRİNİN BURAXMA QABİLİYYƏTİNİN ARTIRILMASI METODLARININ KRİTİK ANALİZİ.....	
18	18
1.1. Ümumi məlumat	18
1.2. Interaktiv sadə və çoxkanallı yerüstü TV yayım sistemlərinin arxitekturası	20
1.3. İnteraktiv TV yayım sistemlərinin buraxma qabiliyyəti və texniki effektivlikləri	25
1.4. İnteraktiv TV yayım sistemlərində parametrlər arasında kompromisin seçilməsinin ümumi yolları.....	27
1.5. Dissertasiya işinin tədqiqat mövzusunun və tədqiqat obyektinin seçilməsinin elmi-praktiki əhəmiyyətinin əsaslandırılması	34
1.6. Tipik idarəetmə sistemləri və onların TV yayım sistemlərində tətbiqi imkanlarının analizi.....	37
1.7. İnteraktiv çoxkanallı yerüstü şanvari TV yayım şəbəkəsinin buraxma qabiliyyətinin artırılmasının ümumi yolları.....	49
Birinci fəsil üzrə nəticələr	54
II FƏSİL. İNTERAKTİV YERÜSTÜ TV YAYIM SİSTEMLƏRİNDƏ QEYRİ-XƏTTİ EFFEKTlər NƏTİCƏSİNDƏ YARANAN TƏHRİFLƏRİN AZALDILMASI..	
55	55
2.1. İlkin qeydlər	55
2.2. İnteraktiv yerüstü TV yayım sisteminin əks kanalının arxitekturasının seçilməsi.....	56
2.3. Yerüstü interaktiv çoxkanallı TV yayım sistemlərində qarşıya çıxan əsas elmi-texniki problemlərin həllinin ümumi yolları.....	60

2.4.	İnteraktiv rəqəmsal TV yayım sistemində buraxma qabiliyyəti, energetiki effektivlik və spektral effektivlik arasında kompromisin seçilməsi.....	67
2.5.	Rəqəmsal TV-də səhvlər ehtimalının signal/küy nisbətindən asılılığı əsasında maneədayanıqlı kodlamanın energetiki effektivliyə təsirinin təyini	69
2.6.	TV yayım parlaqlıq signalının analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yaranan qeyri-xətti təhriflərin azaldılması metodlarının müqayisəli təhlili	75
2.7.	TV yayım signalı kvantlayıcısının rejiminin kvantlama küylərinin səviyyələrinə uyğunlaşdırılması.....	78
2.8.	TV yayım parlaqlıq signalının analoq-rəqəm çevrilməsində yaranan kvantlama küylərinin səviyyələrinin nəzəri qiymətləndirilməsi.....	81
2.9.	TV yayım parlaqlıq signalının analoq-rəqəm çevrilməsində yaranan məhdudlama küylərinin səviyyələrinin nəzəri qiymətləndirilməsi.....	87
2.10.	TV yayım parlaqlıq signalının müxtəlif paylanma qanunları üçün kvantlama və məhdudlama küylərinin güclərinin müqayisəsi	88
2.11.	TV yayım parlaqlıq signalının kvantlanması zamanı yaranan ifrat yüklənmə küylərinin minimal buraxıla bilən həddinin qiymətləndirilməsi.....	91
	İkinci fəsil üzrə nəticələr	96
	III FƏSİL. İNTERAKTİV TV YAYIM SİSTEMİNİN ƏKS KANALINDA KOHERENT VƏ QEYRİ-KOHERENT QƏBUL ŞƏRAİTİNDƏ MANEƏDAYANIQLIĞININ TƏMİN OLUNMASI.....	98
3.1.	İlkin qeydlər	98

3.2.	İnteraktiv TV yayım sistemlərinin əks kanalında tələb olunan gücün təmin olunması	100
3.3.	İnteraktiv yerüstü TV yayım sisteminin əks kanalında gücün tənzim olunmasının effektivliyi.....	103
3.4.	İnteraktiv yerüstü TV yayım sisteminin əks kanalında stoxastik tənzimləmə yolu ilə siqnal/maneə nisbətinin təmin olunması.....	108
3.5.	İnteraktiv yerüstü TV yayım sisteminin əks kanalında maneədayanılıqlığının artırılması.....	110
3.6.	TV yayım və proqramların paylanması sistemlərinin qəbuledicilərində simvolların stroblama metodu ilə tanınması zamanı elementar impulsların formatının seçilməsi yolu ilə maneədayanılıqlığının artırılması.....	116
	Üçüncü fəsil üzrə nəticələr	124
	IV FƏSİL. İNTERAKTİV SADƏ VƏ ÇOXKANALLI YERÜSTÜ RƏQƏMLİ TV YAYIM SİSTEMİNİN TƏCRÜBİ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ ÜÇÜN NƏQLİYYAT SELİNİN PARAMETRLƏRİNİN VƏ KANAL AVADANLIQLARININ KEYFİYYƏT GÖSTƏRİCİLƏRİNİN ÖLÇÜLMƏSİ.....	126
4.1.	İlkin qeydlər	126
4.2.	Sadə rəqəmsal interaktiv yerüstü TV yayımında real spektral effektivliyin artımının hesablanması.....	128
4.3	Müdafiə nisbətinin sadə interaktiv yerüstü rəqəmsal TV yayım sisteminin buraxma qabiliyyətinə təsirinin təcrübi qiymətləndirilməsi.....	131
4.4.	TV yayım siqnallarının qəbulu dayanıqlığının sadə interaktiv yerüstü rəqəmsal TV yayım sisteminin buraxma qabiliyyətinə təsirinin təcrübi qiymətləndirilməsi.....	133

4.5.	Rəqəmsal TV yayım signalının açıq traslarda verilməsi zamanı “göz” diaqramının naxışlarının formalaşdırılmasının təcrübi yoxlanılması.....	137
4.6.	Kvantlama və ifrat yüklənmə küylərinin təsvirin keyfiyyətinə təsirinin təcrübi yoxlanması.....	140
	Dördüncü fəsil üzrə nəticələr	143
	NƏTİCƏLƏR	146
	İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYATIN SİYAHISI	150
	ƏLAVƏLƏR.....	167
	ŞƏRTİ İŞARƏLƏMƏLƏR.....	174

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Hər bir rabitə və ya yayım sisteminin buraxma qabiliyyəti onun çox vacib parametrlərindən biri olmaqla sistemin digər mühüm parametrləri ilə sıx qarşılıqlı əlaqədədir. Signal/maneə nisbəti, məlumatın ötürülmə dəqiqliyi, spektral, energetiki və informasiya effektivlikləri rabitə və ya yayım sistemlərinin mühüm parametrləri olmaqla onun buraxma qabiliyyəti ilə müəyyən olunur. Dünya ölkələrində hazırda yerüstü interaktiv televiziya (TV) yayımı və proqramların paylanması şəbəkəsində öz yüksək sürəti və xidmətlərin yüksək integrasiyası ilə seçilən şanvari çoxkanallı rabitə sistemlərindən geniş istifadə olunur [2, s.95-112; 51, s.311-314; 92.]. Bu tip sistemlərin tətbiqi zamanı qarşıya çıxan problemlər göstərir ki, onların parametrlərinin yaxşılaşdırılması istiqamətində elmi tədqiqatların aparılmasına ehtiyac vardır. Tədqiqatlar göstərir ki, parametrlərin düzgün seçilməsi və bu parametrlərin istismar müddəti ərzində operativ olaraq tənzimlənməsi daha yüksək nəticələr almağa imkan verir. İnteraktivliyin tətbiqi parametrlərin operativ tənzimlənməsi nöqtəyi nəzərindən çox əhəmiyyətlidir. İnteraktiv TV yayım sistemlərinin birbaşa və əks kanallarında radiovericilərin güclərinin uyğun şəkildə seçilməsi və iş prosesində tənzim olunmasının da böyük əhəmiyyəti vardır [21, s.57-60; 23, s.50-55; 89, s.59-61].

Rabitə texnikasında müxtəlif idarəetmə sistemlərindən istifadə olunmaqdadır. Bu sistemlərin vəzifəsi, iş rejimi, sxematik quruluşu, effektivliyi və digər parametrləri müvafiq elmi ədəbiyyatlarda geniş şəkildə araşdırılmışdır [6, s. 81-86; 36, s.37-44; 62, s. 268-292;]. Onların sadə və çoxkanallı yerüstü TV yayım sistemlərində tətbiqi parametrlərinin yaxşılaşdırılmasına imkan verəcəkdir. “Axırıncı mil” rabitəsinin təmin olunması üçün çoxkanallı yerüstü TV yayımı və TV proqramlarının paylayıcı şəbəkəsində tətbiq olunmuş LMDS (Local Multipoint Distribution System – Lokal çoxnöqtəli paylayıcı sistem) və MMDS (Multipoint Video Distribution System – Çoxnöqtəli video paylayıcı sistem) tipli sistemlərdə interaktivlikdən istifadə olunmuşdur. Onların üstünlükləri, başqa çoxkanallı rabitə sistemləri ilə yanaşı, yerüstü

çoxkanallı TV yayım və paylayıcı şəbəkəsində də geniş istifadə olunmasına səbəb olmuşdur [5, s. 43-46; 135, 119, 129, s. 2101-2114]. Bundan başqa, sadə yerüstü rəqəmsal TV yayım sistemlərinin bəzilərində də (məs., ISDB-T – Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial – İnteqral xidmətli rəqəmsal yayım – yerüstü) biristiqamətli və ya ikiistiqamətli interaktivlikdən istifadə olunur. Bu interaktivlikdən istifadə etməklə baxılan sistemlərin parametrlərinin idarə olunması qarşıda duran məsələdir. Tədqiqatlar göstərir ki, bu halda adı çəkilən sistemlərin keyfiyyət göstəricilərində ciddi müsbət nəticələrə nail olmaq imkanı yaranır. Bu, xüsusən sistemin buraxma qabiliyyəti və onunla bağlı olan parametrlərə aiddir.

Bu qeyd olunanları əsas tutaraq əminliklə qeyd etmək olar ki, dissertasiyanın mövzusu **aktualdır**.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Dissertasiya işində tədqiqatın obyektı yerüstü interaktiv TV yayım və TV proqramlarının paylayıcı şəbəkəsidir. Tədqiqatın predmeti yerüstü interaktiv TV yayım və TV proqramlarının paylayıcı şəbəkəsində idarəetmənin tətbiqi ilə onun buraxma qabiliyyətinin artırılmasıdır.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi yerüstü interaktiv TV yayım və TV proqramlarının paylayıcı şəbəkəsində idarəetmənin tətbiqi yolu ilə buraxma qabiliyyətinin artırılmasıdır.

Bu məqsədin həyata keçirilməsi üçün aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həll olunmuşdur:

- interaktiv sadə və çoxkanallı yerüstü TV yayım sistemlərində interaktivliyin tətbiqi və bundan istifadə etməklə parametrlərin ölçülməsi və operativ olaraq tənzimlənməsi yolu ilə sistemin buraxma qabiliyyəti, texniki effektivlikləri və digər parametrlər arasında kompromisin seçilməsi həyata keçirilmişdir;

- sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərin istifadəsi zamanı yaranan əsas problemlər, onların mənbələri və yaranma səbəbləri, buraxma qabiliyyətini məhdudlayan səbəblər aşkar olunmuş, onların aradan qaldırılması yolları müəyyən edilmiş, interaktiv sadə və çoxkanallı LMDS və MVDS (Multipoint Video Distribution System – Çoxnöqtəli video paylayıcı sistem) sistemlərinin əsas keyfiyyət parametrləri, sistemlərin xarakteristik xüsusiyyətləri, əsas üstünlükləri, nöqsanları və

tətbiqi zamanı yaranan elmi-texniki problemlər araşdırılmış, həmin elmi-texniki problemlər arasından ən vacib olanları seçilmiş və onların həllinin ümumi yolları göstərilmişdir.

- interaktivliyin tətbiq olunduğu İfrat yüksək tezliklər və (və ya) Kənar yüksək tezliklərdə işləyən çoxkanallı LMDS və MVDS tipli TV sistemlərində ötürülən siqnalların genişzolaqlı olması səbəbindən qəbuledici-verici traktıda amplitud-amplitud və amplitud-faz tipli keçid maneələrinin və digər çarpaz maneələrin sistemin buraxma qabiliyyətini məhdulanması təhlil olunmuşdur;

- yerüstü çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərində yaranan problemlərə səbəb olan qeyri-xətti effektlərin aradan qaldırılması üçün tətbiq olunan metod və vasitələr tədqiq olunmuşdur;

- sistemin energetiki effektivliyinin spektral effektivlikdən asılılığı çıxarılmışdır. Göstərilmişdir ki, spektral effektivliyin artması energetiki effektivliyin azalmasına səbəb olur. Naykvist zolağından istifadə etməklə TV yayım sisteminin spektrindən tam istifadə edilməsinin mümkünlüyü isbat olunmuşdur;

- sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sisteminlərinin əks kanalında müxtəlif qəbul şəraitində optimal və suboptimal radioqəbul metodlarının tətbiqi ilə maneədayanıqlığının artırılması tədqiq olunmuşdur;

- stoxastik tənzimləmənin tətbiqi və bunun nəticəsində gücün tənzim olunması, siqnal/maneə nisbətinin tələb olunan qiymətinin təmin olunması və əldə olunan digər müsbət effektlər müəyyən olunmuşdur;

- radioqəbuledicinin həlletmə qurğusunda qəbul olunmuş impulsların tanınması məsələləri tədqiq olunmuş, spektri kosinuskvadratik qanunla kəsilən impulslarda takt anlarının deterministik və stoxastik dəyişməsi zamanı səhvlərin baş verməsi şərtləri müəyyən olunmuşdur;

- interaktiv yerüstü sadə və çoxkanallı TV yayım sistemlərində rəqəmsal siqnal ardıcılığının TV yayım kanalı ilə verilməsi zamanı “göz” diaqramının açılması sönmə əmsalının müxtəlif qiymətləri üçün müəyyən olunmuşdur;

- additiv “ağ” Qauss küylərinin təsiri nəzərə alınmaqla, kvantlama və ifrat yüklənmə küylərinin açıq traslar üzrə təsvirin keyfiyyətinə təsirinin təcrübi olaraq

yoxlanılması həyata keçirilmişdir.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində tədqiqat metodları olaraq həm nəzəri, həm də praktiki metodlar tətbiq edilmişdir.

Nəzəri tədqiqatlarda siqnalların optimal radioqəbulu nəzəriyyəsindən, ehtimallar nəzəriyyəsindən, riyazi statistikadan, siqnalların analoq-rəqəm çevrilməsi prosesində siqnalın rəqəmli emalından, təsadüfi proseslərin riyazi çevrilməsi nəzəriyyəsindən, sıçrayışlar nəzəriyyəsindən, diferensial və integral hesabından istifadə olunmuşdur.

Dissertasiya işində alınmış nəzəri nəticələrin praktiki yoxlanılması üçün yerüstü TV yayım və TV proqramlarının paylayıcı şəbəkəsi kimi kabel TV-nin Bakı şəhəri və Abşeron yarımadası ərazisindəki paylayıcı şəbəkəsi seçilmiş və praktiki elmi tədqiqatlar yerinə yetirilmişdir. Adı çəkilən paylayıcı şəbəkə olaraq kabel yayımçısı operatoru kimi fəaliyyət göstərən «Connect TV» şirkətinin qurduğu şəbəkədən istifadə edilmişdir. Bu şəbəkə üzrə siqnal mənbəyi olaraq baş stansiya – Bakı Teleqülləsində yerləşdirilmiş LMDS stansiyası, retranslyator kimi Zığ ərazisində yerləşdirilmiş “buster” stansiyası seçilmiş və tədqiq olunmuşdur.

Nəticələrin dürüstlüyünün təkrar yoxlanılması və digər müəlliflər tərəfindən əldə olunan nəticələrlə müqayisə olunması üçün ədədi hesablamalar və istehsalat sınaqları aparılmışdır.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar. Müdafiəyə əsasən aşağıdakı müddəalar çıxarılır:

1. İnteraktiv sadə və çoxkanallı yerüstü TV yayım sistemlərində parametrlərin ölçülməsi və operativ olaraq tənzimlənməsi yolu ilə sistemin buraxma qabiliyyəti, texniki effektivlikləri və digər parametrlər arasında kompromisin seçilməsi üsulu.

2. Naykvist zolağı anlayışından istifadə etməklə TV yayım sisteminin spektrindən tam istifadə edilməsinin mümkünlüyü, sistemin energetiki effektivliyinin spektral effektivlikdən asılılığı.

3. Sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərinin əks kanalında müxtəlif qəbul şəraitində optimal və suboptimal radioqəbul metodlarının tətbiqi ilə maneədayanlıqlığının artırılması.

4. Radioqəbuledicinin həlletmə qurğusunda qəbul olunmuş Naykvist impulslarına yaxın olan impulsların tanınması zamanı takt anlarının deterministik və stoxastik dəyişməsi nəticəsində səhvlərin baş verməsi şərtləri.

5. İnteraktiv yerüstü sadə və çoxkanallı TV yayım sistemlərində rəqəmsal signal ardıcılığının TV yayım kanalı ilə verilməsi zamanı “göz” diaqramının açılmasına görə sönmə əmsalının qiymətinin təcrübi olaraq seçilməsi.

6. Additiv “ağ” Qauss küylərinin də təsiri nəzərə alınmaqla, kvantlama və ifrat yüklənmə küylərinin təsvirin keyfiyyətinə təsirinin açıq traslar üzrə təcrübi olaraq öyrənilməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Qoyulmuş məsələlərin həlli zamanı yeniliyi ilə fərqlənən əsasən aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

1. İnteraktiv sadə və çoxkanallı yerüstü TV yayım sistemlərində interaktivlikdən istifadə etməklə parametrlərin ölçülməsi və operativ olaraq tənzimlənməsi yolu ilə sistemin buraxma qabiliyyəti, texniki effektivlikləri və digər parametrlər arasında kompromisin seçilməsi həyata keçirilmişdir.

2. Sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərinin əks kanalında müxtəlif qəbul şəraitlərində optimal və suboptimal radioqəbul metodlarının tətbiqi ilə sistemin maneədayanıqlığının artırılmasına nail olunmuşdur.

3. Stoxastik tənzimləmənin tətbiqi və bunun nəticəsində gücün tənzim olunması, signal/maneə nisbətinin tələb olunan qiymətinin təmin olunması həyata keçirilmişdir.

4. Radioqəbuledicinin həlletmə qurğusunda qəbul olunmuş spektri kosinuskvadratik formada kəsilən impulsların tanınması zamanı takt anlarının deterministik və stoxastik dəyişməsi nəticəsində səhvlərin baş verməsi şərtləri müəyyən olunmuşdur;

5. İnteraktiv yerüstü sadə və çoxkanallı TV yayım sistemlərində rəqəmsal signal ardıcılığının TV yayım kanalı ilə verilməsi zamanı “göz” diaqramının açılması sönmə əmsalının müxtəlif qiymətləri üçün müəyyən olunmuşdur;

Dissertasiyanın “İnteraktiv televiziya yayım sistemlərinin buraxma qabiliyyətinin artırılması metodlarının kritik analizi” adlı **birinci fəsl**i interaktiv sadə

və çoxkanallı yerüstü TV yayım sistemlərinin arxitekturasının təhlilinə və öz aralarında müqayisəsinə, hər birinin üstünlüklərinin və nöqsanlarının üzə çıxarılmasına, interaktivliyin tətbiqi nəticəsində parametrlərin ölçülməsi və operativ olaraq tənzimlənməsi imkanlarının genişlənməsinə, interaktiv TV yayım sistemlərinin buraxma qabiliyyəti və texniki effektivlikləri arasındakı asılılıqların müəyyən edilməsinə, interaktiv TV yayım sistemlərində parametrlər arasında kompromisin seçilməsinə həsr olunmuşdur.

Dissertasiya işinin bu fəslində əsas məqsəd sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərinin geniş tətbiqi zamanı qarşıya çıxan əsas elmi-texniki problemləri üzə çıxarmaq, problemlərin yaranma səbəblərini araşdırmaq, buraxma qabiliyyətini məhdudlayan səbəbləri aşkar etmək, onların analizini aparmaq və aradan qaldırılması yollarını müəyyən etmək, problemlərdən ən vacib olanlarını önə çəkmək şərtilə dissertasiyanın sonrakı fəsillərində həll olunacaq məsələləri təyin etməkdən ibarətdir. Bu məqsədlə sadə interaktiv və çoxkanallı LMDS və MVDS tipli sistemlərinin əsas göstəriciləri və keyfiyyət parametrləri arasında qarşılıqlı əlaqə təhlil olunmuş, sistemlərin xarakteristik xüsusiyyətləri, üstünlükləri, nöqsanları və tətbiqi problemləri araşdırılmışdır. Göstərilən sadə və çoxkanallı interaktiv TV sistemlərin tətbiqi zamanı yaranan vacib problemlərin həllinin yolları ümumi şəkildə göstərilmişdir.

İnteraktivliyin tətbiq olunduğu ifrat yüksək tezliklərdə işləyən çoxkanallı LMDS və MVDS tipli TV sistemlərinin əsas parametrləri öz aralarında da müqayisə olunmuşdur. Ötürülən siqnalların genişzolaqlı olması səbəbindən verici-qəbuledici traktı yaranan amplitud-amplitud və amplitud-faza tipli keçid maneələrinin və digər çarpaz maneələrin baxılan sistemlərin buraxma qabiliyyətinə təsiri ümumi şəkildə göstərilmişdir.

Rabitə nəzəriyyəsindən məlum olan idarəetmə sistemlərinin yerüstü sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərində parametrlərin tənzim olunması üçün tətbiqi imkanları dissertasiyanın bu fəslində analiz olunmuşdur.

Qeyd olunan elmi problemlərdən ən mühüm və aktual olanları seçilmiş, onların aktual olması əsaslandırılmış və seçilmiş problemlərin həlli istiqamətində məsələlər qoyulmuş və onların həllinin yolları müəyyən olunmuşdur. Burada təqdim olunmuş

dissertasiya işinin sonrakı fəsilərində istifadə olunacaq adekvat riyazi aparat seçilmiş, onun adekvatlığı əsaslandırılmışdır.

Dissertasiyanın “İnteraktiv yerüstü TV yayım sistemlərində qeyri-xətti effektlər nəticəsində yaranan təhriflərin azaldılması” adlı **ikinci fəslində** sadə interaktiv yerüstü TV yayım sisteminin əks kanalının arxitekturası seçilmiş və əsaslandırılmışdır. Yerüstü çoxkanallı LMDS və MVDS tipli TV sistemlərinin əsas parametrləri öz aralarında müqayisə olunmuş, onlar arasında olan oxşarlıqlar və fərqlər üzə çıxarılmış, onların tətbiqi zamanı bu xüsusiyyətlərin nəzərə alınması imkanları önə çəkilmişdir. Yerüstü çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərində qeyri-xətti effektləri yaradan mənbələr və onların yaratdığı maneələrin təsirləri təhlil olunmuş, bu effektlərin aradan qaldırılmasının ümumi yolları və bunun üçün tətbiq olunmalı olan metod və vasitələr göstərilmişdir.

Spektri kosinus kvadratik formada kəsilən elementar impulslarda sönmə əmsalının müxtəlif qiymətləri üçün sistemin energetiki effektivliyinin spektral effektivlikdən və spektral effektivliyin fiksə olunmuş qiymətləri üçün energetiki effektivliyin söndürmə əmsalından olan asılılıqları çıxarılmışdır. Göstərilmişdir ki, spektral effektivliyin və söndürmə əmsalının artması energetiki effektivliyin azalmasına səbəb olur. Maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduğu və olunmadığı iki hal üçün səhvlər ehtimalının signal/küy nisbətindən asılılıqları çıxarılmış və kodlamanın energetiki qazancı hesablanmışdır.

Spektrin genişlənməsi veriliş sürətini artırmağa imkan verir, lakin küylərin səviyyəsinin də artmasına, tezlik effektivliyinin azalmasına gətirib çıxarır.

Bu fəsildə TV yayım parlaqlıq signalının analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yaranan qeyri-xətti təhriflərin azaldılması metodları təhlil olunmuş, kvantlama küylərinin səviyyələrinin nəzəri olaraq qiymətləndirilmiş, kvantlama küylərinin gücünün orta qiymətinin kompressiya əmsalından asılılığı, TV yayım təsvirlərində parlaqlığın müxtəlif paylanma qanunları üçün kvantlama və məhdudlama küylərinin nisbəti hesablanmışdır. Kvantlama və məhdudlama parametrlərindən asılı olaraq bu nisbət necə dəyişməsi öyrənilmişdir. TV yayım parlaqlıq signalının kvantlanması zamanı yaranan ifrat yüklənmə küylərinin minimal buraxıla bilən həddini

qiymətləndirmək üçün riyazi ifadə çıxarılmış, bu həddin müxtəlif parametrlərdən olan asılılıqları öyrənilmişdir.

Dissertasiyanın "İnteraktiv TV yayım sisteminin əks kanalında koherent və qeyri-koherent qəbul şəraitində maneədayanıqlığının təmin olunması" adlı **üçüncü fəsl**li sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərinin əks kanalında müxtəlif qəbul şəraitlərində səhvlər ehtimalının hesablanmasına, stoxastik tənzimləmə yolu ilə tələb olunan signal/maneə nisbətinin təmin olunmasına, elementar impulsların formatının seçilməsi yolu ilə maneədayanıqlığının artırılmasına, gücün tənzim olunmasının effektivliyinin təyininə həsr olunmuşdur.

İnteraktiv TV yayım sisteminin maneədayanıqlığı, veriliş sürəti və modulyasiya üsulu kimi mühüm parametrləri arasında kompromisin seçilməsi məsələsi bu fəsildə özünə yer almışdır.

Baxılan sistemin əks kanalında tələb olunan gücün təmin olunması məqsədilə şüalanma gücünün hesablanması, bunun üçün antenanın parametrlərinin təyin olunması, radiodalğaların fəzada yayılması zamanı baş verən sönmələrin nəzərə alınması üçün modelin seçilməsi, sistemdə stoxastik tənzimləmənin tətbiqi və bunun nəticəsində əldə olunan müsbət effektlərin təyin olunması, interaktiv yerüstü TV yayım sisteminin əks kanalında gücün tənzim olunması, signal/maneə nisbətinin tələb olunan qiymətinin hesablanması, həmin kanalda optimal və suboptimal radioqəbul metodlarının tətbiqi ilə maneədayanıqlığının artırılması kimi məsələlər dissertasiyanın üçüncü fəslinin əsasını təşkil edir.

Dissertasiyanın üçüncü fəslində radioqəbuledicinin həlletmə qurğusunda qəbul olunmuş impulsların tanınması məsələləri tədqiq olunmuşdur. Spektri kosinuskvadratik qanunla kəsilən elementar impulsların bir-birini örtməklə verilməsi zamanı takt anlarının dəyişməsinin deterministik və stoxastik halı nəzərdən keçirilmiş, fluktuasiya küyləri fonunda verilən iki impulsda takt anlarının sürüşməsinin ehtimal sıxlığı və dispersiyasının təyini üçün riyazi ifadələr çıxarılmış, takt anlarının dəyişməsinin buraxıla bilən həddi hesablanmışdır. Riyazi çevirmələri asanlaşdırmaq məqsədilə sonuncu parametr radioqəbuleicidə impulsları qeyd edən qurğunun işə düşmə zamanının səpələnməsi parametrindən istifadə etməklə də hesablanmışdır.

Dissertasiyanın **dördüncü fəslində** interaktiv yerüstü sadə və çoxkanallı TV yayım sistemlərinin təcrübi olaraq qiymətləndirilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Burada radioqəbuledicinin həlletmə qurğusunda stroblama metodu ilə impulsların tanınması zamanı takt anlarının dəyişməsinin buraxıla bilən həddi qiymətləndirilmişdir. Rəqəmli siqnal ardıcılığının TV yayım kanalı ilə verilməsinin keyfiyyət göstəricisi olaraq “göz” diaqramının naxışlarının formalaşdırılması və diaqramın açılışı sönmə əmsalının müxtəlif qiymətləri üçün müəyyən olunmuşdur. Kvantlama və ifrat yüklənmə küylərinin təsvirin canlandırma keyfiyyətinə təsirinin təcrübi yoxlanılması həyata keçirilmişdir. Təcrübələr additiv “ağ” Qauss küylərinin (AAQK) təsiri nəzərə alınmaqla açıq traslar qrupuna aid edilən Bakı-Ələt radiorele xətti üzrə yerinə yetirilmişdir. Müvafiq ədəbiyyatlarda verilmiş məlum metodlardan və ölçmə aparılması vacib sayılan xarakterik nöqtələrin göstərildiyi sxemdən istifadə etməklə yüksək tezlik çeviricisinin girşində siqnalın gücü ölçülmüş və nominal tezlik zolağı üzrə qiymətləndirilmiş, alt daşıyıcılar söndürülərək analizator vasitəsilə küylərin gücü ölçülmüşdür. Kvazisəhvsiz qəbul (QEF) və TV təsvirlərində çoxsaylı səhvlər (TOV) kriteriyaları üzrə qiymətləndirmə yerinə yetirilmişdir. Bu məqsədlə QEF-in və TOV-nin qiymətləri ölçülmüş və ölçmələrdən alınmış qiymətlər onların minimal buraxıla bilən qiymətləri ilə müqayisə olunmuşdur.

Dissertasiya işində alınmış əsas elmi nəticələr işin “**Nəticələr**” bölməsində öz əksini tapmışdır. Bu nəticələr arasından aşağıdakı ən əsaslarını qeyd etmək olar:

1. İnteraktiv TV yayımında maneədayanıqlığı təkcə gücün tənzim olunması ilə deyil, modulyasiya üsulu və ya veriliş sürətinin dəyişdirilməsi ilə də təmin oluna bilər.
2. Elementar impulsar üçün sönmə əmsalının kiçik seçilməsi spektral effektivliyin öz potensial qiymətinə yaxınlaşmasına, lakin energetiki effektivliyin azalmasına və elementar impulsların davam etmə müddətinin artmasına səbəb olur.
5. TV yayım parlaqlıq siqnalının kvantlanması zamanı siqnalın dinamiki diapazonu kvantlayıcının icazə verilən kvantlama səviyyəsindən artıq olduqda məhdudlama küylərinin səviyyəsi məhdudlama əmsalından asılı olaraq kəskin artır. TV yayım parlaqlıq siqnalının səviyyəsinin paylanması tərs mütənasib qanuna tabe olduqda və loqarifmik kvantlama şkalası tətbiq olunduqda məhdudlama əmsalının 1,3-

dən 1,4-ə qədər artması ilə məhdudlama küylərinin gücü 54 dəfə artır, kod sözünün uzunluğunun 8-dən 10-a qədər artması ilə kvantlama küylərinin gücünün məhdudlama küylərinin gücünə nisbəti təxminən 17 dəfə azalır.

6. Maneədayanqlı kodlama tətbiq olunduqda $p_s = 1 \cdot 10^{-5}$ səhvlər ehtimalı kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə bitin enerjisinin küyün intensivliyinə nisbətində E_b/N_0 2,5 dB az qiymətində, $p_s = 1 \cdot 10^{-3}$ səhvlər ehtimalı isə həmin nisbətə 1,6 dB az qiymətində təmin oluna bilər. E_b/N_0 nisbətində çox kiçik olması ilə bitin enerjisi küyün intensivliyinə yaxınlaşır və maneədayanqlı kodlamanın tətbiqi müsbət effekt vermir. Bu halda maneədayanqlı kodlama tətbiq olunduqda səhvlər ehtimalının $p_s = 2 \cdot 10^{-1}$ qiymətində E_b/N_0 nisbətində tələb olunan qiyməti kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə 1 dB artıq olur.

9. Əks kanalı şanvari prinsiplə qurulmuş interaktiv yerüstü TV yayım sistemində “uzaq-yaxın” probleminin həlli üçün abonent və baza stansiyasının radiovericilərinin güclərinin tənzimlənməsinin pilot-siqnalın səviyyəsinə görə aparılması məqsəduyğun hesab oluna bilər və bu zaman aşağıdakı müsbət effektlər əldə etmək mümkün ola bilər:

a) Baza stansiyasının çoxkanallı radiovericisində hər kanal üzrə maksimal güc deyil, tələb olunan güc hasil olunur.

b) Radiovericilərin kanallar üzrə güclərinin tənzimlənməsi nəticəsində baza stansiyasının yaratdığı spektrə görə toplanmış maneələrin səviyyəsi azalmış olur.

12. Simvollararası interferensiyaları azaltmaq və impulsun spektrini kanalın buraxma zolağı ilə uzlaşdırmaq üçün rəqəmli texnikada spektri kosinuskvadratik formada kəsilən impulslardan istifadə olunur. Bu zaman cəm siqnal analoq formada olmaqla verilən məlumat ardıcılığından asılı olaraq öz formasını dəyişir.

14. Rəqəmli impulslar ardıcılığının yayım kanalı ilə verilməsinin keyfiyyət göstəricisi olaraq “göz” diaqramından istifadə olunması praktiki cəhətdən çox əlverişlidir.

15. TV yayımında QEF-in qiyməti TOV-nin uyğun qiymətindən təxminən 1,3 dB artıq olmalıdır. Apardığımız eksperimentlər zamanı bu fərqi bir qədər artıq olduğu müşahidə olunmuşdur. Bundan başqa, kvantlamanın qiymətləndirmə səviyyələrinin

sayının 256-dan 16-ya dəyişdirilməsilə E_b/N_0 nisbəti təxminən 0,8 dB, daşıyıcının gücünün küyün gücünə nisbəti P_d/P_k nisbəti isə 1,2 dB artır. Bu nisbətlərin dəyişməsinə əsas səbəb yaranan kvantlama küylərinin təsiridir.

Təcrübi olaraq Bakı-Ələt radiorele xətti tədqiq olunmuş, bu kanal açıq traslar qrupuna və AAQK kanalına aid edilərək tədqiq olunmuşdur. Radiorele xətti stansiyası olaraq “NEC” şirkətinin “İposolinc” verici-qəbuledici stansiyasından istifadə olunmuşdur.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. İşin praktiki əhəmiyyəti aşağıda göstərildiyi kimidir:

1. TV yayım və kabel TV-nin efir-kabel tipli paylayıcı şəbəkəsində stoxastik tənzimləmənin tətbiqi göstərilən şəbəkələrdə parametrlərinin uyğun ilkin qiymətlərini seçməyə, iş prosesində onları tənzimləməyə imkan verir.

2. Radiovericilərinin kanallar üzrə güclərinin tənzimlənməsi nəticəsində baza stansiyasının (BS) yaratdığı spektrə görə toplanmış maneələrin səviyyəsi azalmış olur.

3. Stoxastik tənzimləmənin tətbiqi və bunun nəticəsində gücün tənzim olunması baxılan interaktiv sistemlərin birbaşa kanalında maneələrin minimuma endirilməsinə, signal/maneə nisbətinin tələb olunan qiymətinin təmin olunmasına imkan verir.

Dissertasiya işinin nəticələri Bakı şəhəri və Abşeron yarımadası ərazisində kabel TV-nin efir-kabel tipli paylayıcı şəbəkəsində öz tətbiqini tapmışdır.

Şəxsi töhfəsi. Dissertasiya işində alınmış nəticələr iddiaçının özünə məxsusdur. Dissertasiyanın əsas nəticələri ölkəmizin və xarici ölkələrin elmi-texniki nəşrlərində müəllif tərəfindən çap olunmuş məqalələrdə öz əksini tapmışdır.

İşin aprobeasiyası. Dissertasiya işinin əsas elmi və praktiki nəticələri mütəmadi olaraq Azərbaycan Respublikasının elmi-texniki konfranslarında (Bakı şəh., 2019, 2021, 2023 və 2024-cü illər), Beynəlxalq elmi-texniki konfranslarda (Kalininqrاد şəh., 2021, Antalya şəh. 2022-ci illər), Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin professor-müəllim heyətinin seminarlarında (2019...2024-cü illər) məruzə və müzakirə olunmuşdur.

Əsərləri. Dissertasiya işinin əsas nəticələri on yeddi elmi işdə öz əksini tapmışdır. Onlardan onu Azərbaycan Respublikasının elmi nəşrlərində çap olunmuş məqalələr, biri “Towards Industry 5.0: Selected Papers from ISPR2022” jurnalında (Vyana şəh.), biri “International Journal of Microwave and Optical Technology” (Nevada ştatı), biri “Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов” (Moskva şəh.), biri “Наука, техника и образование” (Moskva şəh.) jurnallarında çap olunmuş elmi məqalələr, üçü isə Beynəlxalq və Azərbaycan Respublikasının elmi-texniki konfranslarının materiallarıdır.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat. Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetində yerinə yetirilmişdir.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil, nəticələr, istifadə olunmuş ədəbiyyatlar siyahısı, əsas şərti işarələmələr və əlavələr olmaqla A4 formatlı 176 səhifə kompüter mətnindən ibarət olub, özündə 33 şəkil, 9 cədvəl, 158 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı və 2 əlavəni özündə birləşdirir. Giriş A4 formatlı 12 səhifə (işarələrin sayı 22 315), I fəsil 37 səhifə (işarələrin sayı 50 294), II fəsil 43 səhifə (işarələrin sayı 64 689), III fəsil 28 səhifə (işarələrin sayı 42 827), IV fəsil 20 səhifə (işarələrin sayı 27 930), nəticə 4 səhifə (6 302 işarə), əsas şərti işarələmələr 3 səhifə (3024 işarə) olmaqla ümumilikdə dissertasiyanın əsas hissəsinin ümumi həcmi 147 səhifə (217 381 işarə) təşkil edir.

I FƏSİL. İNTERAKTİV TELEVİZİYA YAYIM SİSTEMLƏRİNİN BURAXMA QABİLİYYƏTİNİN ARTIRILMASI METODLARININ KRİTİK ANALİZİ

1.1. Ümumi məlumat

Hazırda rəqəmsal yerüstü TV yayımında interaktivlik tətbiq olunmaqdadır. Son illərdə ən yeni texnologiya sayılan LMDS və daha kiçik ölçülü ərazilər üçün MVDS sistemləri kimi interaktiv sistemlərdən istifadə olunur (bəzən MMDS sistemində də interaktivlik tətbiq olunur). Bu sistemlərin öz aralarında oxşarlıqları və bəzi fərqləri vardır. Baxılan sistemlərin tətbiqi zamanı bu xüsusiyyətlər nəzərə alınmalıdır. Adı çəkilən sistemlərin məlum üstünlükləri onların geniş tətbiqinə yol açmışdır. Müxtəlif ölkələr üçün onların işçi tezlik diapazonları bir-birindən bir qədər fərqli olsa da, baxılan sistemlər bir neçə on qiqahers olan İfrat Yüksək Tezliklər və Kənar Yüksək Tezliklər diapazonlarında işləyirlər [2, s. 23-31; 92; 134].

Rəqəmli TV yayımında iştirak edən mənbələrin hər birinin rəqəmli olması fikri həqiqəti əks etdirmir. Müasir rəqəmli TV yayım sistemlərinin bir çox mənbələri rəqəmli, bəzi mənbələri isə analoq formada (məs., “ışığ-signal”, “signal-ışığ” çeviriciləri, rabitə kanalı və s.). Ona görə də bu sistem əslində hibrid sistemdir [5, s. 93-99; 48, s.303-342; 56, s. 110-147]. Rəqəmli TV yayımının tətbiqi sistemin imkanlarını əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirmişdir. İlkin TV yayım sistemlərində təsvir signalının cari səviyyəsi obyekt üzərindəki parlaqlığın və rəngliliyin (rəngin tonu və rəngin tündlüyünün) paylanması analoqu olduğundan belə TV yayım sistemləri analoq TV yayım sistemləri adlandırılmışlar. Lakin analoq TV öz məhdud imkanları səbəbindən qarşıya qoyulan tələbləri ödəmirdi. Bir çox illər ərzində signalın rəqəmli işlənməsinin və verilişinin məlum üstünlükləri rəqəmli sistemlərin, o cümlədən rəqəmli TV yayımının tətbiqinə gətirib çıxarmışdır.

Signal/küy və signal/maneə nisbətlərinin artırılması, maneədayanıqlı kodlamanın tətbiqi ilə verilişin dəqiqliyinin yüksəldilməsi, lazım gəldikdə bəzi TV

təsvirlərinin kombinasiyasının yaradılması, TV təsvirlərinin xüsusi effektlər hesabına dəyişdirilməsi, rəqəmli TV yayım sistemində elektron yaddaş elementlərinin geniş istifadəsinin mümkünlüyü, signal/küy nisbətinin signal üzərində aparılan əməliyyatların sayından asılı olmaması, sistemin amplitud xarakteristikasının qeyri-xəttiliyinin signala təsir etməməsi və b. rəqəmli TV-nin üstünlüklərini göstərən siyahı sayıla bilər. Halbuki bu problemlərin həlli analoq TV sistemlərində ya mümkün deyildir, ya da texniki cəhətdən çox mürəkkəbdir [48, s. 346-360].

Maneədayanqlı kodlamanın tətbiqi, TV təsvirlərinin sintezi, diskret elektron yaddaş elementlərinin geniş tətbiqi, sistemin amplitud xarakteristikasının qeyri-xəttiliyinin signala təsir etməməsi rəqəmli TV-nin digər üstünlükləridir

Rəqəmli TV sistemində signalların çevrilməsi, korreksiyası, kodlanması və analizində elektron-hesablama texnikasının istifadəsi mümkündür [44, s. 135-137; 125, s. 127-128]. Bu da TV programlarının daha operativ tərtib olunmasına və təsvirin canlandırma keyfiyyətinin yüksək olmasına imkan yaradır.

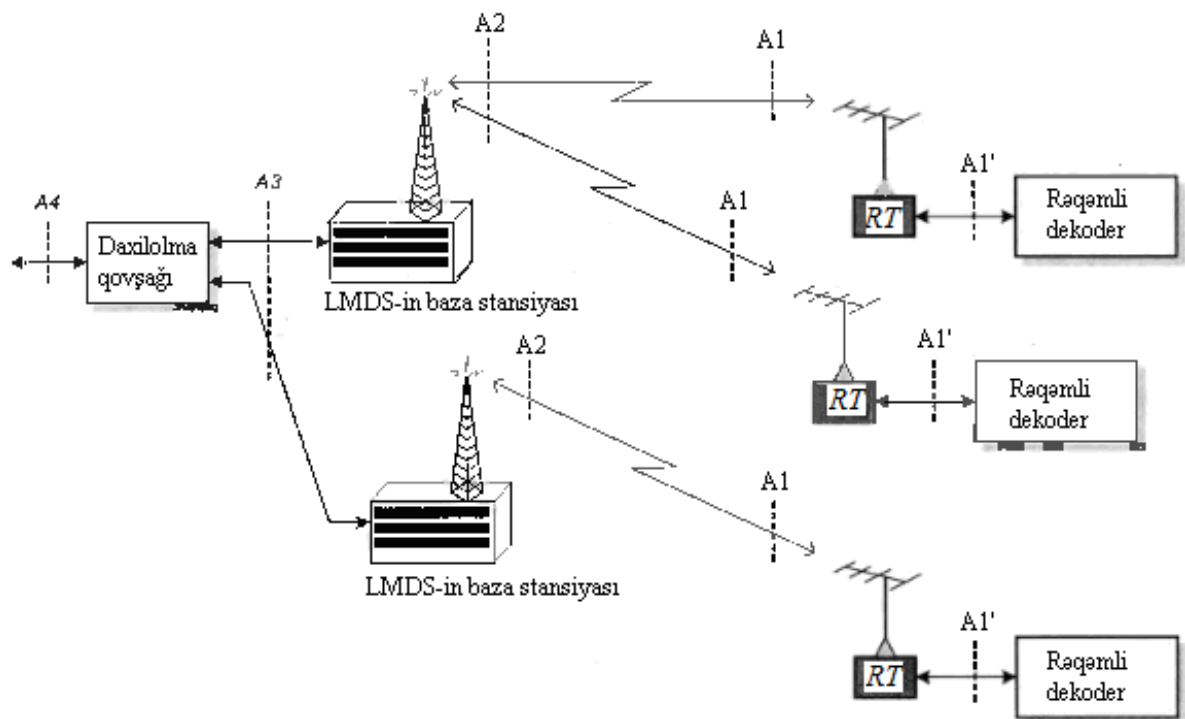
Rəqəmli TV yayımı sistemlərində TV mərkəzindən daxil olan analoq təsvir videosiqnalı rəqəmliyə çevirilməlidir. Analıq tam TV yayım siqnalı əvvəlcə kodlayıcıya verilir, burada aparılan müxtəlif kodlama əməliyyatlarından sonra alınmış rəqəmli seldən daha sonra radiovericidə TV yayım radiosiqnalı formalaşdırılır. DVB (Digital Video Broadcasting – Rəqəmsal video yayımı) sistemində bu məqsədlə M-QAM (Quadrature amplitude modulation – Kvadratur amplitud modulyasiyası) modulyasiyası, sonra isə COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex – Kodlanmış ortoqonal tezlik bölünmüş multipleks) modulyasiyası yerinə yetirilir, daha sonra bu siqnal efirə şüalandırılır [112, s. 49-51; 115, s. 112-128; 107, s. 10-12; 137, s. 643-646; 157, s. 389-392]. ISDB sistemində sonuncu olaraq OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex – Ortoqonal tezlik bölünmüş multipleks) modulyasiyası tətbiq olunur. Bu modulyasiyaların üstünlükləri ədəbiyyatlarda verilmişdir [29, s. 115-120; 34, s. 121-230; 35, s. 33-35; 40, s. 66-68; 50, s. 59-61; 59, s. 154-156]. Aparılan əməliyyatların təhlili göstərir ki, müəyyən mərhələdən sonra alınmış rəqəmli TV yayım siqnalı üzərində əməliyyatlar əsaslı dərəcədə asan yerinə yetirilə bilər.

Bundan başqa, rəqəmli TV yayım sistemdə signal/küy nisbətini sabit saxlamaq mümkündür və bu səbəbdən də rəqəmli TV yayım siqnallarını çox uzaq məsafələrə verilməsi o qədər də çətinlik yaratmır. Ona görə də rəqəmli TV yayım siqnallarının ötürülməsi üçün peyk rabitəsindən geniş istifadə oluna bilər.

1.2. Interaktiv sadə və çoxkanallı yerüstü TV yayım sistemlərinin arxitekturası

Hazırda LMDS və MVDS sistemləri ilə yanaşı, bəzi digər rəqəmsal yerüstü TV yayım sistemlərində də interaktivlik tətbiq olunur. Məs., Yaponiyanın ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial – İnteqral xidmətli rəqəmli yayım – yerüstü) sistemində interaktivlik özünə yer almışdır. Qeyd edək ki, LMDS və MVDS kimi şanvari yerüstü sistemlərə arxitekturasına görə çox yaxın olan MMDS və МИТРИС (Микроволновая интегрированная теле-радио информационная система – Mikrodalga inteqral tele-radio informasiya sistemi) (Ukrayna) sistemləri də geniş tətbiq olunur. Lakin bu sistemlərdə ilkin olaraq interaktivlik tətbiq olunmamışdır. Məhz bu səbəbdən həmin sistemlər bu dissertasiya işinin tədqiqat mövzusu hesab olunmur. Bəzi son uyğun elmi-texniki ədəbiyyatlarda MMDS sistemində də interaktivliyin tətbiqinə aid məlumatlar vardır. Bu isə öz növbəsində sistemin təkmilləşdirilməsi istiqamətində mühüm bir addım kimi qiymətləndirilir və interaktivliyin çox vacib olduğunu isbat edir.

Efir-kabel tipli paylayıcı şəbəkədə LMDS tipli interaktiv sistem əsasında qurulmuş radioşəbəkənin arxitekturası şəkl. 1.2.1-də göstərilmişdir [2, s.30; 5, s.45-46; 79, s. 55-59]. GSM (Global System for Mobile Communication – Mobil rabitə üçün global sistem) və başqa tipli yerüstü mobil rabitə şəbəkəsində olduğu kimi, bu ikiistiqamətli paylayıcı şəbəkədə hər baza stansiyası (BS) öz sotu daxilində olan abonentlərə xidmət göstərir. Abonentin RT radioterminalı və rəqəmsal dekoderi olur. BS daxilolma qovşağı vasitəsilə TV yayım siqnalı mənbəyi ilə rabitədə olur. BS-in radiovericisinin gücü, onun qurulma sxemi, TV yayım kanalların miqdarı və digər parametrlər bir-birindən azacıq fərqlənə bilər.

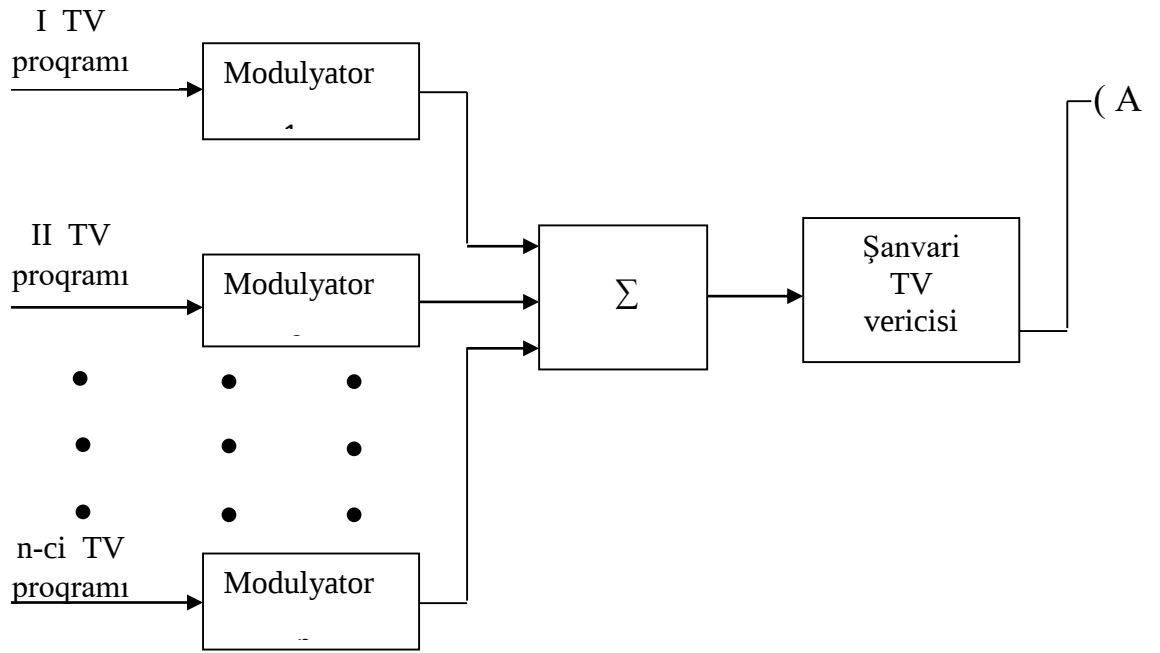


Şək. 1.2.1. İnteraktiv LMDS sisteminin tətbiq olunduğu radioşəbəkənin arxitekturası

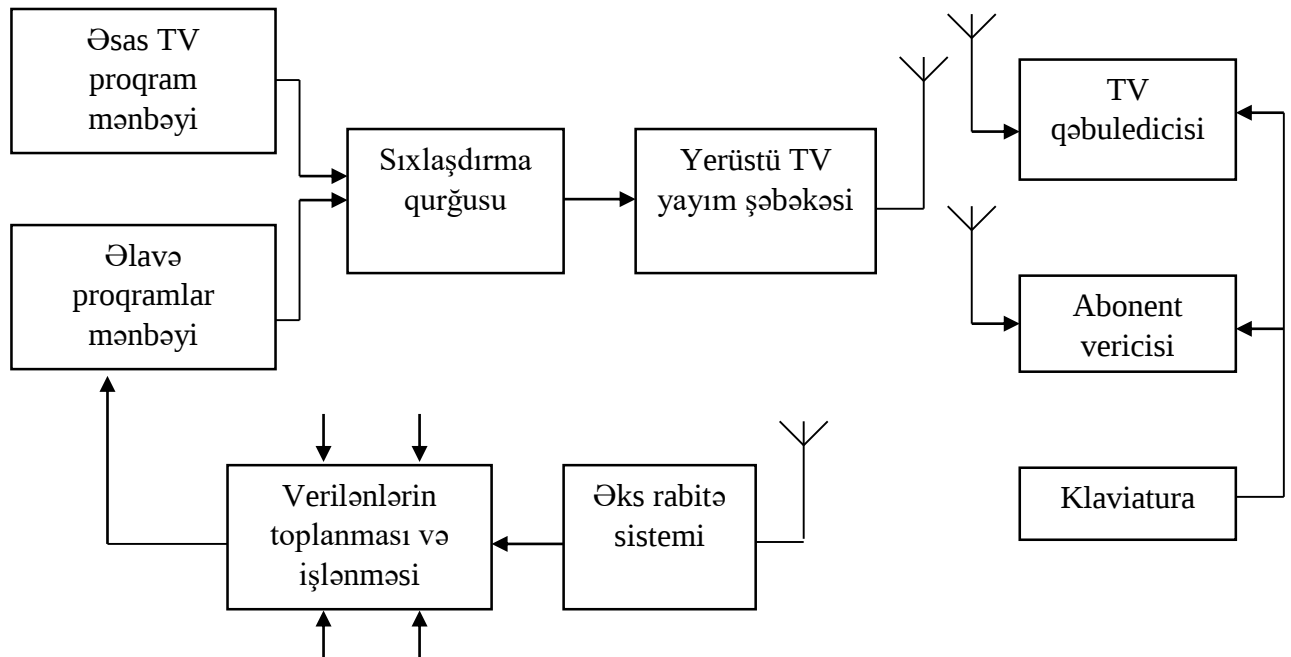
LMDS və MVDS sistemlərində çoxkanallı və ya birkanallı radiovericilərdən istifadə oluna bilər. Birkanallı radiovericilərdə kanallar üzrə güclərin tənzimlənməsini həyata keçirmək olmur. Çünki burada yalnız bir kanal mövcud olur. Çoxkanallı radiovericilərin tətbiqi kanallar üzrə güclərin tənzim olunması nöqtəyi nəzərindən daha əlverişli hesab olunmalıdır. Çünki bu zaman hər kanal üzrə gücü azaltmaq və beləliklə də, ümumi energetiki qazanc əldə etmək, sistem daxili maneələrin səviyyəsini azaltmaq olar [71, s. 20-22]. Radiovericinin kanal modulyatorunda həmin kanalın signalına görə modulyasiya yerinə yetirilir (şək. 1.2.2) [2, s. 32]. Bu halda qrup signalı cəmləyicidə yaranır. Həmin signalın spektri mütləq mənada geniş olur və onun gücləndirilməsi və digər işlənməsi prosesində verici-qəbuledici traktı, bütün genişzolaqlı siqnallarda olduğu kimi, məlum problemlər qarşıya çıxır [78, s. 37-40; 113, 138, 158, s. 436-438].

LMDS və MVDS sistemlərinin üstünlükləri bəllidir. Lakin LMDS və MVDS tipli sistemlərin tətbiqi zamanı müəyyən nöqsanlar da qarşıya çıxır. Bu nöqsanlar arasında əlverişli cəhətləri vardır ki, onlar da həm sistem seçilərkən, həm də şəbəkə qurularkən nəzərə alınmalıdır.

Burada istifadə olunan genişzolaqlı qrup signalının işlənməsi zamanı çarpaz və digər keçid maneələrinin yaranması ilə üzləşirik ki, onların da azaldılması müəyyən texniki problemlər yaradır [2, s. 51-61; 78, s. 37-40]. Bu maneələr arasında keçid maneələrini xüsusi olaraq qeyd etmək lazımdır. Çünki burada amplitud-amplitud və amplitud-faza tipli keçid maneələrinin çəkisi daha çoxdur. Bu o deməkdir ki, genişzolaqlı signalın işlənməsi zamanı amplitud xarakteristikalarının qeyri-xəttiliyi nəticəsində signalın amplitudunun dəyişməsi əlavə parazit amplitud dəyişmələrinə səbəb olur. Faza-amplitud xarakteristikasının qeyri-xəttiliyi və gücləndirici traktın amplitud-tezlik xarakteristikasının qeyri-bərabərliyi isə amplitud-faza keçidləri tipli intermodulyasiya maneələrinin yaranmasına gətirib çıxarır. Verici-qəbuledici traktı işlədilmiş elektron cihazlarının, xüsusən, tranzistorun statik və dinamik xarakteristikalarının kiçik və böyük cərəyanlar oblastında qeyri-xətti olması amplitud-amplitud və amplitud-faza keçidlərinin baş verməsinə səbəb olur. Bundan başqa, tranzistorun kollektor keçidinin tutumunun dövrədən axan cərəyandan qeyri-xətti



Şək.1.2.2. LMDS baza stansiyasının çoxkanallı TV yayım vericisinin struktur sxemi



Şəkil 1.2.3. İnteraktiv yerüstü TV yayım şəbəkəsinin ümumiləşmiş struktur sxemi

asılılığı da keçid maneələrini yaradan səbəblərdən biridir. Beləliklə, adı çəkilən qeyri-xətti təhriflərin mənbələri məlumdur.

LMDS və MVDS tipli sistemlərdə və sadə yerüstü interaktiv TV yayım sistemlərində əks kanal tətbiq olunur. İkinci halda TV yayım sisteminin ümumiləşmiş struktur sxemi şəkl. 1.2.3-dəki kimi ola bilər. Həmin sistemlərin tətbiqi zamanı yeni elmi-texniki problemlərin yaranmasına səbəb olur. Bu problemlərdən ən mühüm olanları abonent avadanlığının mürəkkəb olması və tələb olunan maneədayanıqlığının təmin olunması məqsədilə əks olunan dalğaların konfigurasiyasının müəyyən olunmasıdır.

Əslində bu göstərilən nöqsanlar hər iki sistemdə meydana çıxır. Lakin MVDS sistemində bu nöqsanların təsiri daha ciddidir. Çünki bu nöqsanlar tezlik artdıqca özünü daha qabarıq şəkildə göstərir.

Sadə interaktiv yerüstü TV yayım sistemlərində abonent öz azgüclü radiovericisi ilə proqramlı TV mərkəzi ilə rabitə yaradır (şəkl. 1.2.3). Bunun üçün abonentin klaviaturası olur və o, öz ünvanı ilə TV mərkəzinə qoşularaq lazımı məlumatı “çağırır” bilir. Əks kanalın olması operativ olaraq əsas parametrlərin təyin və tənzim olunmasına imkan verir.

İnteraktiv rabitə və yayım sistemlərinin parametrlərinin yaxşılaşdırılmasının spesifik xüsusiyyətləri vardır. İnteraktivlikdən istifadə etməklə parametrlərin tənzimlənməsini asanlıqla həyata keçirmək olur. Radiorabitə qurğularının inkişafı yeni qurğuların yaradılması ilə yanaşı, mövcud qurğuların keyfiyyət göstəricilərinin təkmilləşdirilməsi ilə də bağlıdır. Rabitə və yayım sistemlərinin mühüm parametrlərindən biri onun buraxma qabiliyyətidir. Buraxma qabiliyyəti hər bir rabitə sisteminin çox vacib parametrlərindən biri olmaqla yanaşı, sistemin digər mühüm parametrləri ilə də sıx qarşılıqlı əlaqədədir [2, s. 17-23, s. 33-37; 10, s.138-144; 51, s. 133-137; 52, s. 107-112]. Rabitə və ya yayım sistemlərində signal/maneə nisbəti, məlumatın ötürülmə dəqiqliyi, veriliş sürəti, spektral, energetiki və informasiya effektivlikləri buraxma qabiliyyəti ilə müəyyən olunur [52, s. 107-109]. Bu parametrlərin düzgün seçilməsinin və istismar müddətində operativ tənzim olunmasının böyük əhəmiyyəti vardır.

Ona görə də rabitə sisteminin buraxma qabiliyyəti ilə yuxarıda adı çəkilən effektivliklər arasında əlaqəni təhlil etmək vacibdir. Rabitə sistemlərini layihələndirən

zaman onların digər mühüm parametrləri – məlumatın canlandırılma dəqiqliyi, maneədayanlığı, rabitənin təsir uzaqlığı, rabitənin etibarlılığı, avadanlığın etibarlılığı, elektromaqnit birgəliyi, ekoloji birgəlik, avadanlığın dəyəri, ölçüləri və çəkisi də nəzərə alınır ki, onlar da bu və ya digər dərəcədə sistemin buraxma qabiliyyəti ilə əlaqədə olur. Həm də bu parametrlərdən bəzilərinin yaxşılaşdırılması digər hər hansı mühüm parametrin pisləşməsinə səbəb ola bilər. Məs., maneədayanlığının, veriliş sürətinin və ya informasiya effektivliyinin artırılması iqtisadi effektivliyin azalmasına səbəb ola bilər.

1.3. İnteraktiv TV yayım sistemlərinin buraxma qabiliyyəti və texniki effektivlikləri

Rabitə sisteminin mühüm parametri olan buraxma qabiliyyəti verilmiş məhdudiyyətlər halında məlumatın rabitə kanalı ilə verilməsinin maksimal sürətinə deyilir. Rabitə sistemlərində buraxma qabiliyyətinin təyin olunması zamanı siqnalın gücünə və $B = 2FT$ ifadəsilə təyin olunan bazasına müəyyən məhdudiyyətlər qoyulur, burada T – elementin davamətmə müddəti, F – onun spektrinin enidir. Dirixle şərtini ödəyən hər bir siqnalı Furiye sırasının cəmi şəklində göstərə bilərik. Bu halda Furiye əmsalları məlumat daşıyıcıları olur. Onlar arasında statistik əlaqənin olması məlumat miqdarının müəyyən qədər azalmasına səbəb olur. Diferensial entropiyadan istifadə etməklə yalnız küylərin təsiri nəzərə alınan kanalın buraxma qabiliyyətini hesablaya bilərik. Bu tip kanal üçün [52, s.108]:

$$C = \frac{\max I_T(z', z)}{T}, \frac{\text{natural vahid}}{\text{san}}, \quad (1.3.1)$$

burada $I_T(z', z)$ – tam məlumat miqdarıdır.

Əgər siqnalın bazasına məhdudiyyət qoyulmazsa, onda $P_k = N_0 F$ ifadəsindən istifadə etməklə yalnız “ağ” küyün təsiri nəzərə alınan kanalda buraxma qabiliyyətinin maksimal qiymətini tapa bilərik. Bunun üçün tezlik zolağını genişləndirmək və $F \rightarrow \infty$ şərtində

$$C_{\infty} = \frac{P_s}{N_0}, \frac{\text{natural vahid}}{\text{san}}, \quad (1.3.2)$$

olduğuna əmin olmaq mümkündür.

Buraxma qabiliyyətinin tezlik zolağının enindən asılılıq qrafikini quraraq əmin ola bilərik ki, adı çəkilən kanalda bu kəmiyyət $F = P_s/N_0$ olduqda öz maksimal qiymətinin 70%-ni alır. Tezlik zolağının sonrakı genişlənməsi ilə kanalın buraxma qabiliyyəti çox yavaş artır [87, s. 15-21].

Rabitə texnikasında b , g və h effektivliklərini bir-birindən fərqləndirirlər. b effektivlik informasiyanın verilmiş R sürətilə ötürülməsi zamanı signalın gücündən necə istifadə olunmasını xarakterizə edir və energetiki effektivlik adlanır [52, s. 255]:

$$\beta = \frac{R}{P_s/N_0} . \quad (1.3.3)$$

g effektivlik (spektral effektivlik) rabitə və ya yayım sistemlərinin tezlik zolağının necə istifadə olunmasını göstərir [2, s. 21; 52, s. 255]:

$$\varepsilon = \frac{R}{\Delta f_b} . \quad (1.3.4)$$

h effektivlik isə rabitə və ya yayım sistemlərində kanalın buraxma qabiliyyətinin necə istifadə olunmasını ifadə edir və bəzən informasiya effektivliyi adlanır [52, s. 256]:

$$i = \frac{R}{C} \quad (1.3.5)$$

Bu üç effektivlik arasında analitik əlaqə ədəbiyyatlarda verilmişdir [2, s. 22; 52, s. 256]:

$$i = \frac{\varepsilon}{\log(\varepsilon/\beta+1)} . \quad (1.3.6)$$

Göründüyü kimi, rabitə və ya yayım sistemlərinin buraxma qabiliyyətinin artırılması onların texniki xarakteristikaları üzrə olan effektivliklərinin artırılması ilə bağlıdır [57, s. 5-52].

Veriliş sürəti, informasiya, tezlik, energetiki effektivliklər kimi mühüm parametrlərin düzgün seçilməsinin böyük əhəmiyyəti vardır [68, s. 43-44; 89, s. 22-

24]. Ona görə də rabitə sisteminin buraxma qabiliyyəti ilə yuxarıda adı çəkilən effektivliklər arasında əlaqəni təhlil etmək vacibdir. Bu səbəbdən rabitə (yayım) sistemlərini layihələndirən zaman onlara qoyulan tələbləri əsas tutaraq parametrlərin seçilməsi üzrə kompromis həll axtarılır [2, s.15-28; 28, s. 68; 58, s. 52-59].

Telekommunikasiya üzrə olan müxtəlif elmi-texniki ədəbiyyatlarda parametrlər üzrə kompromisin seçilməsi üzrə tədqiqatlar aparılmışdır. Lakin bu elmi məsələ hər bir sistem üçün parametrlərin vacibliyi və qarşılıqlı əlaqəsi nəzərə alınmaqla ayrı-ayrılıqda həyata keçirilməlidir.

1.4. İnteraktiv TV yayım sistemlərində parametrlər arasında kompromisin seçilməsinin ümumi yolları

Baxılan interaktiv sistemlərdə əks rabitə kanalından istifadə etməklə sistemin buraxma qabiliyyətini və onunla bağlı olan digər mühüm parametrləri idarə etmək olar. Bu mühüm parametrlər sırasına sistemin energetiki effektivliyi də daxildir.

Əslində TV yayım sisteminin tam rəqəmli olması mümkün deyil. Hazırda tətbiq olunmuş rəqəmli TV yayım sistemlərində bəzi məqamlar analoq, qalan əksəriyyəti isə rəqəmli formada. Həm də analoq prinsipi ilə işləyən hissələrin analoq formada olması elektronikanın inkişafı ilə bağlı deyil. Məs., TV yayımında istifadə olunan “ışığ-signal”, “signal-ışığ” çeviriciləri, rabitə kanalının özü analoq formada olur. Hətta yük əlaqəli cihazlar üzərində olan TV kameraları da analoq formalı təsvir signalını yaradırlar. Bundan başqa, rabitə kanalının tezlik buraxma zolağı məhdud olur ki, bu zolaqdan istifadə etməklə Π -şəkilli impulsları ümumiyyətlə ötürmək mümkün deyil. Çünki belə impulsların tezlik spektrində çox yüksək olan (nəzəri olaraq sonsuzluğa bərabər olan) təşkiledicilər olur. Ona görə də elementar impulslar olaraq çox zaman digər formalı impulslardan istifadə olunur. Onlar arasında ən çox istifadə olunanı Naykvistin birinci və ya həm birinci, həm də ikinci şərtini ödəyən $\sin x/x$ formalı impulsların şəkildəyişmələridir [5 s. 191-196]. Qeyd edək ki, rəqəmli TV yayımında istifadə olunan rəqəmli signallar isə sadəcə rəqəmli signallar deyil, rəqəmli TV yayım

standartına uyğun olan rəqəmli paketlərdir. Sonra bu elementar impulsar vasitəsilə DVB və İSDB sistemlərində M-QAM, daha sonra çox effektiv sayılan müvafiq olaraq COFDM və ya OFDM modulyasiyaları yerinə yetirilir ki, nəticədə rabitə kanalı doğrudan da analoq formada olur [53, s. 65-69; 65, s. 121-125; 84, s. 20-25; 91, s. 12-16; 147, s. 82-88; 157, 389-392].

Rəqəmli TV yayımı sistemlərində TV mərkəzindən daxil olan videosignal da analoq signaldır. TV mərkəzində formalaşdırılmış analoq təsvir signalı rəqəmliyə çevirilməlidir. Ona görə də bu signal əvvəlcə kodlayıcıya (“encoder”ə) verilir və onun üzərində tələb olunan əməliyyatlar aparılır. TV vericisində formalaşdırıldıqdan sonra rəqəmli TV yayım radiosignalı efirə şüalandırılır. Radioqəbuledicinin aldığı analoq signal əks ardıcılıqla aparılan əks əməliyyatlar hesabına yenidən rəqəmliyə çevirilir. Sonra onun üzərində lazımi əməliyyatlar aparılır. Son nəticə olaraq alınmış rəqəmli signal analoq signala çevirilib “signal-ışığ” çeviricisinə verilir. Bu mülahizələrə əsaslanaraq əmin olmaq olur ki, elektronikanın hətta gələcək inkişaf səviyyələrində də TV yayım sistemi hibrid xarakterli olacaqdır.

Dissertasiya işində sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemləri tədqiqat obyekti kimi seçilmişdir. LMDS və MVDS tipli sistemlərin tətbiq olunduğu naqilsiz genişzolaqlı radiodaxilolma şəbəkəsi çoxkanallı TV yayımı ilə yanaşı, internetə daxilolmanı, verilənlərin ötürülməsini, telefoniya, telekonfrans və b. xidmətləri yerinə yetirir. Ölkəmizdə istismarda olan “B&B TV” və “Connect TV” kabel TV sistemlərinin efir-kabel tipli paylayıcı şəbəkəsində LMDS tipli sistem tətbiq olunmuşdur. Baxılan sistemlər telekommunikasiya xidmətlərini vahid paketdə yerinə yetirir və iqtisadi cəhətdən əlverişli sistemlər hesab olunur.

Dissertasiya işinin bu fəslində sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərin tətbiqi zamanı yaranan əsas problemləri aşkar etmək, onların yaranma səbəblərini araşdırmaq, buraxma qabiliyyətini məhdudlayan səbəbləri üzə çıxarmaq, təhlil etmək və onların aradan qaldırılmasının ümumi yollarını müəyyən etmək, problemlərdən həlli vacib olanlarını önə çəkmək və sonrakı fəsillərdə həll olunacaq məsələləri təyin etmək, bu məsələlərin həlli üçün istifadə olunacaq adekvat riyazi aparatı seçmək məsələləri qarşıya qoyulmuşdur. Bu məqsədlə sadə və LMDS və

MVDS tipli çoxkanallı yerüstü interaktiv sistemlərinin əsas keyfiyyət göstəriciləri və parametrləri arasında qarşılıqlı əlaqə öyrənilmiş, sistemlərin quruluşu, iş prinsipi, xarakteristik xüsusiyyətləri, üstünlükləri, nöqsanları və tətbiqi problemləri araşdırılmışdır. Qarşıya çıxan əsas problemlərin həllinin ümumi yolları göstərilmişdir.

Veriliş sürəti rəqəmsal TV yayım sistemlərinin mühüm parametridir. Onun buraxma zolağı ilə birbaşa əlaqəsi vardır. $C/\Delta f_b$ nisbəti məxsusi veriliş sürətinin maksimal həddi kimi qiymətləndirilir. Bu parametr rabitə sistemlərinin effektivliyini müəyyən etmək üçün istifadə olunur. Veriliş sürəti ilə məxsusi veriliş sürətini fərqləndirmək lazımdır. Məxsusi veriliş sürəti vahid tezlik zolağına hesablanmış veriliş sürəti, veriliş sürəti isə vahid zamanda verilən məlumat miqdarıdır [52, s. 36]. Ona görə də məxsusi veriliş sürətinin ölçü vahidi bit/(san.Hs)-dir. İnteraktiv TV yayım sistemində bu iki parametr bir-biri ilə uyğunlaşdırılmalıdır.

Verilmiş tezlik zolağında maneələrin təsiri nəzərə alınmadıqda (yalnız “ağ” Qauss küylərinin təsiri nəzərə alındıqda) Şennonun düsturundan istifadə etməklə buraxma qabiliyyətini hesablamaq üçün olan (1.3.1) ifadəsini aşağıdakı kimi yazı bilərik [52, s. 38; 51, s. 21]:

$$C = \Delta f_b \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_k} \right), \text{ bit/s}, \quad (1.4.1)$$

burada P_s – siqnalın gücü, P_k – küyün gücü, Δf_b – sistemin tezlik buraxma zolağıdır.

İkili rabitə sistemlərində birparametrlı modulyasiyadan sonra məxsusi veriliş sürətinin 2 bit/(san.Hs)-dən kiçik olduğu ədəbiyyatlarda verilmişdir. Lakin rəqəmsal TV yayım sistemində M-QAM modulyasiyasından istifadə olunur və bu zaman məxsusi veriliş sürətinin artımını ədəbiyyatlarda rəqəmsal TV yayımı üçün verilmiş parametrlərdən istifadə etməklə hesablamaq bilərik [51, s. 135; 69, s. 19].

Məxsusi veriliş sürəti kod sürəti və modulyasiya üsullarından asılı olaraq çox dəyişir. Məs., amplitud-faza modulyasiyasında mövqələrin sayından asılı olaraq veriliş sürətinin dəyişməsinə təyin edə bilərik. QPSK (4-QAM), 16-QAM və 64-QAM modulyasiyalarında kod sürətinin 1/2-dən 7/8-ə artması ilə məxsusi veriliş sürəti təxminən 1,76 dəfə artır. Lakin həm kod sürətinin, həm də modulyasiya mövqələrinin

sayının artması məxüsusi veriliş sürətinə kəskin təsir edir. Məs., kod sürətinin 1/2-dən 7/8-ə artması və modulyasiya mövqelərinin sayının isə 4-dən 64-ə yüksəlməsi ilə məxüsusi veriliş sürəti 5,27 dəfə artmış olur. Lakin eyni bir kod sürətində QAM modulyasiyasının mövqelərinin sayından asılı olaraq məxüsusi veriliş sürəti kod sürəti ilə müqayisədə daha çox artır. Məs., eyni kod sürətində amplitud-faza modulyasiyasının mövqelərinin sayının 4-dən 64-ə artması ilə məxüsusi veriliş sürəti 3 dəfə artmış olur. Buradan belə nəticəyə gəlmək olur ki, amplitud-faza modulyasiyasının mövqelərinin sayının artması buraxma qabiliyyətinə ciddi təsir edəcəkdir. Lakin nəzərə almaq lazımdır ki, mövqelər sayının artması sistemin digər mühüm bir parametrinin – maneədayanıqlığının aşağı düşməsinə səbəb olacaqdır. Bu mülahizələr bir daha parametrlər arasında kompromisin seçilməsinin vacib olduğunu təsdiq edir.

Yuxarıdakı mülahizələrdən aydın olur ki, rabitə sistemlərinin buraxma qabiliyyəti və veriliş sürəti birbaşa olaraq tezlik buraxma zolağı ilə təyin olunur. Lakin rəqəmsal veriliş sistemlərində elementar impulsların forması da buraxma zolağına uyğun seilməlidir. Artıq qeyd olunduğu kimi, müasir rəqəmsal rabitə və yayım sistemlərində elementar impuls olaraq spektri kosinuskvadratik qanunla kəsilən impulslardan daha geniş istifadə olunur. Bu impulsların davam etmə müddəti sönmə əmsalı (“Roll of factor”) α_1 ilə müəyyən olunur.

Yalnız küylərin təsiri nəzərə alınan kanallarda sistemin buraxma zolağını elə seçmək olar ki, siqnalın gücü küyün gücünə bərabər olsun. Belə süzgəcləmə razılaşdırılmış süzgəcləmə, zolaq isə Naykvist zolağı Δf_N adlanır:

$$P_s = N_0 \Delta f_N \quad (1.4.2)$$

Fluktuasiya küylərinin gücünü aşağıdakı ifadə ilə hesablaya bilərik:

$$P_k = N_0 \Delta f_0 (1 + \alpha_1). \quad (1.4.3)$$

Ümumi halda müasir rabitə və yayım sistemlərinə qoyulan tələblər belədir ki, onlar verilmiş tezlik zolağında minimal səhvlər ehtimalı ilə minimal gücü olan siqnalın maksimal veriliş sürəti ilə ötürülməsini təmin etməlidirlər.

Şəkil 1.4.1-də FM (Frequency modulation – tezlik modulyasiyası), FzM (faza modulyasiyası), NFzM (nisbi faza modulyasiyası), fasiləsiz kanallar (FK) və ikili ($k=2$) natamam fasiləsiz kanallar (NFK), habelə ikili ($k=2$) və dördlü ($k=4$) DK (diskret kanal) üçün energetiki effektivliklə spektral effektivlik arasında asılılıq loqarifmik masştabda verilmişdir [52, s. 256].

Bizim sistem üçün ikili diskret kanallarında effektivliklərin dəyişməsinin analizi əhəmiyyət daşıyır. Şəkildən görünür ki, diskret kanalın effektivliyi Şennon həddinə çox yaxındır. Lakin spektral effektivliyin artması energetiki effektivliyin azalmasına səbəb olur. Beləliklə, interaktiv yerüstü sadə və çoxkanallı TV yayım sistemlərinin tətbiqi zamanı b , g və h effektivliklərinin müvafiq qiymətlərinin təmin olunması və bu zaman sistemin buraxma qabiliyyətinin tələb olunan səviyyədə saxlanılması probleminin tədqiqi əhəmiyyətlidir [52, s. 255-256].

Rabitə və yayım kanallarında yalnız küylərin təsiri nəzərə alındıqda kanalın buraxma qabiliyyəti və energetiki effektivlik gücə görə siqnal/küy nisbəti ilə xarakterizə oluna bilər.

Lakin rəqəmli rabitə və yayım sistemlərində E_b/N_0 nisbətindən istifadə olunması daha əlverişli hesab oluna bilər, burada E_b – bitin enerjisi, N_0 – küyün gücünün spektral sıxlığıdır (küyün vahid tezlik zolağına düşən enerjisidir).

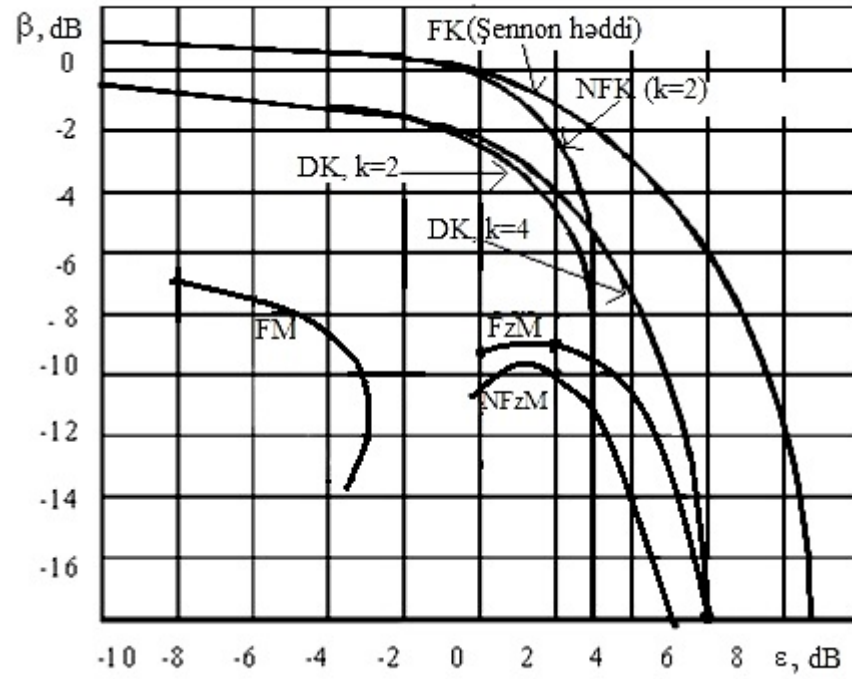
$E_b = T_b P_{s0}$, T_b – bitin davamətmə müddəti, P_{s0} – faydalı siqnalın gücünün orta qiymətidir.

Bitin davamətmə müddətini belə hesablayırıq [3, s. 81]:

$$T_b = T_{eg} / \log_2 m, \quad (1.4.4)$$

burada T_{eg} – elementar impulsun (göndərişin) davamətmə müddətidir.

Elementar impulsun (simvolun) davamətmə müddətini hesablamaq üçün aşağıdakı ifadədən istifadə edirik [3, s. 81]:



Şək. 1.4.1. Müxtəlif modulyasiyalar üçün rabitə sisteminin energetiki effektivliyi ilə spektral effektivliyi arasındakı asılılıqların Şennon sərhəddi ilə müqayisəsi

$$T_{eg} = \frac{1}{\Delta f_s}, \quad (1.4.5)$$

burada Δf_s – siqnalın spektrinin enidir.

Siqnalın gücünün orta qiymətini belə hesablayırıq [3, s. 81]:

$$T_{s0} = E_b R. \quad (1.4.6)$$

Elementar impulsun davametmə müddəti α_1 sönmə əmsalının qiymətindən çox asılıdır. Bu əmsalın qiyməti onun spektrinə və rabitə kanalın eninə təsir edən əsas parametrlərdən biridir. Onun düzgün seçilməsi üçün tədqiqatlar aparılır və ölçmə zamanı “göz” diaqramından istifadə olunur [51, s. 26-51]. Bu əmsalın dəyişməsilə $\sin x/x$ tipli siqnalların davametmə müddəti və spektrinin kosinus-kvadratik formada kəsilən arxa cəbhəsinin dikliyi dəyişir (şək. 4.7.3-ə bax).

$\alpha_1 = 0$ olduqda rabitə kanalının eni $\Delta f_b = \Delta f_N$ Naykvist zolağına bərabər olur. Lakin bu halda elementar impulsun davametmə müddəti sonsuzluğa bərabər olur. Rəqəmli televiziya da sönmə əmsalının qiyməti $0 < \alpha_1 < 1$ arasında seçilir və ona görə də rabitə kanalının siqnalın spektrinə uyğun eninin Naykvist zolağı Δf_N ilə müqayisədə genişləndirilməsi tələb olunur:

$$\Delta f_b = \Delta f_N (1 + \alpha_1). \quad (1.4.7)$$

Bu zaman spektral effektivlik də potensial spektral effektivliklə müqayisədə azalmış olur:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 / (1 + \alpha_1). \quad (1.4.8)$$

Burada ε_0 – potensial spektral effektivlikdir.

İkili siqnallar üçün: $r_0 = \frac{2}{1 + \alpha_1}$ [2, s. 18].

Rəqəmli rabitə və yayım sistemlərində vahid tezlik zolağı üzrə buraxma qabiliyyətinin hesablanması tələb olunur. Küyün gücünün $P_k = N_0 \Delta f_0 (1 + \alpha_1)$ olduğunu nəzərə alsaq və hesab etsək ki, Δf_0 tezlik zolağında yalnız küylərin təsiri nəzərə alınan rabitə kanalında küyün gücü siqnalın gücünə bərabərdir, onda (1.2.4) ifadəsindən alarıq: [2, s. 20; 52, s. 110]:

$$\frac{C}{\Delta f_0} = \frac{\Delta f_b}{\Delta f_0} \log_2 \left(1 + \frac{\Delta f_0}{\Delta f_b} \right), \text{ bit}/(s \cdot Hs). \quad (1.4.9)$$

Burada rabitə sisteminin buraxma qabiliyyəti, veriliş sürəti, signal/maneə nisbəti, spektral, energetiki və informasiya effektivlikləri kimi parametrlər Şennon düsturunda ifadə olunmuşdur və bu düstur onlar arasında kompromisin seçilməsi zamanı istifadə oluna bilər ki, bu da həmin düsturun əsas üstünlüyüdür.

Buraxma qabiliyyətinin məlum ifadəsindən istifadə edərək alırıq:

$$\frac{R}{C} = \frac{R}{\Delta f_N \log(\varepsilon/\beta + 1)}. \quad (1.4.10)$$

$\Delta f_b = \Delta f_N$ olduqda energetiki effektivliyi aşağıdakı ifadə ilə hesablaya bilərik:

$$\beta = RN_0 \Delta f_N / P_s, \quad (1.4.11)$$

Aparılan mülahizələrdən aydın olur ki, rəqəmli TV yayımında α_1 sönmə əmsalının seçilməsi elementar impulsların davam etmə müddəti və spektrinin eni ilə yanaşı, sistemin spektral effektivliyinə, sonuncu isə modulyasiya üsulundan asılı olaraq sistemin energetiki effektivliyinə bu və ya digər dərəcədə təsir edir.

1.5. Dissertasiya işinin tədqiqat mövzusunun və tədqiqat obyektinin seçilməsinin elmi-praktiki əhəmiyyətinin əsaslandırılması

İnteraktivliyin asan tətbiq olunması imkanı LMDS və MVDS sistemlərinin üstünlüklərdən biri olmaqla, praktikada onların digər mühüm keyfiyyət dəyişikliyinə həyata keçirilməsinə imkan yaradır. Belə ki, interaktiv sistemlərdə istismar müddəti ərzində parametrlərin ölçülməsi, qiymətləndirilməsi və operativ olaraq tənzimlənməsi əhəmiyyətli dərəcədə asan həyata keçirilə bilər [7, s. 20-24; 8, s. 54-59; 9, s. 106-107]. Artıq qeyd olunduğu kimi, həm sadə yerüstü TV yayımında, həm də “axırıncı mil” problemini çevik həll etmək üçün yerüstü TV yayımı və kabel TV-nin paylayıcı şəbəkəsində istifadə olunan bəzi çoxkanallı TV sistemlərində interaktivlik tətbiq

olunur.

Yerüstü interaktiv TV yayım sistemlərində əks kanal müxtəlif cür qurula bilər. Həm də əks kanal biristiqamətli və ya ikiistiqamətli ola bilər. Burada abonentin əks kanal vasitəsilə proqram mənbəyinə qoşulmaq və lazımi məlumatı “çağırmaq” imkanı olur. Lakin bu əks kanal həm də kanalın vəziyyətini qiymətləndirmək, gücü, kodlama metodunu, modulyasiya üsulunu seçmək və b. tənzimləmə işlərini həyata keçirmək üçün də istifadə oluna bilər [10, s. 138-139].

İnteraktivliyin yer aldığı çoxkanallı TV sistemlərindən ən çox tətbiq olunanları LMDS və MVDS sistemləridir. Onların müqayisəsindən aydın olur ki, bu iki sistem bir-birinə oxşar olsa da, onlar arasında müəyyən fərqlər də vardır. Bu iki sistemin əsas parametrləri 1.5.1. cədvəlində verilmişdir. Cədvəldə hər iki sistemdə tətbiq olunan daxilolmanın tipləri verilmişdir. LMDS-sistemində ortoqonal CDMA (Code Division Multiple Access- Kanalları koda görə bölünmüş çoxstansiyalı giriş) və ya FDMA (Frequency division multiple Access – Kanalları tezliyə görə bölünmüş çoxstansiyalı giriş) ilə TDMA (Time Division Multiple Access – Kanalları zamana görə bölünmüş çoxstansiyalı giriş) birgə, MVDS sistemində isə ortoqonal CDMA tətbiq olunur. Baxılan sistemlərin işçi tezlik diapazonları, tezlik zolaqlarının eni və xidmət zonasının (sotun) radiusları arasında da fərqlər mövcuddur.

Onların tətbiq olunduğu şanvari prinsiplə qurulmuş genişzolaqlı radiodaxilolma şəbəkələrinin üstünlükləri və nöqsanları ədəbiyyatlarda verilmişdir [2, s. 31-33]. Bu tezliklər oblastında kənar maneələr az olur. Lakin müxtəlif effektlər və maneələrdən əks olunan dalğalar hesabına dəyişkən çoxşüalı qəbul şəraiti yaranır. Bundan başqa, radiodalğaların fəzada yayılması zamanı hava şəraitinin (rütubətin, Günəşin və s.) təsiri nəticəsində radiorabitə xətlərində tezlik-seçici sönmələr yaranır.

Cədvəldən görünür ki, hər iki sistem ifrat yüksək tezliklərdə işləyir, sotun radiusları MMDS-lə müqayisədə kiçik ölçülüdür. Radiusun kiçik olması BS-in radiovericisinin gücünü kiçik seçməyə imkan verir. Bu isə öz növbəsində həmin sistemlərin ekoloji cəhətdən zişansız olmasına şərait yaradır. Bundan başqa, sotun radiuslarının belə kiçik olması əhatə zonaları arasında boş (yayımla əhatə olunmayan) sahələrin azalmasına səbəb olur.

LMDS və MVDS sistemlərinin əsas parametrləri

Siste- min adı	Tətbiq olunan modulyasiyalar	İşçi tezliyi, QHs	Sotun radiusu, km	Daxilolmanın tipi	Tezlik zolağının eni, QHs
LMDS	16-QAM/QPSK, OFDM	27,5...31,3	1...10	Ortoqonal CDMA, TDMA/FDMA	1...2
MVDS	QAM (kabel TV) QPSK (peyk TV)	40,2...42,5	1...10	Ortoqonal CDMA	2

BS-lərdə istifadə olunan radiovericilər tərəfindən verilən rəqəmli TV kanallarının sayı analoq TV kanallarının sayından dörd dəfə artıq olur [2, 31-33].

Gücləndirilən siqnalın spektrinin eni təxminən 186 MHs-ə bərabər olur. Rabitə nəzəriyyəsində müxtəlif çevirmələrdə siqnalların darzolaqlı olması xüsusiyyətindən istifadə edilir. Bu zaman darzolaqlılıq aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur [61]:

$$\frac{\Delta f_S}{f_M} \ll 1, \quad (1.5.1)$$

burada f_M – işçi tezlik və ya siqnalın mərkəzi tezliyidir.

(1.5.1) ifadəsindən və 1.5.1 cədvəlində LMDS və MVDS sistemləri üçün verilmiş qiymətlərdən istifadə etməklə uyğun olaraq hesablayırıq:

$$\frac{\Delta f_S}{f_M} = \frac{0,186}{27,5...31,3} \approx 0,006...0,007 \ll 1;$$

$$\frac{\Delta f_S}{f_M} = \frac{0,186}{40,2...42,5} \approx 0,004...0,005 \ll 1.$$

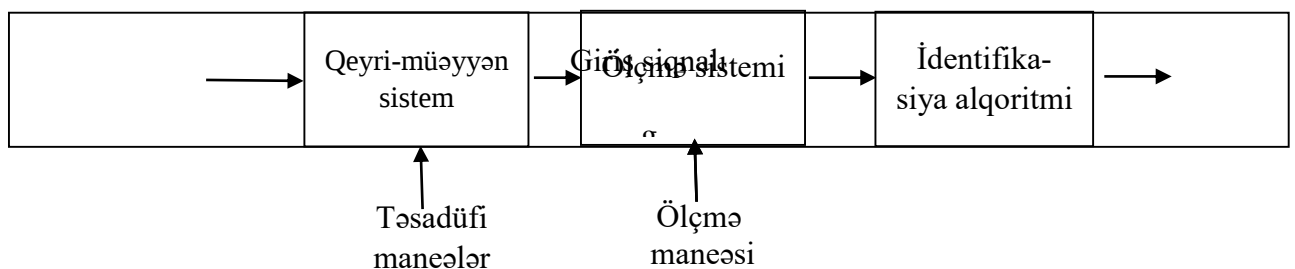
Bu hesablamalar göstərir ki, baxılan siqnal darzolaqlı siqnallar qrupuna aid edilməlidir. Lakin mütləq mənada bu siqnal genişzolaqlı siqnal hesab olunur. Belə ki, yerüstü TV yayımında, məs., ölkəmizdə tətbiq olunan D/K standartında TV yayım kanalının eni 8 MHs-dir. TV yayım videosiqnalının spektrinin eni isə bundan bir qədər azdır (DVB-T2 sistemi üçün təxminən 7,7 MHs-dir). Verilmiş qrup siqnalının spektrinin eni (186 MHs) bu tezlik spektrinin enindən təxminən 29 dəfə genişdir.

Baxılan qrup signalı mütləq mənada genişzolaqlı hesab edilməlidir. Ötürülən signalın genişzolaqlı olması qəbuledici-verici traktıda amplitud-amplitud və amplitud-faza keçid maneələrinin yaranmasına səbəb olur. Bu cür qeyri-xətti təhriflər (keçid maneələri) tranzistorlarda elektromaqnit sahəsi ilə yükdaşıyıcılar arasında yaranan qarşılıqlı təsir prosesinin qeyri-xəttiliyi hesabına baş qaldırır [3, s. 47-58]. Digər çarpaz maneələr də buraxma qabiliyyətini məhdudlayan səbəblər sırasındadır.

Beləliklə, yerüstü sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemləri geniş tətbiq olunmaqdadırlar və onlarda interaktivlikdən istifadə etməklə qiymətləndirmə və operativ tənzimləmə işlərinin həyata keçirilməsi çox vacib və praktiki olaraq çox effektivdir. “Axırıncı mil” probleminin həlli məqsədilə tətbiq olunan interaktiv çoxkanallı TV sistemlərinin buraxma qabiliyyəti ilə yanaşı, əks kanaldan istifadə edərək, onların digər mühüm parametrlərinin də buraxıla bilən həddən aşağı olmaması üçün parametrlərin kompromis qiymətlərinin təmin olunmasına nail olmaq qarşıda duran məsələdir [11, s. 91-95].

1.6. Tipik idarəetmə sistemləri və onların TV yayım sistemlərində tətbiqi imkanlarının analizi

Rabitə nəzəriyyəsində idarəetmənin bəlli determinə olunmuş və ya stoxastik metodları haqqında ətraflı məlumatlar verilmişdir. Onlardan hər birinin üstünlükləri, nöqsanları, işləmə modelləri, tətbiqlərinin şərtləri və sxemləri göstərilmişdir [8, s. 54-59; 18, s. 32-28; 55, s. 277-280]. Ümumi idarəetmə işi bir-birindən fərqli olan üç mərhələdən ibarət olur. Birinci mərhələ identifikasiya tapşırığıdır. Bu mərhələdə məlum giriş signalı qeyri-müəyyən sistemin girişinə verilir (şək. 1.6.1). Onun çıxış signalı ölçmə blokuna daxil olur. Ölçmənin nəticələri təhlil olunaraq qeyri-müəyyən



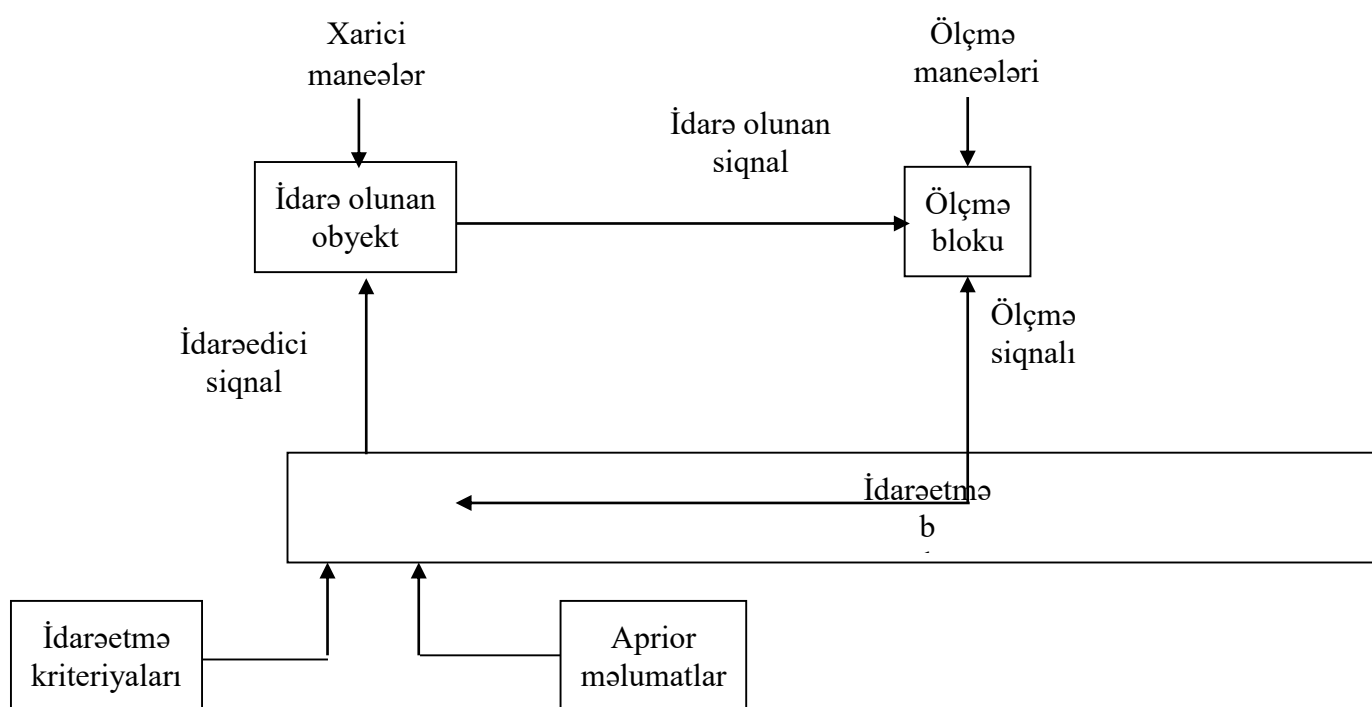
Şəkil 1.6.1. Ümumi idarəetmə sisteminin struktur sxemi

sistemin xarakteristikaları təyin olunur. Əgər qeyri-müəyyən sistemin bəzi xarakteristikaları aprior olaraq məlum olarsa, onda identifikasiya tapşırığı məlum olmayan xarakteristikaların təyininə yönəldilir. Bu proseslər idarəetmə alqoritmini müəyyən etməyə imkan verir.

Əslində idarəetmə sistemin məlum vəziyyətini saxlamaq və ya müəyyən məqsədi hasil etmək üçün ona təsiretməni xarakterizə edir. Burada idarə edilən sistem ümumi halda idarəedici signalın və kənardan təsir edən maneələrin təsiri altında olur. Maneələr həm ölçmələrə, həm də idarəetmə signalına təsir edə bilər. Bu halda da maneələr additiv və ya multiplikativ ola bilər. İdarəetmə zamanı həmin maneələrin təsirinin azaldılması idarəetmə dəqiqliyinə ciddi təsir edir. Maneələrin təsirinin azaldılması üçün rabitə nəzəriyyəsindən məlum olan metodlardan istifadə oluna bilər. Lakin maneələrin təsirinin sıfıra endirilməsi mümkün deyil.

İdarə olunan obyektin girişinə idarəedici signal verilir. Sonra bu obyektin çıxış signalı ölçmə blokuna verilir. Ölçmə blokunun çıxışında isə ölçmə signalı formalaşdırılır ki, bu signal sonradan idarəetmə blokuna daxil olur. Aprior məlumatlar və idarəetmə kriteriyası əsasında ölçmə signalından idarəedici signal formalaşdırılır. Göründüyü kimi idarəetməni həyata keçirmək üçün qapalı ilgək vasitəsilə müxtəlif əməliyyatlar həyata keçirilir. Bu zaman idarəetmə dəqiqliyi və idarəetmənin cəldliyi əsas parametrlər kimi qiymətləndirilir.

Şək. 1.6.2-də idarəetmə sisteminin ümümləşdirilmiş struktur sxemi göstərilmişdir. Sxemdən baxılan ilgək daxilində idarəetmə signalının formalaşdırılması ardıcılığı bəlli olur. Burada idarəetmə komandasının formalaşdırılması zamanı nəzərə alınan vacib faktor idarəetmə kriteriyalarının düzgün seçilməsidir. İdarəetmənin effektivliyi bu seçimdən çox asılıdır. Məs., bizim sistemdə gücün idarə olunması radiovericinin şüalanma və ya çıxış gücünə görə aparıla bilər. Birinci halda radiovericinin gücü ilə yanaşı, verici antenanın gücləndirmə əmsalı və fiderdəki sönmələr də nəzərə alınır. İkinci variantda isə yalnız radiovericinin çıxışındakı güc nəzərə alınır. Həm də çıxış gücünün cari və ya effektiv qiymətlərindən biri idarəetmə kriteriyası kimi seçilə bilər ki, bu iki halda nəticələr də bir-birindən bir qədər fərqli ola bilər. Digər tərəfdən, rabitə texnikasında çox zaman radiovericinin



Şək. 1.6.2. Sistemin idarə olunmasının ümumiləşdirilmiş struktur sxemi

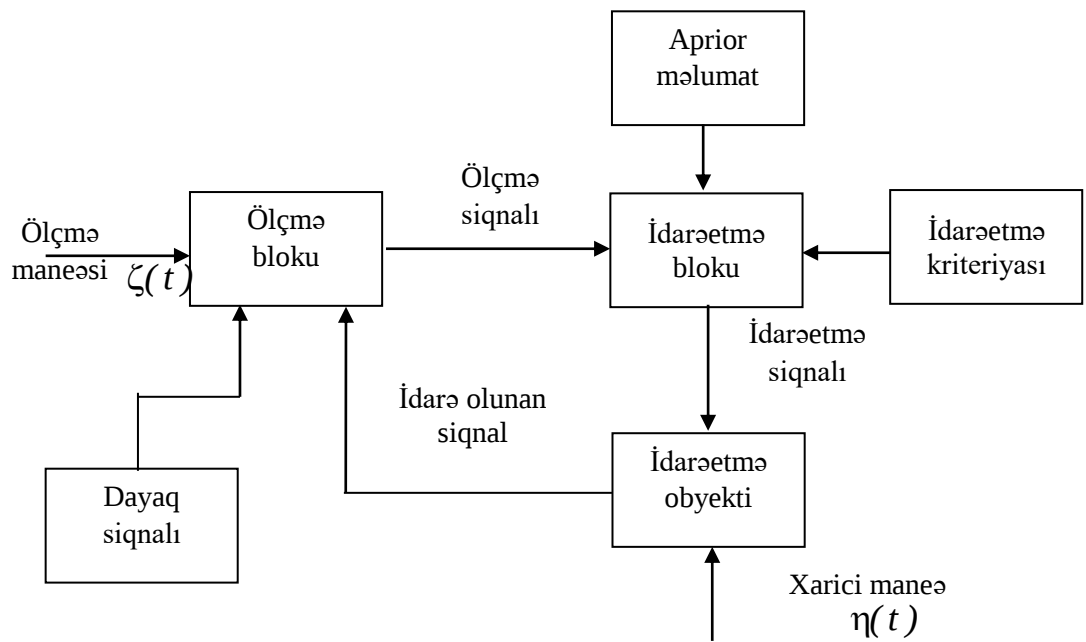
gücü deyil, radioqəbuledicinin girişində signal/maneə nisbəti (və ya signal/maneə+küy nisbəti) kriteriya olaraq seçilir. Bu, isə öz növbəsində interaktivliyin necə vacib olduğunu bir daha isbat edir. Belə ki, radioqəbuledicinin girişində ölçülən signal/maneə nisbəti əks kanal vasitəsilə verici tərəfə ötürülə və radiovericidə bunun əsasında tənzimləmə yerinə yetirilə bilər.

İdarəetmə signalının formalaşdırılması zamanı nəzərə alınmalı olan digər faktor sistem haqqında olan aprior (təcrübədən qabaqkı) məlumatlardır. Sistemin vəziyyətinin ətraflı öyrənilməsi idarəetmənin effektivliyinə təsir edə bilər. Məs., rabitə sistemində aprior məlumat olaraq rabitə kanalının tipi (Qauss, Reley, Rays və b. kanal olması) müəyyənləşdirilə, çoxşüalı qəbulun baş verməsi üzə çıxarıla və tezlik-seçici sönmələrin dərinliyi təyin oluna bilər. Bütün bunlar isə idarəetmə komandasını daha dəqiq formalaşdırmağa imkan verəcəkdir.

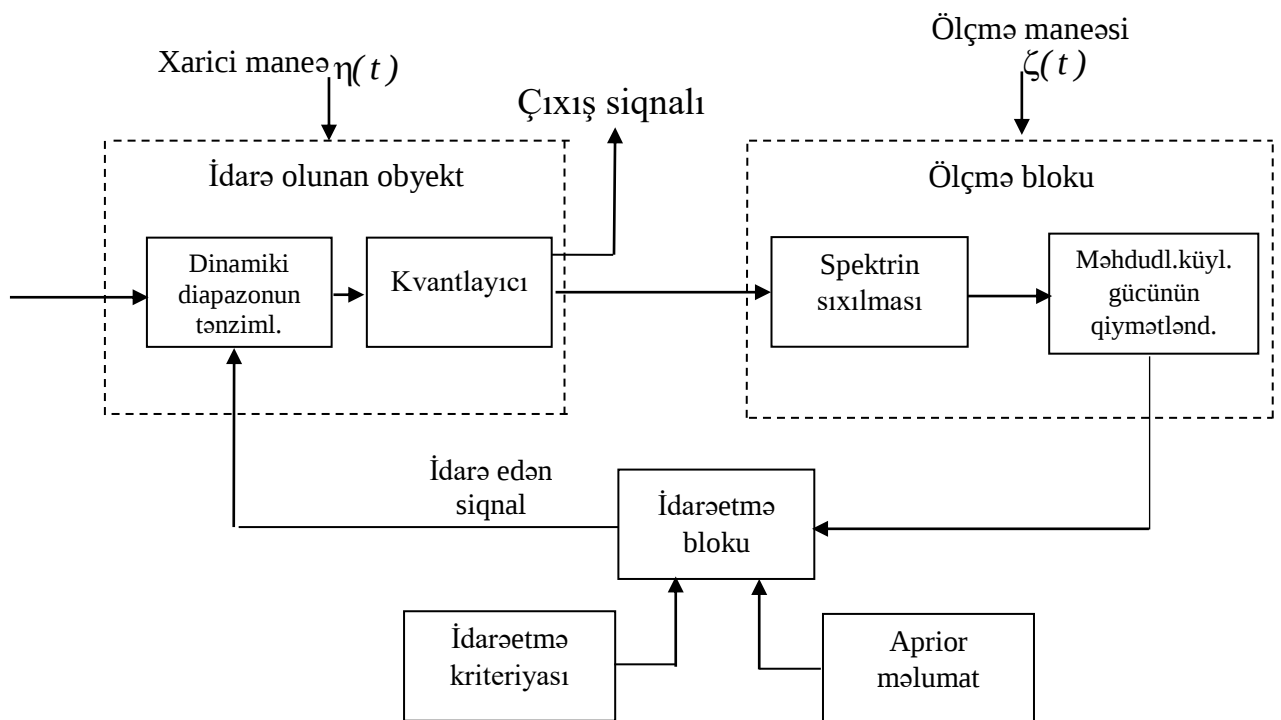
İdarəetmənin ikinci mərhələsi sistemin vəziyyətinin qiymətləndirilməsidir. Bu halda tam müəyyən sistemin girişinə məlum signal verilir və ona maneələr təsir edir. Bu məsələnin həlli zamanı tam müəyyən sistemin maneələr fonunda vəziyyətinin ölçülməsi yerinə yetirilir. Tutaq ki, $u(t)$ signalı və $w(t)$ və $v(t)$ maneələri məlumdur. Tam müəyyən sistemin ən yaxşı $x(t)$ vəziyyətini tapmaq tələb olunur. Bu, süzgəcləmə məsələsidir və idarəetmə blokunun giriş signalını formalaşdırmağa yönəlmişdir.

Determinə olunmuş idarəetmədə idarəedici signal müəyyən olunur və qoyulan məqsədin əldə olunması üçün bu signal müvafiq qaydada dəyişdirilə bilər. Lakin bu zaman xarici maneələrin təsiri nəzərə alınmır. Ən effektiv olan optimal idarəetmədir. Bu zaman ekstremal keyfiyyət kriteriyası əsas seçilir [6, s. 81-86; 62, s. 268-276].

Determinə olunmuş idarəetmə idarəetmənin ideal şərtlərini xarakterizə edir. Real halda isə həm idarə olunan obyektə, həm də ölçmə blokuna xarici maneələr təsir edir. Belə şəraitdə rabitə nəzəriyyəsində stoxastik idarəetmə sxemi təklif olunur (şəkl.1.6.3) [62, s. 268; 70, s. 276-277]. Burada idarə olunan sistemin verilmiş xarakteristikalarına və xarici maneələrin və ölçmə maneələrinin ehtimal xarakteristikalarına görə sistemin idarəetmə alqoritmi müəyyən olunur və bu alqoritm hesabına keyfiyyət kriteriyasının ekstremal qiyməti təklif olunur. Göründüyü kimi, bu halda idarəetmə sxemində və idarəetmə prosesində müəyyən mürəkkiblik yaransa da,



Şək. 1.6.3. Sistemlərin stoxastik idarəetmə sxemi



Şək. 1.6.4. Sıqnalın dinamik diapazonunun idarə olunması

bu hal reallığa daha uyğun sayıla bilər.

İdarəetmə metod və sxemlərinin yuxarıda yerinə yetirilən analizindən məlum olur ki, onlardan əlverişli olanının seçilməsi və idarəetmənin tətbiqi zamanı sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım və paylayıcı şəbəkələrinə qoyulan tələblər nəzərə alınmalıdır. Bu zaman təbii ki, ədəbiyyatlardan məlum olan sxemlərdə mühüm dəyişikliklərin yerinə yetirilməsi və telekommunikasiyada idarəetmə zamanı nəzərə alınmalı olan faktorların xüsusiyyətlərini əsas götürülməlidir. Bu isə artıq telekommunikasiyada operativ idarəetmə tapşırığıdır. Təklif olunmuş sxem əsasında kvantlanan giriş signalının (TV yayım parlaqlıq signalının) dinamik diapazonunun tənzimlənməsi sxemini tərtib edə bilərik. Bu məqsədlə kvantlayıcının maksimal kvantlama addımına bağlantı olmalıdır (şəkl.1.6.4).

Sxemə tənzim olunan söndürmə əmsallı attenuyatorun qoşulmasını təklif edirik. Baxılan sxemdə məhdudlama küylərinin gücünü ölçən sxem ölçmə bloku vəzifəsindədir. Lakin məhdudlama və kvantlama küylərinin gücünün spektri çox genişdir. Ona görə də bu gücün ölçülməsi traktında spektrin sıxılması sxemindən istifadə olunmasını təklif edirik. Bu məqsədlə məhdudlama küylərini ölçən blokdan əvvəl spektri sıxan sxem qoşuruq. Bu sxem ədəbiyyatlardan indiyə qədər məlum olan metodlardan biri üzrə spektrin sıxılmasını həyata keçirməlidir [46, s. 20-21; 88, s. 81-94; 106].

Gücün idarə olunması. CDMA sistemində güc daha dəqiq tənzim olunmalıdır, Çünki burada qarşılıqlı maneələr daha çoxdur. Bunun səbəbi ondadır ki, bu şəbəkələrdə bütün abonentlər eyni bir tezlik zolağında işləyirlər.

Canlandırma keyfiyyəti aydın və tələblərə uyğun olmalı, həm də güc lazım olandan çox olmamalıdır. Burada qarşılıqlı maneələr sistemin buraxma qabiliyyətinə ciddi təsir göstərir. Gücün tənzimlənməsi həm birbaşa kanal üzrə, həm də əks kanal üzrə aparıla bilər. Mobil qəbul şəraitində sönmələr, xarici maneələr və başqa təsiredici faktorlar fasiləsiz olaraq dəyişir. CDMA-da gücün tənzim olunması həm də “uzaq-yaxın” problemini həll etmək üçün lazımdır. Bu problem öz həllini tapdıqda bütün stansiyalar eyni gücdə olan signalı alırlar. Birbaşa kanal üzrə tənzimləmə BS-də həyata keçirilir. Əks kanalda interferensiyalar daha kritik olur.

Gücün tənzim olunması zamanı aşağıdakı parametrlərin tələb olunan qiymətlərinin təmin olunması nəzərdə tutulur:

1. Hər kadrda səhvlərin təkrar olunması tezliyi – FER (Frame Error Rate).
2. Bitlər üzrə səhvlər əmsalı – BER (Bit Error Ratio).
3. Əhatə zonasının təmini, veriliş sürəti, rabitənin kəsilmə tezliyi.

FER səhvlərlə qəbul olunan kadrın sayının ümumi qəbul olunan kadrın sayına olan nisbəti kimi tapılır. Bu parametr E_b/N_0 nisbətindən çox asılıdır.

Gücün qapalı tsikl üzrə tənzimlənməsi. Rabitə sistemlərində radiovericinin gücünün tənzimlənməsinin aşağıdakı iki üsulu tətbiq olunmaqdadır:

1. Gücün qapalı tsikl üzrə tənzimlənməsi.
2. Gücün açıq tsikl üzrə tənzimlənməsi.

Əks kanalda birinci metod tətbiq olunduqda gücün idarə olunmasında həm BS, həm də abonent stansiyası iştirak edir. BS-də E_b/N_0 nisbəti və ya siqnalın gücü ölçülür. Alınmış nəticə tələb olunan səviyyə ilə tutuşdurulur. Bundan sonra gücün idarə edilməsi komandası formalaşdırılır və o, birbaşa kanalla abonent stansiyasına verilir. Deməli, qapalı tsikl üzrə abonent vericisinin gücü idarə olunanda baza stansiyasında siqnalın gücü və ya gücə görə siqnal/küy nisbəti ölçülməlidir. İdarəetmə komandası BS tərəfindən formalaşdırılmalı, idarəetmə qanunu isə abonent stansiyasında formalaşdırılmalıdır. Göründüyü kimi, bu proseslərin məcmusu 1.6.4 sxemi üzrə aparılan tənzimlənməni əks etdirir. Lakin bu halda siqnalın dinamik diapazonu deyil, radiovericinin gücü tənzimlənir.

Gücün idarə olunması komandası formalaşdırılır və onun formalaşdırılması müddətində güc həm verilənlərə, həm pilot-siqnala, həm də sinxrosiqnala görə tənzim olunur. Gücün idarə olunma skalası müxtəlif ola bilər. Gücün ilkin qiymətinin ΔP qədər ya aşağıya, ya da yuxarıya dəyişdirilməsi ən sadə idarəetmə hesab olunur. Həm də sadə halda bir komanda ilə bu güc azaldılır: $P = P_0 - \Delta P$; digər komanda veriləndə isə bu güc artırılır: $P = P_0 + \Delta P$. Gücün daha mürəkkəb şkala üzrə tənzimlənməsi də tətbiq oluna bilər.

Deməli, gücün qapalı tsikl üzrə idarə olunması zamanı iki dövrədən istifadə olunur. Bunlardan biri xarici dövrədir. Xarici dövrə BS-də olur. Bu dövrənin vəzifəsi

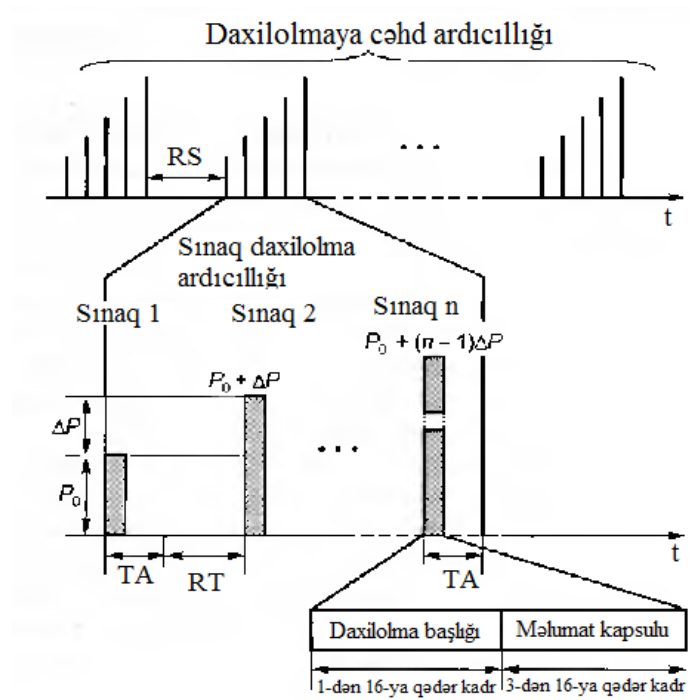
gücün səviyyəsini idarə etmək və bu səviyyəni idarə etmək üçün müvafiq komanda formalaşdırmaqdır. BS-də aparılan bu proseslərin – *SIR*-in (Signal to Interference Ratio – signal/maneə nisbəti) ölçülməsinə, abonent və BS-də signalın işlənməsinə, astananın təyininə və s. çevrilmələrə müəyyən qədər vaxt sərf olunur. Ona görə də bu metodda abonent stansiyasında ləngitmə dövrəsindən istifadə edilməlidir. Həmin ləngimə dövrəsi bu ləngiməni kompensasiya edir.

İkinci dövrə daxili dövrədir. Onun vəzifəsi idarəetmə qanunu formalaşdırmaq və onu həyata keçirməkdir. Göründüyü kimi, qapalı tsikl üzrə tənzimləmə sxematik olaraq daha mürəkkəbdir və daha dəqiqdir. Sonuncu onun CDMA-da geniş tətbiqinə yol açır.

Gücün açıq tsikl üzrə tənzimlənməsi. Açıq tsikl üzrə gücün tənzim olunması prosesi daha sadədir. Bu tənzimləmədə BS iştirak etmir. Bu metodda veriliş gücünü abonent stansiyası müəyyən edir. Müxtəlif BS-lərdən qəbul olunmuş siqnalların gücünü abonent stansiyası tərəfindən müəyyən olunur. Əgər qəbul olunan signalın gücü lazım olandan artıqdırsa, onda abonent stansiyasının gücü azalır və əksinə. Bu siqnalların tərkibində məlumat signalı və pilot-siqnallar ola bilər. Bu siqnalların hamısı seçilmiş tezlik zolağında verilir. Daxilolma cəhdi və daxilolma sınağı kimi iki prosesi bir birindən fərqləndirmək lazımdır. Güc açıq tsikl üzrə əks kanalda tənzim olunanda daxilolma cəhdi prosesi yerinə yetirilir. Daxilolma cəhdi prosesi hər hansı bir məlumatın verilməsi və gücün idarə olunması üçün cavabın alınması prosesinə deyilir. Açıq tsikl üzrə gücün idarə olunması zamanı daxilolma cəhdlər ardıcılığı şəkl. 1.6.5-də verilmişdir.

Bundan başqa, əks kanalda güc bu metodla, yəni açıq tsikl üzrə tənzim olunanda daxilolma cəhdi üzrə çağırışlar yerinə yetirilir. Daxilolma cəhdinin hər biri müəyyən sayda olur. Hər bir cəhddəki ayrı-ayrı göndəriş daxilolma sınağı adlanır. Hər bir sınaq iki hissədən ibarət olur: sınağın başlığı və məlumatın kapsulu (ikinci hissəsi).

Əslində ümumi halda birbaşa və əksinə kanalların vəziyyəti bir-birindən fərqli ola bilər. Lakin bu metodda bu iki kanalın vəziyyətinin eyni olduğu fərz olunur ki, bu da gücün açıq tsikl üzrə tənzimlənməsi metodunun qeyri dəqiq olduğunu şərtləndirən əsas səbəblərdən biri sayılır. Qəbul olunan signalın gücünün çox olması kanalda



Şək. 1.6.5. Açıq tsikl üzrə gücün idarə olunması zamanı daxilolma cəhdlər ardıcılığı

sönmələrin az olması, bu signalın gücünən az olması isə kanalda sönmələrin çox olması kimi qiymətləndirilir. Yəni düzünə kanalın vəziyyətinə görə əks kanal haqqında qərar qəbul olunur.

Abonent stansiyası BS-ə daxilolma kanalı üzrə müraciət edir (daxilolma cəhdi prosesi yerinə yetirilir). Sınaq müddətini T_s ilə işarə edək. Deməli, növbəti sınaq T_s müddətindən sonra edilə bilər.

Tutaq ki, radiovericinin gücü ən sadə halda ΔP qədər artırılır və ya azaldılır. Onda güc $P = P_0 + \Delta P$ ifadəsi ilə təyin oluna bilər. Gücün belə dəyişdirilməsi halında daxilolma parametrlərini müəyyən edirik:

- gücün başlanğıc qiyməti – P_0 ;
- gücün artırılma addımı – ΔP ;
- hər cəhddəki daxilolma sınaqlarının sayı n ;
- təsadüfi zaman (RT – Random Time)
- cəhdlər arasındakı intervallar (RS – Random Sequence);
- sınaqlara cavabların gözləmə müddəti (TA – Time Access).
- daxilolma kanalının nömrəsi;

Açıq tsikl üzrə abonent stansiyasının gücünün idarə olunması zamanı gücün cari qiyməti n -ci sınaqdan sonra belə təyin oluna bilər:

$$P = P_0 + \Delta P(n - 1) \quad (1.6.1)$$

Eyni zamanda müxtəlif abonent stansiyaları BS-ə müraciət edə bilər. Bu zaman konflikt vəziyyət yarana bilər. Bu, açıq tsikl üzrə radiovericinin gücünün idarə olunması metodunun ikinci nöqsanıdır. Bu metodun tətbiqi zamanı reaksiya müddəti adətən çox olur və həm də abonent stansiyası yalnız işlədiyi BS-in deyil, qonşu BS-lərin də güclərini cəmləyərək nəticə çıxarır. Bu göstərilənlər baxılan metodun başqa nöqsanları hesab oluna bilər.

Birbaşa kanalda gücün idarə olunması. Mobil rabitə sistemlərində birbaşa kanal dedikdə BS-dən abonent stansiyasına olan rabitə xətti nəzərdə tutulur. Birbaşa kanalda gücün idarə olunmasının məqsədi BS-dən abonent stansiyasına olan rabitə

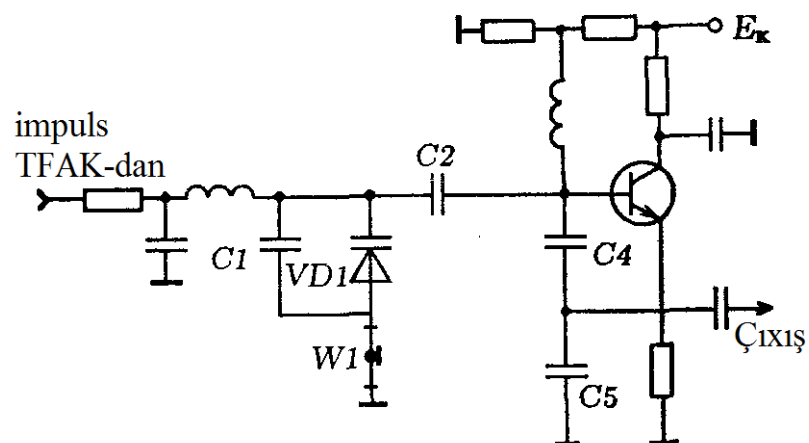
xəttində interferensiyaları azaltmaqdır. Bu sistemdə birbaşa kanal üzrə gücün tənzimlənməsi əks kanal üzrə gücün tənzimlənməsindən fərqlənir. Qeyd edək ki, bu kanal üzrə gücün tənzim olunması da böyük əhəmiyyət daşıyır. Belə ki, BS-nın gücü çox olanda o, həm də digər sektorlar üzrə maneə yaradır.

Burada qiymətləndirmə E_b/N_0 nisbətinə görə deyil, hər kadrdakı səhvlərin təkrar olunma tezliyinə görə aparılır. Gücün qiymətləndirilməsi də bu parametərə, yəni FER-ə görə aparılır. FER-lə E_b/N_0 nisbəti arasındakı asılılıq qeyri-xəttidir və dalğaların yayıldığı mühitin xarakteristikalarının dəyişməsindən asılı olur [109, s. 4].

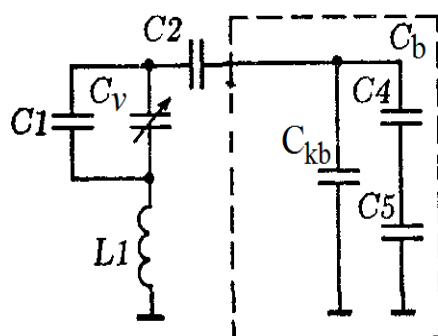
Qeyd etmək lazımdır ki, stasionar qəbul zamanı E_b/N_0 nisbəti yaxşı olur, çünki bu halda yalnız Qauss küyləri üstünlük təşkil edir. Mobil və səyyar qəbul zamanı səhvlər ehtimalı çoxalır və buna görə də hər kadrda səhvlərin baş verməsinin müəyyən olunma tezliyi artırılmalıdır. FER-in tələb olunan qiyməti ilkin qiymət olaraq qoyulur. Onun cari qiyməti ölçülür və tələb olunan qiymətlə müqayisə olunur. Səhvlər tələb olunandan azdırsa, onda taymer qoşulur, güc aşağıya dəyişdirilmir. Əgər FER səhvləri tələb olunandan çoxdursa, onda BS-in gücünü artırmaq üçün komanda verilir.

Gərginliklə idarə olunan generator. Bu idarəetmə sxemi rabitə texnikasında geniş istifadə olunur. İdarəetməni həyata keçirmək üçün çox əlverişli olan avtogenerated sxemindən istifadə olunur (şək.1.6.6). Adətən bu generatorlar tutum üçnöqtəli sxem üzrə qurulurlar. Avtogeneratedun sxeminə VD1 varikapı, kondensatorlar və koaksial kabel qoşulmuşdur. C1, C2, C4, C5 kondensatorları VD1 varikapı və W1 koaksial kabeli ilə birlikdə avtogeneratedun tezliyini müəyyən edir. Bundan başqa, dövrəyə köməkçi elementlər də qoşulur. Bu elementlər qida gərginliyinin verilməsi və radiotezliyə görə bloklamanı təmin etmək üçündür. İdarəedici gərginlik tezliyin fazaca avtomatik köklənməsinin (TFAK) impuls sxemindən verilir. Avtogeneratedun analizini aparmaq üçün onun ekvivalent sxemini qurmaq lazım gəlir. Şək. 1.6.7-də göstərilən avtogeneratedun konturunun ekvivalent sxemi verilmişdir.

Qısa qapanmış koaksial kabel və ya zolaq xətti olan W1 konturun induktivliyi rolunu oynayır. Bu generator sintezatorla idarə olunur (şəkildə göstərilməmişdir). Sintezatorun çıxış gərginliyi VD1 varikapına verilir və onun vasitəsilə konturun



Şək. 1.6.6. Gərginliklə idarə olunan generatorun prinsipial sxemi



Şəkil 1.6.7. Gərginliklə idarə olunan generatorun konturunun ekvivalent sxemi

tutumu dəyişdirilir. Varikapın maksimal və minimal tutumları aşağıdakı ifadələrlə müəyyən olunur []:

$$C_{vmaks} = \frac{C_0(E_\phi + E_0)^n}{(E_\phi + E_{min})^n}. \quad (1.6.2)$$

$$C_{vmin} = \frac{C_0(E_\phi + E_0)^n}{(E_\phi + E_{maks})^n}. \quad (1.6.3)$$

Burada $C_0 - E_0$ gərginliyi verildikdə varikapın nominal tutumu, E_ϕ – kontakt potensiallar fərqi, n – varikapın xarakteristikasının qüvvət üstü, E_{maks} və E_{min} – varikapa verilən maksimal və minimal gərginliklərdir.

Şək. 1.6.7-də C_{kb} – tranzistorun kollektor-baza tutumu, C_b – bölücü tutumdur. Varikapla ardıcıl olaraq kontura C_{rab} kondensatoru qoşula bilər və onun qiyməti hesabatdan alınır (şəkildə göstərilməmişdir). Bu zaman aşağıdakı ifadədən istifadə olunur:

$$\left(\frac{f_{maks}}{f_{min}}\right)^2 = \frac{C_{vmaks} + C_1}{C_{vmin} + C_1} \frac{C_{vmin} + C_1 + C_{rab}}{C_{vmaks} + C_1 + C_{rab}}. \quad (1.6.4)$$

Tranzistor işçi tezliyə və küylərin buraxıla bilən səviyyəsinə seçilir. Tranzistorun elektriki rejiminin hesabı amplitud balans şərtinin ödənilməsi nəzərə alınmaqla həyata keçirilir. Kaskadın yükünün ekvivalent müqavimətinə R_y görə tranzistorun sxemə qoşulma əmsalı hesablanır: $p_t = \sqrt{R_y / \rho Q}$, burada Q – konturun ekvivalent keyfiyyət əmsalı, ρ – konturun xarakteristik müqavimətidir.

1.7. İnteraktiv çoxkanallı yerüstü şanvari TV yayım şəbəkəsinin buraxma qabiliyyətinin artırılmasının ümumi yolları

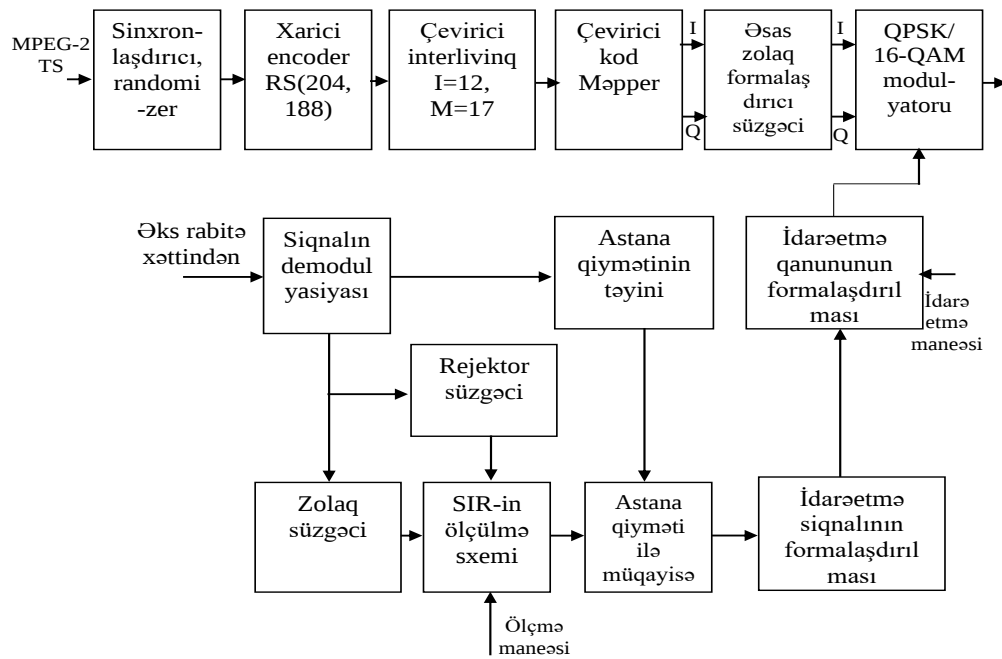
LMDS və MVDS sistemlərinin hər birində interaktivliyin tətbiq olunduğu artıq qeyd olunmuşdur. TV yayım şəbəkəsində tətbiq olunan sistemin parametrlərini, üstünlüklərini, nöqsanlarını və onların buraxma qabiliyyətinin artırılması imkanlarını

bilmək vacibdir.

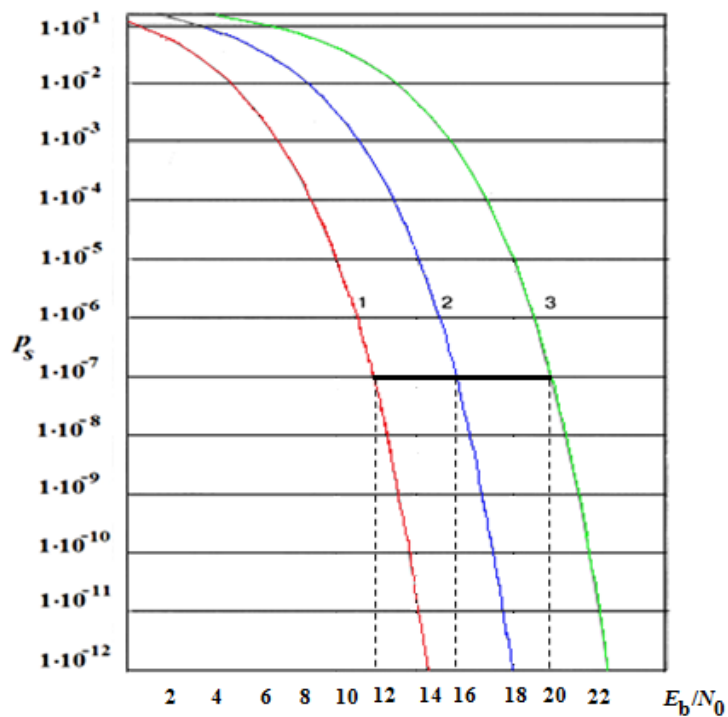
Yuxarda göstərilən idarəetmə sxemləri (şək. 1.6.3, şək. 1.6.4 və şək.1.6.6) və metodları interaktiv yerüstü TV yayım sistemlərində onların müxtəlif parametrlərini – buraxma zolağını, energetiki effektivliyini, gücünü, və s. tənzim etmək üçün istifadə oluna bilər. Bu parametrlərlə yanaşı baxılan idarəetmə sxemlərindən bəziləri rabitə kanalının vəziyyətindən asılı olaraq maneədayanılıqlığının verilmiş hədd daxilində saxlanması üçün istifadə oluna bilər. Bu zaman əks kanal vasitəsilə kanalın vəziyyəti qiymətləndirilə bilər. Səhvlər ehtimalının sabit saxlanması üçün signal/küy nisbətinə görə modulyasiya üsulunun seçilməsi və istismar müddəti ərzində dəyişdirilməsi müvafiq elmi-texniki ədəbiyyatlarda özünə yer almışdır. Təklif olunmuş metod və sxemləri ümumiləşdirərək, interaktiv yerüstü TV yayım sistemlərində modulyasiya üsulunun adaptiv dəyişdirilməsi sxemini təqdim edə bilərik (şək. 1.7.1) [51, s. 92, s.142; 56, s. 123; 111, s. 1077-1080].

Rəqəmli sistemlərdə maneədayanılıqlığını artırmaq üçün korreksiyaedici kodlama aparılır. Korreksiyaedici kodlama aparılan və aparılmayan hallarda səhvlər ehtimalının hesablanması üçün ifadələr ədəbiyyatlarda verilmişdir. Səhvlər ehtimalı h_b^2 energetiki parametrdən çox asılı olur. [2, s. 77-79; 51, s.142]. Şək.1.7.2-də verilmiş asılılıqlardan görünür ki, seçilmiş səhvlər ehtimalının təmin olunması müxtəlif modulyasiyalarda energetiki parametrdən müxtəlif qiymətlərində mümkündür. Məsələn, qrafikdə göstərilən səhvlər ehtimalı QPSK (Quadrature Phase Shift Keying – Kvadrat faza manipulyasiyası), 16-QAM və 64-QAM modulyasiyasında uyğun olaraq E_b/N_0 -ın 12, 16 və 20 qiymətlərində təmin oluna bilər. Belə çıxır ki, baxılan sistemdə lazımi maneədayanılıqlığının təmin olunması üçün radiovericinin gücünün artırılmasına ehtiyac olmaya bilər. Aydındır ki, bu zaman modulyasiya üsulu və veriliş sürəti dəyişəcəkdir – M -QAM modulysiyasının mövqelərinin sayı azaldıqca veriliş sürəti də azalır. Bu isə öz növbəsində energetiki parametrdən daha kiçik qiymətlərdə lazımi maneədayanılıqlığını təmin etməyə imkan verir.

Modulyasiya üsulunun adaptiv dəyişdirilməsi interaktiv sistemlərdə özünü doğrulda bilər. Belə sistemlərdə əks kanal üzrə kanalın vəziyyəti öyrənilərək



Şək. 1.7.1. LMDS sisteminin enmə xəttində stoxastik idarəetmə ilə modulyasiya üsulunun dəyişdirilməsi sxemi



Şək.1.7.2. Müxtəlif modulyasiyalar üçün səhvlər ehtimalının E_b/N_0 nisbətindən olan asılılıqları:

1 – QPSK; 2 – 16-QAM; 3 – 64-QAM.

qiymətləndirilə bilər. Bundan asılı olaraq, verici tərəfdə modulyasiya üsulunun seçilməsi və adaptiv dəyişdirilməsi haqqında komanda formalaşdırılmalıdır.

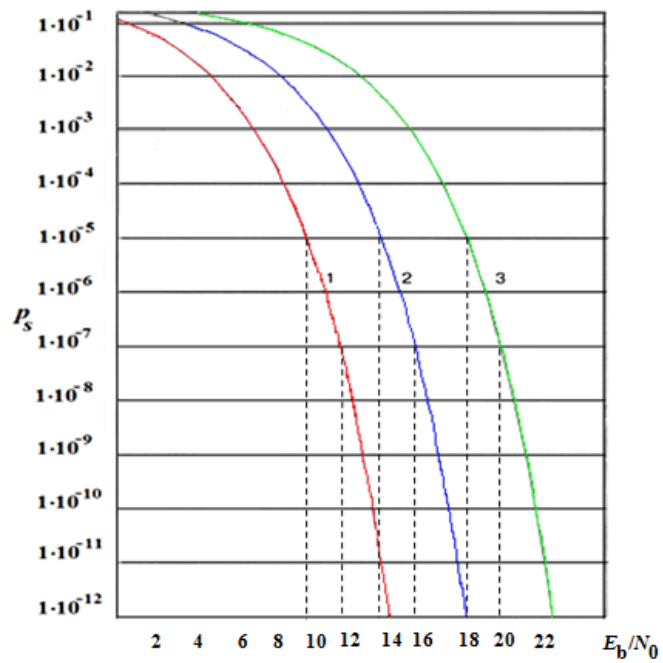
Qrafiklərdən görünür ki, E_b/N_0 nisbətinin böyük qiymətlərində 64-QAM modulyasiyası tətbiq oluna bilər. Lakin E_b/N_0 nisbətinin azalması ilə həmin modulyasiyada səhvlər ehtimalı artır. Energetiki parametrin sonrakı azalması ilə səhvlər ehtimalı buraxıla bilən həddə çatır. Bu zaman idarəetmə sistemi modulyasiya üsulunu dəyişərək onu məs., 16-QAM modulyasiyasına keçirir və sistemin maneədayanılıqlığı artır (yəni səhvlər ehtimalı azalır). E_b/N_0 nisbətinin sonrakı azalması ona gətirib çıxarır ki, əvvəlki proses təkrar olunur və nəhayət, QPSK modulyasiyasına keçilir.

Ədəbiyyatlarda M -QAM modulyasiyası üçün səhvlər ehtimalının hesablanması düsturu verilmişdir [2, s. 79; 111, s.1076].

Verilmiş ifadədən aydın olur ki, səhvlər ehtimalı QAM modulyasiyasının mövqelərinin sayından asılıdır və səhvlər funksiyası ilə təyin olunur və burada argument olaraq energetiki parametr götürülür (şək. 1.7.3). Məlum ifadədən istifadə etməklə səhvlər ehtimalının minimal həddi üçün E_b/N_0 nisbətinin tələb olunan qiyməti hesablanı bilər. Qrafiklərdən aydın olur ki, səhvlər ehtimalının kiçik qiymətlərində E_b/N_0 nisbətinin tələb olunan qiyməti çox yüksək olur, yəni bu halda səhvlər ehtimalının E_b/N_0 nisbətindən asılılığı daha sərtədir.

Səhvlər ehtimalının verilmiş qiymətində tələb olunan E_b/N_0 nisbətinin müəyyən edilməsi maraq doğurur. Səhvlər ehtimalının iki müxtəlif qiyməti üçün E_b/N_0 nisbətinin tələb olunan qiymətlərinin qrafiki olaraq təyin edilməsi qırıq xətlərlə göstərilmişdir (şək. 1.7.3-ə bax).

Qrafiklərdən görünür ki, E_b/N_0 nisbətinin qiyməti tətbiq olunan modulyasiyadan və səhvlər ehtimalının tələb olunan qiymətindən asılıdır. Bundan başqa, amplitud-faza modulyasiyası tətbiq olunduqda onun mövqelərinin sayı azaldıqca, E_b/N_0 nisbətinin tələb olunan qiyməti kəskin azalır. Ona görə də əks rəbitənin tətbiq olunduğu yerüstü çoxkanallı TV yayım və paylayıcı sistemlərdə modulyasiya üsulunun kanalın vəziyyətinə uyğun olaraq dəyişdirilməsinin tətbiq olunması sistemin maneədayanılıqlığı baxımından çox əhəmiyyətlidir.



Şək.1.7.3. Müxtəlif modulyasiyalarda səhvlər ehtimalının məlum qiyməti üçün E_b/N_0 nisbətinin astana qiymətlərinin tapılmasına dair :
 1 – QPSK; 2 – 16-QAM; 3 – 64-QAM.

Birinci fəsil üzrə nəticələr

Sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım və proqramların paylanması şəbəkələrində parametrlərin yaxşılaşdırılmasının spesifik xüsusiyyətləri vardır. Sadə yerüstü və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərində tətbiq olunan interaktivlikdən istifadə etməklə parametrlərin tənzimlənməsini asan və daha dəqiq həyata keçirmək olur. Hər bir rabitə və ya yayım sistemini layihələndirən zaman buraxma qabiliyyəti, veriliş sürəti, signal/maneə nisbəti, buraxma zolağı, spektral, energetiki və informasiya effektivlikləri arasında kompromisin seçilməsinə ehtiyac yaranır. Bundan başqa, digər mühüm parametrləri – məlumatın canlandırılma dəqiqliyi, rabitənin təsir uzaqlığı, rabitənin etibarlılığı, avadanlığın etibarlılığı, elektromaqnit birgəliyi, ekoloji birgəlik, avadanlığın dəyəri, ölçüləri və çəkisi də nəzərə alınmalıdır ki, onlar da bu və ya digər dərəcədə sistemin buraxma qabiliyyəti ilə əlaqədə olur.

İnteraktiv TV yayımının əks kanalında tələb olunan maneədayanıqlığı gücün tənzim olunması və ya modulyasiya üsulu və veriliş sürətinin adaptiv dəyişdirilməsi ilə təmin oluna bilər. Modulyasiya üsulunun adaptiv dəyişdirilməsi ilə energetiki parametrlərin daha kiçik qiymətlərində lazımi maneədayanıqlığını təmin oluna bilər. Bu zaman modulyasiya üsulu ilə yanaşı veriliş sürəti də dəyişəcəkdir.

Çoxkanallı TV sistemlərində formalaşdırılmış qrup TV yayım signalı mütləq mənada genişzolaqlı hesab edilir. Signalların genişzolaqlı olması qəbuledici-verici traktı keçid maneələrinin yaranmasına səbəb olur ki, bu da baxılan sistemdə buraxma qabiliyyətini məhdudlayan səbəblər sırasındadır.

Rəqəmsal TV yayımında istifadə olunan spektri kosinuskvadratik kəsilən elementar impulslarda sönmə əmsalının seçilməsi onların davamətmə müddəti və spektrinin eni ilə yanaşı sistemin spektral və energetiki effektivliyinə seçilmiş modulyasiya üsulundan asılı olaraq bu və ya digər dərəcədə təsir edir.

II FƏSİL. İNTERAKTİV YERÜSTÜ TV YAYIM SİSTEMLƏRİNDƏ QEYRİ-XƏTTİ EFFEKTLƏR NƏTİCƏSİNDƏ YARANAN TƏHRİFLƏRİN AZALDILMASI

2.1. İlkin qeydlər

Rəqəmsal TV yayımının üç standartı və bu standartlardan hər birinin müxtəlif variantları məlumdur. Hazırda dünya ölkələrinin böyük əksəriyyətində rəqəmsal TV yayımının müxtəlif standartları öz tətbiqini tapmışdır. Rəqəmsal TV yayımının tətbiqi bir sıra məlum üstünlüklərə yol açmış və ən başlıcası TV yayımında interaktivliyin daha asan tətbiq olunması imkanları əldə olunmuşdur [1, s. 138-141; 2, s. 64-99; 124]. İnteraktiv TV-də əks kanal müxtəlif cür – mövcud telefon şəbəkəsindən istifadə etməklə, radio rabitəsi və ya yeni kabel xətti üzrə qurula bilər. Dissertasiya işində mövzuya uyğun olaraq yalnız radio rabitəsi üzrə qurulmuş əks kanal tədqiq olunur. Belə əks kanal abonentlə TV mərkəzi arasında qurulur və bu kanal prinsipcə müxtəlif formada ola bilər. Yerüstü rəqəmli TV yayımında bu kanal üzrə rabitə birbaşa və ya hər hansı əlavə radio şəbəkəsi üzrə həyata keçirilə bilər [2, s. 27-31; 13, s. 1886-193; 78, s. 37-40].

Parametrlərin ən əlverişli olan qiymətlərini seçilməsi çox mühümdür. Qəbul məntəqəsində gücün tələb olunan qiyməti energetiki parametrlə müəyyən olunur. Bu parametr radiovericinin şüalanma gücü ilə yanaşı, radiodalğaların fəzada yayılması zamanı yaranan sönmələrdən, qəbul üsullarından və b. da asılıdır [7, s.2-24; 9, s. 106-109; 30, s. 434-478].

İnteraktiv TV yayım sisteminin əks kanalı bir rabitə sistemi olaraq öz xarakteristikaları və parametrləri ilə xarakterizə olunur. Rabitə sistemini xarakterizə edən əsas parametrlər məlumdur. Digər rabitə sistemləri kimi, burada da texniki effektivliklər, buraxma qabiliyyəti, mənəədayanılıqlığı və veriliş sürəti əsas keyfiyyət göstəriciləri hesab olunur. Həmin parametrlərin necə seçilməsindən asılı olaraq sistemin keyfiyyət göstəriciləri dəyişə bilər [52, s. 84-112]. Parametrlərin ən əlverişli

olan qiymətlərinin seçilməsi və lazım gəldikdə interaktivlikdən istifadə edərək tənzimlənməsi çox böyük əhəmiyyət daşıyır.

Lakin interaktiv yerüstü TV yayım sisteminin əks kanalının yalnız əlavə proqramların “çağırılması” üçün istifadəsi bu yayım sisteminin parametrlərinin yaxşılaşdırılmasına xidmət etmir. Bu əks kanal həm də ölçmə və tənzimləmə üçün istifadə olunmalıdır.

2.2. İnteraktiv yerüstü TV yayım sisteminin əks kanalının arxitekturasının seçilməsi

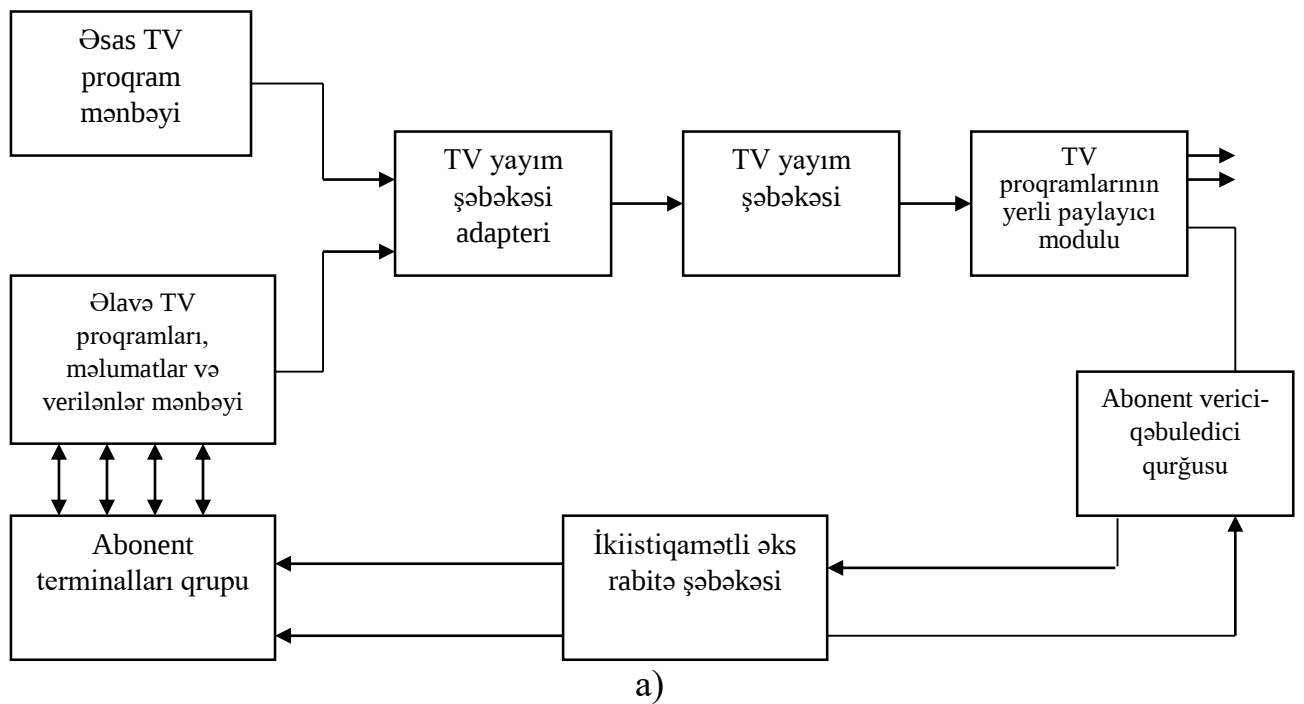
İnteraktiv yerüstü TV yayım sistemlərinin ümumiləşmiş struktur sxemləri birinci fəsildə verilmişdir (şəkil 1.2.1 və 1.2.3-ə bax). 1.2.3-dən görünür ki, sadə interaktiv yerüstü TV yayım sistemlərinin əks kanalı da müxtəlif cür (radio və ya naqillli rabitə kanalı kimi) qurula bilər.

Müxtəlif ədəbiyyatlarda verilmiş sxemləri ümumiləşdirərək, tərəfimizdən sadə interaktiv yerüstü TV yayım sisteminin struktur sxeminin bir variantı tərtib olunmuşdur. Şəkil 2.2.1-də tərtib olunmuş ikiistiqamətli interaktiv TV yayım sisteminin ümumiləşmiş funksional sxemi verilmişdir.

Verici tərəfdə əsas proqram mənbəyindən başqa digər məlumat mənbələri mövcuddur ki, tamaşaçı onlarda olan proqramları, verilənləri və b. əks kanal vasitəsilə “çağır” bilər. Sifariş olunmuş əlavə proqramlar seçilə bilməli və müvafiq komanda əsasında TV qəbuledicisinin ekranında canlandırılmalıdır. Bu məqsədlə hər bir abonent müvafiq terminalla təmin olunur.

İnteraktiv TV yayım sisteminin əks kanalının şanvari prinsiplə qurulması daha məqsədəuyğun hesab oluna bilər. Bu halda interaktiv TV yayımının abonenti seçdiyi və çox zaman ona ən yaxın olan BS ilə işləyir [33, s. 25-31; 82, s. 21-25; 93, s. 21-56; 114, s. 204-264].

Sxemdəki blokların məqsədi TV yayım sisteminin öz funksiyalarından irəli gəlir. Burada televiziya yayım şəbəkəsi vasitəsilə əsas televiziya proqramı verilir ki,



Şəkil 2.2.1. Radio əks rabitəli interaktiv yerüstü TV yayım sisteminin struktur sxemi

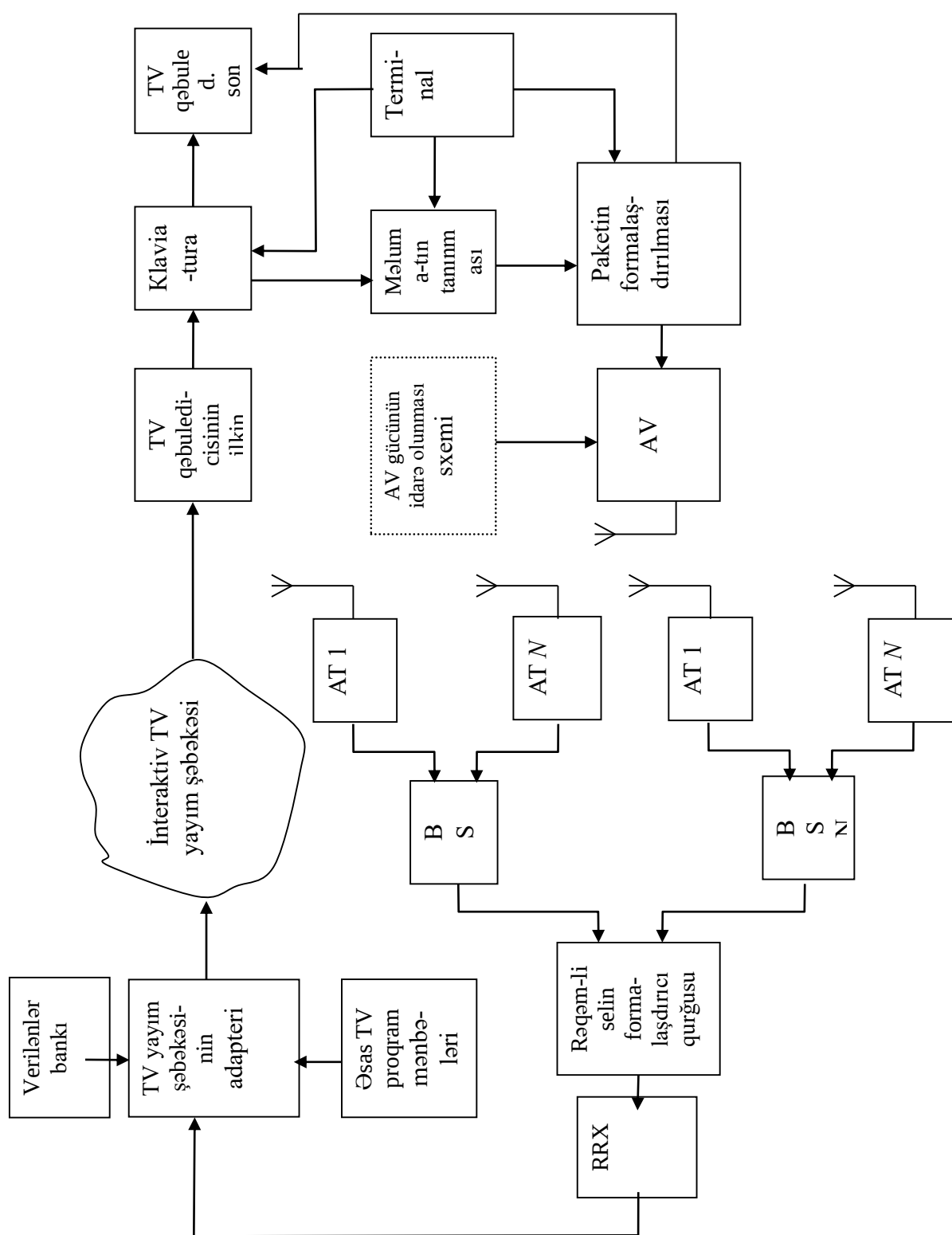
həmin şəbəkədə istifadə olunan blokların vəzifəsi artıq bəllidir. Əks kanal vasitəsilə izləyicilərin çağırış signalı verilir, yəni əks kanal üzrə interaktiv TV yayım abonenti TV verici mərkəzindən ona lazım olan məlumatları “çağırır”. İnteraktiv kanalın birbaşa kanalı üzrə bütün abonentlər üçün ümumi olan məlumatlar verilir və müvafiq terminalı olan bütün abonentlər bu məlumatları qəbul edərək işləyə bilər [100, s. 312-386; 126, 136].

Abonentlə TV verici mərkəzi arasında məsafə müxtəlif ola bilər. Məsafə böyük olduqda bu iki məntəqə arasında rabitənin təşkili məsələsi həll olunmalıdır. Şanvari prinsiplə qurulmuş radiorabitə şəbəkəsinin üstünlükləri bəllidir. Bu üstünlükləri əsas tutaraq, hər bir ölkə daxilində bütün ərazini əhatə edən bu radiorabitə şəbəkəsinin – interaktiv TV yayım sisteminin əks kanalının şanvari prinsiplə qurulmasını daha əlverişli hesab edirik. Aydındır ki, hər bir abonentin seçdiyi BS-ə qoşulması üçün onun TV qəbuledicisi həm də azgüclü abonent vericisi (AV) ilə təchiz edilməlidir [8, s. 54-59; 10, s. 138-143;].

Ədəbiyyatlarda verilmiş mülahizə və sxemlərdən istifadə edərək, əks kanalı şanvari prinsiplə qurulmuş interaktiv çoxfunksiyalı TV yayım sisteminin ümumiləşmiş struktur sxemini qura bilərik (şəkil 2.2.2). AV-nin şüalandırdığı signal abonent terminalının (AT) girişinə daxil olur. Çoxsaylı AT-nin qoşulduğu BS-lərin signalı radiorele xətti (RRX) vasitəsilə TV verici mərkəzə çatdırıla bilər. Televiziya yayım şəbəkəsi vasitəsilə əsas televiziya proqramı və əks kanallar vasitəsilə izləyicilərin tələb etdiyi digər proqram və ya əlavə məlumatlar ötürülür [24, s. 1-5; 28, s. 68]. İnteraktiv sistemin əks kanalı üzrə abonent TV mərkəzindən lazımi məlumatları tələb edə bilər. İnteraktiv kanalın birbaşa kanalı üzrə bütün abonentlər üçün ümumi olan məlumatlar verilir və müvafiq terminalı olan bütün abonentlər bu məlumatları qəbul edərək işləyə bilər [2, 27-31; 28, s. 68].

Bu rabitə sistemlərinin xüsusiyyətləri işlədiyi diapazon, burada tətbiq olunan modulyasiya üsulları, çoxstansiyalı girişin tipi ilə bağlıdır. Mobil rabitə sistemlərinin spektral, informasiya və energetiki effektivliklərinin, buraxma qabiliyyətinin və maneədayanıqlığının artırılması imkanları da hazırda tədqiqat mövzusu olaraq qalmaqdadır.

2.3 paraqrafında interaktivliyin tətbiq olunduğu LMDS və MVDS çoxkanallı TV yayım sistemlərində baş verən əsas proseslər araşdırılmış, bu proseslər nəticəsində



yaranan elmi-texniki problemlər müəyyən olunmuş və onların həllinin ümumi yolları göstərilmişdir. Qabaqcadan qeyd edək ki, bu elmi-texniki problemlərlə yerüstü sadə interaktiv TV yayım sistemlərində yaranan elmi-texniki problemlər arasında ciddi fərqlər vardır ki, bu fərqlər əsasən bu iki sistemin işlədiyi tezlik diapazonlarının və formalaşdırılmış siqnalın spektrinin eninin fərqli olması səbəblərindən yaranır.

2.3. Yerüstü interaktiv çoxkanallı TV yayım sistemlərində qarşıya çıxan əsas elmi-texniki problemlərin həllinin ümumi yolları

Yerüstü interaktiv çoxkanallı TV yayım sistemlərinin müvafiq elmi-texniki ədəbiyyatlarda verilmiş əsas xüsusiyyətlərinin təhlili, nəzəri və təcrübi nəticələrin tutuşdurulması bu sistemlərdə yaranan əsas elmi-texniki problemləri üzə çıxarmağa imkan vermişdir. Bu problemlərdən ən mühüm olanları 2.3.1 cədvəlində verilmişdir. Cədvəldən görünür ki, LMDS və MVDS çoxkanallı TV yayım sistemlərinin tətbiq olunduğu şanvari yerüstü genişzolaqlı radiodaxilolma şəbəkələrinin tətbiqi zamanı ciddi problemlər qarşıya çıxır. Bu problemlərdən ən əsaslarının aradan qaldırılması və ya əsaslı şəkildə və ya qismən azaldılması yollarını nəzərdən keçirək. Aparılan elmi təhlil və araşdırmalardan sonra bəlli olacaqdır ki, bu problemlər hamısı bir dissertasiya çərçivəsində öz həllini tapa bilməz. Ona görə də təqdim olunmuş bu dissertasiya işində yalnız onun müvzusunə uyğun olan problemlər önə çəkilmiş və onların həlli istiqamətində elmi tədqiqatlar davam etdirilmişdir.

İntermodulyasiya maneələrinin yaranması və zəif siqnalların güclü siqnallarla bloklanması. Tranzistorlarda baş verən fiziki proseslər bu qeyri-xətti təhriflərin yaranmasına səbəb olur və zəif siqnalların güclü siqnallarla bloklanması, intermodulyasiya maneələrinin baş verməsi, kaskadın çıxış gücünün azalması və amplitud-faza keçidləri formasında qarşıya çıxır [2, s. 40-62; 38, s.46-49; 90, s. 61-63; 133, s. 898-901; 149, s. 7-11]. Amplitud və faza-amplitud xarakteristikalarının qeyri-xəttiliyi əsasında həmin qeyri-xətti effektlərin səviyyəsi təyin edilir. Amplitud-faza

Cədvəl 2.3.1

**Yerüstü interaktiv çoxkanallı TV yayım sistemlərində
olan əsas problemlərin həllinin ümumi yolları**

Nö.Nö	Problemin adı	Yaranan effekt və ya maneələr	Görülməli olan elmi-texniki tədbirlərin ilkin versiyası
1.	Tezlik seçici təhriflərin yaranması	Müxtəlif alt daşıyıcı tezliklərdə sönmələrin və çökəkliklərin yaranması	OFDM modulyasiyasının tətbiqi, tezlik təşkilediciləri üzrə korreksiyalar, ekvalayzerdən istifadə edilməsi, siqnalın spektrinin genişləndirilməsi, nəzarət siqnalının daxil edilməsi, daha təkmil qəbul metodlarının tətbiqi.
2.	Radiodalğaların çoxşüəli yayılması	Radioqəbuledicinin girişində siqnalın korrelyasiya pikinin dəyişməsi, amplitudun, fazanın və düşmə bucağının dəyişməsi hesabına siqnalın sönməsi.	Siqnalın gücünün artırılması, paylanmış qəbul (rake-qəbuledicilərin tətbiqi), güclənmənin avtomatik tənzimi, müdafiə intervalının artırılması hesabına radioqəbuledicinin girişinin bloklanması, genişzolaqlı siqnallardan istifadə olunması, əks olunmuş dalğaların gücündən istifadə olunması.
3.	Radioqəbul-edicinin aktiv elementlərində, əsasən tranzistorlarda baş verən qeyri-xətti proseslər	Zəif siqnalların güclü siqnallarla bloklanması, amplitud-amplitud və amplitud-faza keçidləri formasında olan keçid maneələri və başqa intermodulyasiya maneələri	Korreksiya dövrlərindən istifadə olunması, rejimin seçilməsi.
4.	Şəbəkədəki BS-lərin sayının minimuma endirilməsi	Xidmət zonasında etibarlı qəbulun təmin edilməsi, “ölü” zonaların yaranması	“Buster”dən istifadə olunması, interaktivlikdən istifadə etməklə radiovericidə gücün tənzimləməsi və ya modulyasiya üsulunun adaptiv dəyişdirilməsi.
5.	Şəbəkədəki BS-lərin qarşılıqlı təsiri	Sistem daxili maneələrin yaranması	Şəbəkənin düzgün tezlik-ərazi planlaması, birbaşa kanalda gücün tənzim olunması.

keçidlərini yaradan digər bir mənbə tranzistorun dinamik giriş parametrlərinin (giriş tutumu və giriş müqavimətinin) ona tətbiq olunan oyadıcı və kollektor gərginliklərindən asılı olmasıdır. Praktikada genişzolaqlı gücləndiricilərdə yaranan qeyri-xətti effektlər hesabına baş vermiş təhrifləri qiymətləndirmək üçün kombinasiya təşkilediciləri sınaq signalları vasitəsilə təyin olunur.

Lakin bu qeyri-xətti təhrifləri yaradan mənbələri yox etmək mümkün olmur. Onları azaltmaq üçün korreksiya sxemlərindən istifadə etmək lazım gəlir. Bundan başqa, gücləndiricinin iş rejimini düzgün seçməklə belə qeyri-xətti təhrifləri azaltmaq mümkündür.

Tezlik-seçici təhriflərin baş verdiyi kanalda belə təhriflərin azaldılması məqsədilə müxtəlif tədbirlər görülür. Bu tədbirlər aşağıdakılardır:

1. Ekvalayzərdən istifadə edilməsi. Bu məqsədlə həlletmə üzrə əks rabitəli ekvalayzərlərdən və ardıcılığın maksimal oxşarlıq prinsipi üzrə qiymətləndirilməsi əsasında olan ekvalayzərlərdən istifadə oluna bilər [93, s. 68-178;].

Həlletmə üzrə əks rabitəli ekvalayzərlərdə hər simvolun enerjisinin koherent olaraq toplanması həyata keçirilir. Burada əvvəlki simvolların qalan enerji silinir, sonrakı simvolların yaratdığı simvollararası interferensiya məhsulları qiymətləndirilərək çıxılır.

Ardıcılığın maksimal oxşarlıq prinsipi üzrə qiymətləndirilməsi əsasında olan ekvalayzərlərdə (Viterbi ekvalayzərlərində) bütün verilənlər ardıcılığından ən ehtimallı olanı seçilir. Bunun üçün o, bütün mümkün ardıcılıqları yoxlayır və yüksək maneədayanılıqlı təmin edir [83, s. 293-297; s. 198-201].

2. Spektrin genişləndirilməsi. Onun iki metodundan biri işlədilərək bilər: birbaşa ardıcılıq metodu üzrə spektrin genişləndirilməsi və tezliyin sıçrayışla dəyişdirilməsi metodu ilə spektrin genişləndirilməsi. Birbaşa ardıcılıq metodu üzrə spektrin genişləndirilməsi zamanı maneələrin süzülməsi həyata keçirilir. Bu zaman həm də simvollararası interferensiya məhsulları süzülür ki, bu da onların səviyyəsini minimuma endirməyə imkan verir.

Tezliyin sıçrayışla dəyişdirilməsi metodu ilə spektrin genişləndirilməsi zamanı tezliyin sıçrayış sürəti simvol sürətindən az olmamalıdır. Radiovericinin daşıyıcı tezlik

zolağının dəyişməsilə maneələr baş vermir, çünki radioqəbuledicinin tezlik zolağının dəyişməsi çoxşüalı signal daxil oluncaya qədər baş verir.

3. OFDM tipli çoxtezlikli modulyasiyanın tətbiqi. Bu halda tezlik alt-daşıyıcıların sayı həddindən artıq çoxdur və ona görə də simvolların davamətmə müddətini artırmaq mümkün olur. Baxılan şəbəkələrdə tətbiq olunan LMDS sistemində OFDM modulyasiyasının işlədilməsi tezlik-seçici sönmələrin müəyyən qədər azaldılmasına imkan verir [53, s. 65-69; 98, s. 141-144; 104, s. 55-59; 118, s. 721-730].

4. Pilot-siqnaldan istifadə olunması. Bu siqnaldan istifadə etməklə koherent detektorlama həyata keçirilir. Pilot-signal kanalın vəziyyəti haqqında məlumat verməklə məlumatın canlandırma dəqiqliyinin artırılmasına kömək edir [2, s. 97-99; 5, s. 124; 36, s. 37-42; 71, s. 17-19].

Cədvəldən həm də aydın olur ki, BS-lərin radiovericilərinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan topoloji maneələrin də azaldılması istiqamətində elmi-texniki tədbirlər həyata keçirilməlidir. Çünki qurulmuş şəbəkədə BS-lərin radiovericilərinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan topoloji maneələrin də azaldılması mühüm əhəmiyyət daşıyır. BS-in koordinatlarının və onlardakı radiovericilərin güclərinin düzgün seçilməsi, tənzimlənməsi, modulyasiya üsulunun seçilməsi və lazım gəldikdə dəyişdirilməsi kimi məsələlər də həlli vacib olan məsələlərdir.

Hər bir sistem layihələndirilən zaman onun parametrlərinin optimallaşdırılması aparılır. Aydındır ki, layihələndirilən sistemin təyinatından asılı olaraq onun ayrı-ayrı parametrlərinin vacibliyi də müxtəlif olacaqdır. Ona görə də sistemin effektivliyinin qiymətləndirilməsi zamanı parametrlərin çəki əmsalından istifadə olunur. Qiymətləndirilən parametrlər texniki cəhətdən əhəmiyyətli olmalı, sistemi yaxşı xarakterizə etməli, effektiv olmalıdır. Effektivliyin qiymətləndirilməsi üçün aparılan hesablamalar praktiki olmalıdır. Praktikada sistemin xətti funksiyalarla qiymətləndirməsi daha çox tətbiq olunur [2, s. 35]:

$$Q = \sum_{i=1}^n \lambda_i \delta_i, \quad (2.3.1)$$

burada n – nəzərə alınan parametrlərin sayı, δ_i – nəzərə alınan i -ci parametr, λ_i – i -ci parametrin çəki əmsalıdır.

Əgər siqnalın bazasına məhdudiyyət qoyulmazsa, onda $P_k = N_0 \Delta f_b$ ifadəsindən istifadə etməklə yalnız “ağ” küyün təsiri nəzərə alınan kanalda buraxma qabiliyyətinin maksimal qiymətini tapa bilərik, burada P_k – küyün gücü, N_0 – küyün intensivliyi, Δf_b – tezlik buraxma zolağıdır. Bunun üçün tezlik zolağını genişləndirərək, $\Delta f_b \rightarrow \infty$ şərtində buraxma qabiliyyətinin maksimal qiymətini tapmaq mümkündür. Buraxma qabiliyyətinin qrafikini quraraq əmin ola bilərik ki, belə kanalda bu kəmiyyət $\Delta f_b = P_s/N_0$ olduqda öz maksimal qiymətinin 70%-ni alır, burada P_s – siqnalın gücüdür [69, s. 21-23]. Tezlik zolağının sonrakı artımı ilə kanalın buraxma qabiliyyəti çox yavaş artır. Ona görə də rabitə və yayım sistemlərini layihələndirən zaman onlara qoyulan tələbləri əsas tutaraq, parametrlərin seçilməsi üzrə kompromis həll axtarılmalıdır [9, s. 106-108; 21, s. 57-60; 69, s. 20-24].

Rəqəmli rabitə sistemlərində veriliş sürətinin də əhəmiyyəti böyükdür. Veriliş sürəti vahid zamanda verilən məlumat miqdarıdır. Energetiki effektivlik tələb olunan siqnal/maneə nisbətində veriliş sürətini xarakterizə edir. Deməli, energetiki effektivliyi artırmaq üçün bir tərəfdən veriliş sürətini artırmaq, digər tərəfdən isə tələb olunan siqnal/maneə nisbətini azaltmaq tələb olunur. Qeyd edək ki, bu iki parametrin yaxşılaşdırılmasının çoxlu mümkün yolları vardır [2, s. 64-97; 14, s. 149-152].

Veriliş sürəti bəzən öz nisbi qiyməti ilə verilmiş olur. Xüsusi veriliş sürəti vahid tezlik zolağına hesablanmış veriliş sürətidir [2, s. 18]. Məlumdur ki, eyni kod sürətində xüsusi veriliş sürəti 64-QAM-da 16-QAM-a nisbətən 1,5 dəfə, 16-QAM-da QPSK-ya nisbətən iki dəfə artıq olur [2, s. 19]. Bu mülahizələrdən aydın olur ki, bu parametrlərin düzgün seçilməsilə sistemin energetiki effektivliyini artırmaq mümkündür.

Lakin modulyasiya üsulunun xüsusi veriliş sürətindən başqa, stansiyaların əhatə zonasının ölçülərinə təsiri vardır. Bu isə öz növbəsində şəbəkənin özündə yaranan maneələrin səviyyəsinə təsir göstərə bilər. Ona görə də modulyasiya üsulunun düzgün seçilməsi də buraxma qabiliyyətini artırmağa imkan verir.

Rəqəmli veriliş sistemlərində mənbənin kodlanmasından başqa, kanal kodlanması da yerinə yetirilir. Maneədayanılığını artırmaq üçün kanal kodlanması zamanı maneədayanlıq kodlama aparılır. Bu zaman hər bir korreksiyaedici kod kombinasiyası məlumat simvollarından və yoxlayıcı simvollarından ibarət olur. Bu isə veriliş sürətinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Veriliş sürətinin nə dərəcədə aşağı düşməsi kod məsafəsindən asılıdır. Rabitə sistemlərində maneələr çox zaman paket formasında yaranır. Eyni kod kombinasiyasında çoxsaylı səhvlərin korreksiya olunması üçün böyük kod məsafəsi tələb olunur. Ona görə də rəqəmli TV-də xarici və daxili qarışdırmadan istifadə olunur [51, s. 173-174; s. 356-359; 56, s. 150-152]. Bu isə səhvlərin dekorrelyasiyasını həyata keçirməyə imkan verir.

LMDS və MVDS sistemləri sm-lik və mm-lik diapazonda işləyirlər və bu diapazonda efiəndə kənar maneələr demək olar ki, olmur. Ona görə də bu sistemlərin buraxma qabiliyyətinin artırılması sistemin özünün yaratdığı maneələrin azaldılmasına gətirilir. Həmin maneələr sırasına siqnalın genişzolaqlı olması ilə əlaqədar olaraq verici-qəbuledici traktı yaranan amplitud-amplitud və amplitud-faza keçidlərinin yaranması, digər cərpaz maneələr, siqnalların bloklanması və bu sistemlərin tətbiq olunduğu şəbəkənin topologiyası ilə bağlı olan maneələrdir [90, s. 61-64; 97, s. 96-115].

Göründüyü kimi, ümumi halda sistemin keyfiyyət göstəricilərini əks etdirən bütün parametrlərin eyni zamanda yaxşılaşdırılması mümkün olmur. Ona görə də hər bir sistem və verilmiş qəbul şərtləri üçün bu parametrlərin mümkün əlverişli qiymətləri seçilməlidir.

Bu paraqrafın əsas məqsədi adı çəkilən sistemlərin tətbiqi zamanı onların buraxma qabiliyyəti ilə texniki effektivlikləri arasında kompromisin seçilməsidir.

Bu qiymətləndirməni interaktiv TV yayım sistemlərində işlədilən LMDS və MVDS sistemləri üçün aparaq. Tərəfimizdən bu iki sistemin iş prinsipi araşdırılmış və onları xarakterizə edən əsas parametrlər üzə çıxarılmışdır. 2.3.2 cədvəlində bu iki sistemi xarakterizə edən əsas parametrlər verilmiş, onlar öz aralarında və ümumiyyətlə, yüksək tezlikdə işləyən rabitə sistemləri ilə müqayisə olunmuşdur. Bu cədvəldə həm də hər iki sistemin üstünlükləri göstərilmişdir.

Cədvəl 2.3.2

Yerüstü interaktiv çoxkanallı TV yayım sistemlərinin əsas göstəriciləri

Nö.№	LMDS sistemi	MVDS sistemi
1.	İfrat yüksək tezliklərdə və Kənar yüksək tezliklərdə (27,5...31,3 QHs – sm-lik və mm-lik dalğaların böyük uzunluqlu hissəsi) işləyir	Kənar yüksək tezliklərdə (40,2...42,5 QHs –mm-lik dalğalar) işləyir
2.	Tezlik buraxma zolağı genişdir (1...2 QHs)	Tezlik buraxma zolağı çox genişdir (2 QHs)
3.	İkinci pillə modulyasiya kimi çoxtezlikli modulyasiya üsulu tətbiq olunur (16-QAM /QPSK)-OFDM	QAM (kabel TV); QPSK (peyk TV) modulyasiya üsulları tətbiq olunur.
4.	Məlumatın məxfiliyi təmin oluna bilər.	Məlumatın məxfiliyi təmin oluna bilər.
5.	Veriliş sürəti kifayət qədər yüksəkdir.	Veriliş sürəti çox yüksəkdir.
6.	Naqilsiz rabitə sistemidir. Rabitə xətti kimi kabellərdən istifadə olunmaması onlara çəkilən xərclərin aradan qalxmasına səbəb olur.	Naqilsiz rabitə sistemidir. Rabitə xətti kimi kabellərdən istifadə olunmaması onlara çəkilən xərclərin aradan qalxmasına səbəb olur.
7.	Əlavə avadanlıq işlətmədən abonentlərin yerini dəyişmək olur.	Əlavə avadanlıq işlətmədən abonentlərin yerini dəyişmək olur.
8.	Şəbəkənin qurulması çox qısa zamanda yerinə yetirilə bilər.	Şəbəkənin qurulması çox qısa zamanda yerinə yetirilə bilər.
9.	Şəbəkənin qurulması ucuz başa gəlir. Böyük xərclər işlətmədən bu şəbəkə genişləndirilə və ya daraldıla bilər.	Şəbəkənin qurulması sadədir, tez başa gəlir və nisbətən ucuzdur. Böyük xərclər sərf etmədən genişləndirilə və ya daraldıla bilər.
10.	Efirdən çoxkanallı televiziya siqnallarının qəbulu mümkündür.	Efirdən çoxkanallı televiziya siqnallarının qəbulu mümkündür.
11.	Retranslyatorlardan istifadə etməklə əhatə zonası genişləndirilə bilər. Bu retranslyatorlar passiv və ya aktiv ola bilər.	Retranslyatorlardan istifadə etməklə əhatə zonası genişləndirilə bilər. Bu retranslyatorlar passiv və ya aktiv ola bilər.
12.	Ekoloji cəhətdən demək olar ki, təhlükəsizdir, çünki zəif siqnalları işləyir.	Ekoloji cəhətdən təhlükəsizdir, çünki çox zəif siqnalları işləyir.

Göstərilən parametrlər üzrə çəki əmsalının təyin olunması sistemin geniş tədqiqindən sonra aparıla bilər. Göründüyü kimi baxılan sistemləri xarakterizə edən parametrlər kifayət qədərdir və onlardan hər birinin analiz olunması geniş tədqiqatların aparılmasını tələb edir. Burada yalnız baxılan sistemlərin buraxma qabiliyyəti və onunla bağlı olan parametrlərin qiymətləndirilməsi yerinə yetiriləcəkdir. Sistemin buraxma qabiliyyətinin spektral, energetiki və informasiya effektivliklərindən və onlarla bağlı olan digər parametrlərdən (siqnal/maneə nisbəti, informasiya miqdarı, veriliş sürəti, tezlik buraxma zolağı) nə dərəcədə asılı olmasını tədqiq edək.

2.4. İnteraktiv rəqəmsal TV yayım sistemində buraxma qabiliyyəti, energetiki effektivlik və spektral effektivlik arasında kompromisin seçilməsi

Sistemin buraxma qabiliyyəti Şennon düsturu ilə təyin oluna bilər. Müxtəlif kanallar üçün bu düsturun şəkildəyişmələri Şennon tərəfindən verilmişdir. Şennon düsturu universaldır və bu düsturda yuxarıda adları çəkilən parametrlərin əksəriyyəti birbaşa və ya dolayısı ilə iştirak edir. Nəzəri olaraq kanalın buraxma qabiliyyətinə bərabər olan veriliş sürəti təmin etmək mümkündür. Elə kodlama metodlarından istifadə etmək olar ki, bu zaman buraxma qabiliyyətinin nəzəri qiymətinə yaxın buraxma qabiliyyəti təmin olunsun.

Additiv maneələr təsir edən kanal üçün kanalın buraxma qabiliyyətini təyin edən məlum Şennon düsturundan istifadə edək [52, s.110; 69, s. 20]:

$$C = \Delta f_b \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_k} \right), \quad \text{bit/s}, \quad (2.4.1)$$

burada $C/\Delta f_b$ – nisbəti maksimal xüsusi sürətini ifadə edir [2, s. 20].

Rabitə sisteminin energetiki effektivliyi də öz növbəsində sistemin çox vacib parametri olmaqla yanaşı, onun bir sıra digər parametrləri ilə sıx əlaqəlidir və energetiki effektivliyin dəyişməsi sistemin digər parametrlərinə də ciddi şəkildə təsir edir [140, s. 55-59; 145, s. 41-45]. Bu parametr telekommunikasiya üzrə elmi-texniki

ədəbiyyatlarda təhlil olunmuş, onun ifadəsi müəyyən olunmuş və müxtəlif tip parametrlərlə əlaqəsi aydınlaşdırılmışdır [22, s. 47-49; 33, s. 25-30; 68, s. 43-44; 85, s. 48-52; 89, s. 22-24; 128, s. 4404-4411]. Yuxarıda qeyd olunan üç effektivlik arasında analitik ifadə (1.3.6 düsturu) və fasiləsiz kanalda energetiki effektivliklə spektral effektivlik arasında Şennon sərhəddi ədəbiyyatlarda verilmişdir (şəkil 1.4.1) [52, s. 256; s. 258]. Energetiki effektivliyi müəyyən edən göstəricilərdən biri radiovericinin gücüdür.

Energetiki effektivliklə spektral effektivlik arasında asılılıq spektri kosinuskvadratik kəsilən elementar impulslarda sönmə əmsalının müxtəlif qiymətləri üçün göstərilmişdir. Spektral effektivliyin artması energetiki effektivliyin azalmasına səbəb olur. Spektrin genişlənməsi veriliş sürətini artırmağa imkan verir, lakin küylərin səviyyəsinin artmasına səbəb olur. Rabitə sistemlərinin spektrindən tam istifadə edilməsi də vacib məsələdir. Bunu qiymətləndirmək üçün Naykvist zolağı Δf_N anlayışından istifadə edirlər ki, bu zolağın təmin olunması məqsədilə razılaşdırılmış süzgəcləmə tətbiq olunur [51, s.133-135; 69, s. 20-23]. Bu zaman küy zolağı Naykvist zolağına bərabər olur.

Bəzən energetiki effektivliyi qiymətləndirmək üçün siqnalın gücünü və maneələrin səviyyəsini ayrı-ayrılıqda deyil, siqnal/maneə nisbətini birbaşa olaraq qiymətləndirirlər. Siqnal/maneə nisbətinin yüksəldilməsinin müxtəlif imkanları vardır. Hər bir bitin enerjisini artırmaqla siqnal/maneə nisbətini artırmaq olar.

Rabitə kanalının enini siqnalın spektrinə uyğunlaşdırmaq lazım gəlir. Rabitə kanalının enini belə hesablayırıq [2, s. 21]:

$$\Delta f_b = \Delta f_N(1 + \alpha_1), \quad (2.4.2)$$

burada α_1 – sönmə əmsalıdır.

Sönmə əmsalının böyük seçilməsi spektrin genişlənməsinə, kiçik seçilməsi isə elementar impulsların davamətmə müddətinin artmasına səbəb olur. Bu isə onların formalaşdırılması üçün daha mürəkkəb süzgəclərdən istifadə olunmasını tələb edir. $\alpha_1=0$ olarsa, onda Naykvist elementar impulslarının davamətmə müddəti sonsuz olacaqdır. Bu zaman elementar impulslar $\sin c(\omega t)$ formalı və $\Delta f_b = \Delta f_N$ olacaqdır.

Bu halda $\varepsilon = \varepsilon_0 / (1 + \alpha_1)$ ifadəsindən istifadə edərək $\varepsilon = \varepsilon_0$ olduğunu tapırıq, burada ε_0 – potensial spektral effektivlikdir. Sönmə əmsalının artırılması spektral effektivliyin azalmasına səbəb olur. Ona görə də müvafiq təcrübələr vasitəsilə hər bir rabitə sistemi üçün sönmə əmsalının kompromis qiymətinin seçilməsi zərurəti yaranır. Ədəbiyyatlarda verilmiş “göz” diaqramından istifadə edərək deyə bilərik ki, TV yayımında sönmə əmsalının $\alpha_1 = 0,15 \dots 0,35$ arasında seçilməsi əlverişli sayıla bilər (IV fəslə bax).

2.5. Rəqəmsal TV-də səhvlər ehtimalının signal/küy nisbətindən asılılığı əsasında maneədayanqlı kodlamanın energetiki effektivliyə təsirinin təyini

Rabitə sisteminin energetiki effektivliyinin onun çox vacib parametri olduğunu və sistemin bir sıra digər parametrləri ilə sıx əlaqəli olduğunu əsas tutaraq, onun dəyişməsinin bəzi digər parametrlərinə nə dərəcədə ciddi təsir etdiyini daha ətraflı araşdıraraq. Energetiki effektivliyi müəyyən edən göstəricilərdən biri vericinin gücüdür. Energetiki effektivlik dedikdə tələb olunan signal/maneə nisbətindəki veriliş sürəti başa düşülməlidir. Ona görə də energetiki effektivliyi qiymətləndirmək üçün signalın gücünü və maneələrin səviyyəsini ayrı-ayrılıqda deyil, signal/maneə nisbətini birbaşa olaraq qiymətləndirmək məqsədəuyğun hesab oluna bilər. Energetiki effektivliyin ifadəsindən aydın olur ki, onu artırmaq üçün veriliş sürəti artırılmalıdır. Digər tərəfdən verilmiş veriliş sürətinin təmin olunması üçün minimal tələb olunan signal/maneə nisbəti azaldılmalıdır.

Kodlama ilə energetiki effektivlik arasında əlaqəni araşdırmaq maraq doğurur. Yalnız küylərin təsiri nəzərə alınan kanalda bu əlaqəni araşdırılması daha sadədir. Küyün P_k və signal daşıyıcısının P_d gücünü əsas götürərək. Maneədayanqlı kodlama zamanı məlumatın real veriliş sürəti aşağı düşür. Çünki bu zaman signalın tərkibində məlumat simvolları ilə yanaşı yoxlayıcı simvollar da verilir. Lakin sistemin maneədayanqlılığı artır. Bu artım işlədilən maneədayanqlı (korreksiyaedici) kodun

korreksiya qabiliyyətindən, bu isə öz növbəsində kod məsafəsindən asılı olur. Bundan başqa, kodun xüsusiyyəti də rol oynayır. Bəzi kodlar həm də səhvlərin dekorrelyasiyasını həyata keçirir. Məlumdur ki, rabitə sistemlərində adətən səhvlər paket formasında baş verir. Eyni zamanda səhvlərin dekorrelyasiyasını və korreksiyasını həyata keçirən kodlar daha böyük maneədayanıqlığı təmin edə bilər.

Rəqəmli selin ilkin veriliş sürəti R_{RS} sabit qalarsa, onda informasiya simvollarının veriliş sürəti R_{inf} kod sürəti R dəfə azalır. Ona görə də informasiya simvollarının veriliş sürətini əvvəlki kimi saxlamaq üçün ya spektr kod sürəti dəfə artırılmalı, ya da M-QAM modulyasiyasının mövqelər sayı çoxaldılmalıdır. Telekommunikasiya nəzəriyyəsində bunun dəqiq qiymətləndirilməsi üçün kodlamanın energetiki qazancı (üstünlüyü) (KEQ) və ya məhsuldarlıq qazancı anlayışlarından istifadə edilir.

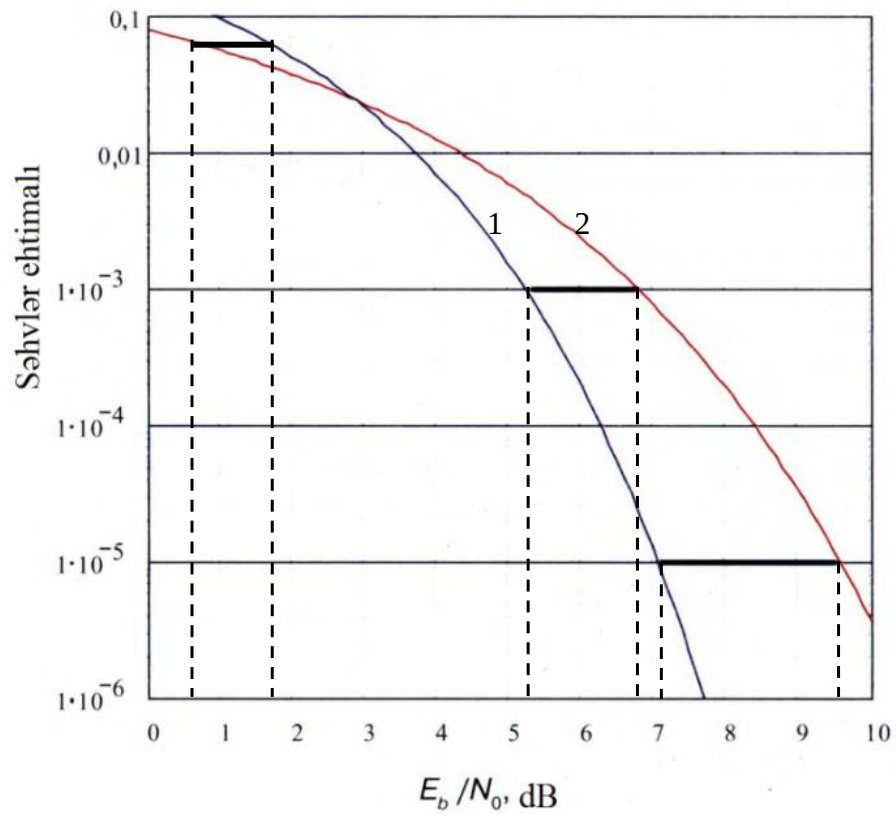
Baxılan kanalda maneədayanıqlı kodlama tətbiq edildikdə aşağıdakı məlum ifadədən istifadə edək [51, s.92]:

$$\frac{P_d}{P_k} = \frac{E_b}{N_0} - 10 \lg \frac{1}{R}, \quad (2.5.1)$$

burada $\frac{P_d}{P_k}$ və $\frac{E_b}{N_0}$ nisbətləri dB ilə ifadə olunmuşdur.

Şəkildə səhvlər ehtimalının signal/küy nisbətindən asılılıqları maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduğu və olunmadığı iki hal üçün verilmişdir (şəkil 2.5.1) [51, s. 92]. Verilmiş qrafiklərdən istifadə edərək asanlıqla hesablamaq olar ki, maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda səhvlər ehtimalının tələb olunan qiyməti E_b/N_0 nisbətinin daha kiçik qiymətlərində təmin oluna bilər. Bu, həm də tətbiq olunan modulyasiya üsulundan və korreksiyaedici kodun korreksiya qabiliyyətindən asılıdır. Şəkil 2.5.1-də 1 əyrisi faza modulyasiyası və RS kodu üçün, 2 əyrisi isə faza modulyasiyası və korreksiyaedici kod tətbiq olunmayan hal üçün qurulmuşdur.

Şəkildən görünür ki, maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda $p_s = 1 \cdot 10^{-5}$ səhvlər ehtimalı kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə E_b/N_0 nisbətinin 2,5 dB az qiymətində, $p_s = 1 \cdot 10^{-3}$ səhvlər ehtimalı isə həmin nisbətə 1,6 dB az qiymətində təmin oluna bilər. Digər tərəfdən, maneədayanıqlı kodlama tətbiq



Şəkil 2.5.1. Səhvlər ehtimalının signal/küy nisbətindən asılılığı əsasında kodlamanın energetiki effektivliyə təsirinin təyininə dair

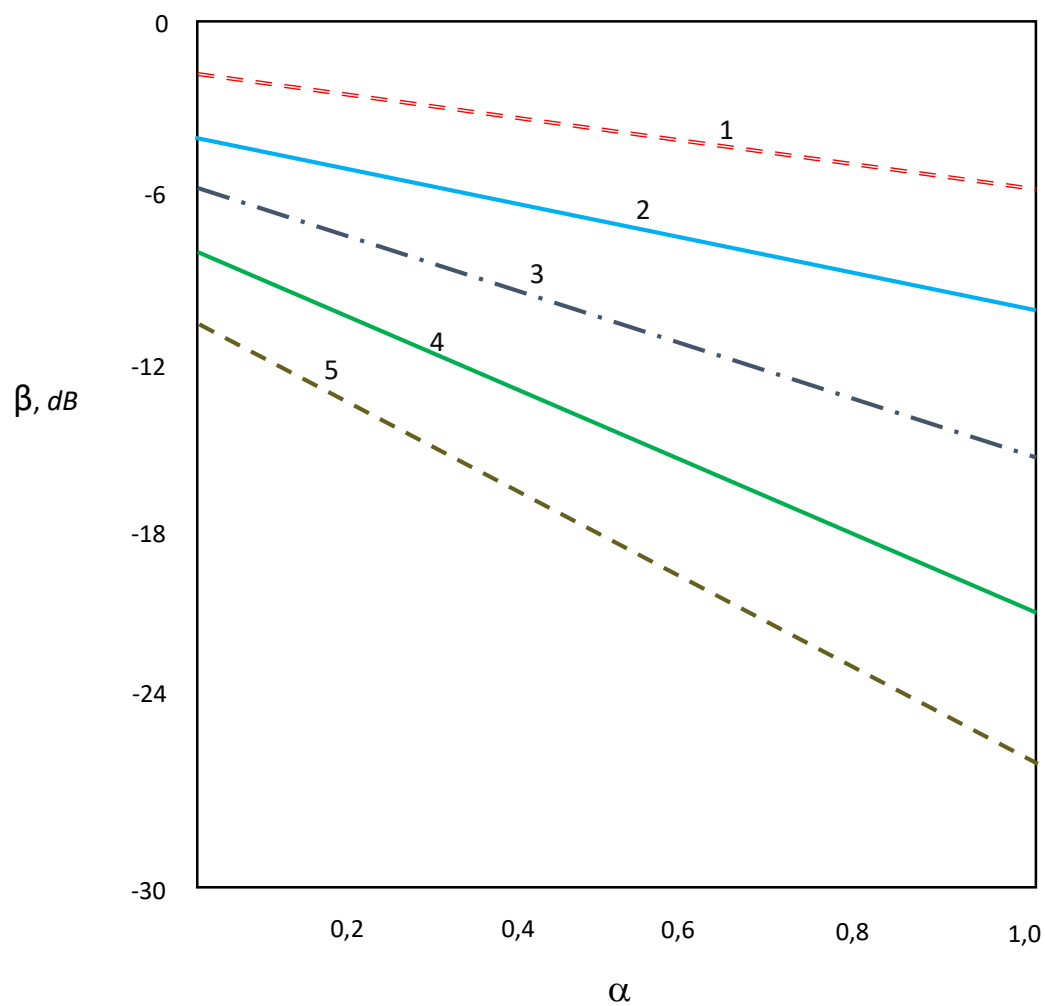
olunduqda səhvlər ehtimalının $p_s = 2 \cdot 10^{-1}$ qiymətində E_b/N_0 nisbətinin tələb olunan qiyməti 1 dB artıq olur. Bu onunla izah olunur ki, çox kiçik E_b/N_0 nisbətində səhvlər ehtimalı artaraq $p_s = 2 \cdot 10^{-1}$ və daha yüksək olur. E_b/N_0 nisbətinin çox kiçik olması bitin enerjisinin küyün intensivliyinə (küyün vahid tezlik zolağına düşən gücünə) yaxınlaşması kimi qəbul olunmalıdır.

Telekommunikasiya nəzəriyyəsində elektriki sistem və dövrlərin analizi üçün ideal olaraq sabit intensivlikli normal paylanma qanunu ilə müəyyən olunan “Ağ” Qauss küyündən geniş istifadə olunur. Lakin praktikada küyün intensivliyi ən yuxarı tezliklərə qədər tam sabit olmur, ən yuxarı tezliklərdə küyün intensivliyi tədricən bir qədər azalmağa başlayır. Hər iki halda E_b/N_0 nisbətinin çox azalmasını bitin enerjisinin azalması kimi qəbul edirik. Bu enerjinin küylər səviyyəsinə qədər azalması zamanı maneədayanıqlı kodlamanın tətbiqi ilə bitin enerjisi daha da azalır (ümumi güc informasiya və yoxlayıcı simvollar arasında paylanır) və ona görə də bu zaman maneədayanıqlı kodlama effektiv olmur.

Qeyd edək ki, energetiki effektivliyin və signal/maneə nisbətinin yaxşılaşdırılmasının çoxlu yolları mümkündür. Bu nisbətinin yüksəldilməsinin müxtəlif imkanları radiotexnika üzrə olan elmi-texniki ədəbiyyatlarda təhlil olunmuş və onun müxtəlif tip parametrlərlə əlaqəsi aydınlaşdırılmışdır. Hər bir bitin enerjisini artırmaqla signal/maneə nisbətini artırmaq olar [158, s. 435-437]. Bütün mümkün metodların əhatə olunmasının çətinliyini nəzərə alaraq, burada ən mühümlərini nəzərdən keçirəcəyik.

Nəzəri olaraq kanalın buraxma qabiliyyətinə bərabər olan veriliş sürəti təmin etmək mümkündür. Elə kodlama metodlarından istifadə etmək olar ki, bu zaman buraxma qabiliyyətinin nəzəri qiymətinə yaxın buraxma qabiliyyəti təmin olunar.

1.4 paraqrafında energetiki effektivliyin spektral effektivlikdən asılılığı göstərilmişdir (şək. 1.4.1). Səhvlər ehtimalının signal/küy nisbətindən asılılığından istifadə etməklə verilmiş səhvlər ehtimalı üçün KEQ əmsalı hesablanı bilər. Əvvəlcə spektral effektivliyin fiksə olunmuş qiymətlərində energetiki effektivliyin spektri kosinuskvadratik formada kəsilən elementar impulsların söndürmə əmsalından asılı olaraq dəyişməsinə tədqiq edək (şək. 2.5.2).



Şək. 2.5.2. Spektral effektivliyin bit/s-Hs-lə ölçülən qiymətləri üçün energetiki effektivliyin söndürmə əmsalından asılılığı:

1. $\varepsilon = 0,8$; 2. $\varepsilon = 1$; 3. $\varepsilon = 1,2$; 4. $\varepsilon = 1,4$; 5. $\varepsilon = 1,6$.

Şəkildən aydın olur ki, spektri kosinuskvadratik kəsilmən elementar impulslarda sönmə əmsalının qiyməti artdıqca energetiki effektivlik azalır. Bu, onunla əlaqədardır ki, sönmə əmsalı artdıqca elementar impulsların spektri daha geniş olur (1.4.7 ifadəsinə bax) və ona görə də küylərin gücü artır. Bu isə siqnal/küy nisbətinin azalmasına səbəb olur.

Rabitə və ya yayım sisteminin informasiya, spektral və energetiki effektivlikləri arasındakı riyazi asılılıq 1.4 paragrafında çıxarılmışdır (şək. 1.4.1). Razılaşmış süzgəcləmə üçün $P_k = N_0 \Delta f_N$ ifadəsindən istifadə edək. Onda yalnız additiv maneələrin təsiri nəzərə alınan kanal üçün kanalın buraxma qabiliyyətini təyin edən məlum Şennon düsturundan istifadə edərək yaza bilərik:

$$C = \Delta f_N \log(1 + P_s/N_0 \Delta f_N). \quad (2.5.2)$$

Bu halda rabitə kanalı potensial veriliş sürəti təmin edir: $C = R$. Onda 2.5.2 ifadəsini aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\frac{R}{\Delta f_N} = \log(1 + P_s/N_0 \Delta f_N). \quad (2.5.3)$$

(1.3.3), (1.3.4), (1.3.6) və (2.5.3)-ü nəzərə almaqla razılaşmış süzgəcləmə üçün tapırıq:

$$\varepsilon = \frac{1}{E_b/N_0 \Delta f_N} (2^{(1+E_b R/N_0 \Delta f_N)} - 1). \quad (2.5.4)$$

(2.5.3) və (2.5.4) ifadələri spektral effektivlik, məxsusi veriliş sürəti və energetiki effektivlik arasında analitik əlaqəni göstərir.

QPSK və M-QAM modulyasiyalarında koherent qəbul şəraitində maneədayanıqlığının təmin olunması üçün siqnal/küy nisbətinin tələb olunan səviyyəsinin və məxsusi veriliş sürətinin hesablanmış qiymətləri cədvəl 2.5.1-də verilmişdir.

Cədvəldən görünür ki, gücün sabit qiymətində modulyasiya üsulunun dəyişməsi maneədayanıqlığına ciddi təsir edir. Məs., E_b/N_0 nisbəti təxminən 1,8 dəfə azaldıqda

belə, eyni bir səhvlər ehtimalının ($p_s = 1 \cdot 10^{-5}$) təmin olunması üçün gücü dəyişmədən 64-QAM modulyasiyasından QPSK-ya keçmək kifayətdir.

Mülahizələrdən aydın olur ki, sönmələr şəraitində maneədayanıqlığının təmin olunması üçün gücün artırılması və ya veriliş sürətinin azaldılması eyni dərəcədə effektivdir. İkinci halda bu məqsədlə dərin və ya zəif sönmələrdən asılı olaraq bir modulyasiya üsulundan digərinə keçə bilərik [4, s. 1-4; 6, s. 81-86; 36, s. 37-45; 77, s. 81-86]. Sönmələrin səviyyəsinin məsafəyə görə deyil, əks kanal üzrə verilə bilən pilot-

Cədvəl 2.5.1.

Interaktiv TV yayım kanalında koherent qəbul şəraitində signal/küy nisbətinin və məxsusi veriliş sürətinin qiymətləri

	Signal/küy nisbəti E_b/N_0		Məxsusi veriliş sürəti, bit.s ⁻¹ /Hz	
	Səhvlər ehtimalı $p=10^{-5}$	Səhvlər ehtimalı $p=10^{-7}$	RS =3/4	RS=7/8
QPSK	9,2	12	0,93	1,09
16-QAM	13,4	16	1,87	2,18
64-QAM	18	20	2,80	3,27

signalın səviyyəsinə görə qiymətləndirilməsi daha dəqiq nəticələr verir [12]. Deməli, bu halda abonentə pilot-signal göndərilməlidir. Ona görə də ikitərəfli interaktivliyin tətbiqi rabitə sistemində müəyyən mürəkkəblilik yaratsa da, idarəetmənin daha dəqiq yerinə yetirilməsi üçün vacibdir.

2.6. TV yayım signalının analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yaranan qeyri-xətli təhriflərin azaldılması metodlarının müqayisəli təhlili

Rəqəmli TV yayımının tətbiqi bu sistemin imkanlarını əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirmişdir. Əslində TV yayım sistemi tam rəqəmli deyil [117, s. 1965-1971;

127, s. 562-567; 132, s.453-459; 2]. Hətta yük əlaqəli cihazlar üzərində olan TV kameraları analoq formalı təsvir signalını yaradırlar. Bundan başqa, rabitə kanalının tezlik buraxma zolağı məhdud olur ki, bu zolaqdan istifadə etməklə Π -şəkilli impulsları ümumiyyətlə ötürmək mümkün deyil. Çünki belə impulsların tezlik spektrində tezliyi çox yüksək olan təşkiledicilər olur. Ona görə də, elementar impulslar olaraq çox zaman seçilmiş impulslardan istifadə olunur. Onlar arasında ən çox istifadə olunanı Naykvistin birinci və ya həm birinci, həm də ikinci şərtini ödəyən $\sin x/x$ formalı impulsların şəkildəyişmələridir [144, s. 33-36]. Qeyd edək ki, rəqəmli TV yayımında istifadə olunan rəqəmli signalılar isə sadəcə rəqəmli signalılar deyil, rəqəmli TV yayım standartına uyğun olan rəqəmli paketlərdir. Elementar impulslar vasitəsilə DVB və İSDB sistemlərində M-QAM modulyasiyası, daha sonra OFDM və ya COFDM modulyasiyası yerinə yetirilir ki, nəticədə rabitə kanalı doğrudan da analoq formada olur [120, s. 1253-1256; 121, s. 19-23; 130, s. 1405-1411; 152, s. 1458-1462].

Rəqəmli TV yayımı sistemlərində TV mərkəzindən daxil olan videosingnal analoq singaldır. TV mərkəzində formalaşdırılmış analoq təsvir signalı rəqəmliyə çevirilməlidir. Ona görə də bu signal əvvəlcə kodlayıcıya verilir və onun üzərində tələb olunan əməliyyatlar aparılır. TV vericisində formalaşdırıldıqdan sonra rəqəmli TV yayım signalı efirə şüalandırılır. Radioqəbuledicinin aldığı analoq signal əks ardıcılıqla aparılan əks əməliyyatlar hesabına yenidən rəqəmliyə çevirilir. Sonra onun üzərində lazımi əməliyyatlar aparılır. Son nəticə olaraq alınmış rəqəmli signal analoq signala çevirilib “signal-ışığı” çeviricisinə verilir. Bu mülahizələrə əsaslanaraq əmin olmaq olur ki, elektronikanın hətta gələcək inkişaf səviyyələrində də TV yayım sistemi hibrid xarakterli olacaqdır.

Rəqəmsal TV yayımı bəlli üstünlüklərlə yanaşı, nöqsanlardan da azad deyil. TV verici mərkəzində formalaşdırılan TV təsvir signalı kodlayıcıda rəqəmsal TV yayım radiosignalına çevrilir. İlkin təsvir signalının rəqəmli TV yayım signalına çevrilməsi üçün onun müvafiq alqoritm üzrə işlənməsi tələb olunur. Rəqəmli TV yayımında videosingnalın kompressiyası (sıxılması) üçün tətbiq olunan MPEG (Moving Picture Expert Group – Hərəkətli təsvirlər üzrə ekspert qrupu), DV (Digital Video – Rəqəmli video), DVC PRO və b. alqoritmlər ilkin təsvir signalında məxsusi təhriflər yaradırlar.

Videosiqnalın sıxılması müxtəlif alqoritmlər üzrə həyata keçirilsə də, ən əvvəl analoq-rəqəm çevrilməsi yerinə yetirilir ki, burada zamana görə diskretləşdirmə, kvantlama və kodlama kimi üç mühüm əməliyyat aparılır. Daxil edilən bu təhriflər bitlər üzrə səhvlər, makroblokda olan səhvlər, ümumi vektor səhvləri, sahələrin düşüb itmələri və ya təkrarları, "yalan" sinxronlaşma, dekoderdə taktların pozulması, zaman fluktuasiyaları ("jitter") və b. şəkildə özlərini göstərirlər [48, s. 588-598; 141, s. 325-330].

Analoq siqnalın rəqəmli siqnala çevrilməsi zamanı sonsuz sayda məlumatın sonlu sayda məlumatla əvəz olunması ilə əlaqədar olaraq yerinə yetirilən məlumatın ixtisarlari elə aparılmalıdır ki, ötürülən məlumatda ciddi keyfiyyət dəyişikliyi olmasın [3, s. 32-39]. Ölkəmizdə həm yerüstü, həm də peyk TV yayımında MPEG-4 alqoritmi tətbiq olunmaqdadır. MPEG alqoritminin çox versiyası işlənmiş və onlardan hər birinin iş prinsipi və sxemi müvafiq ədəbiyyatlarda verilmişdir [48, s. 325-327; 56, s. 39-101]. MPEG-4 alqoritmində də ilkin olaraq analoq-rəqəm çevrilməsi tətbiq olunur. Bu əməliyyat qeyri-xətti təhriflərlə müşayiət olunur (əməliyyatın tərkib hissələri olan diskretləşdirmə və kvantlama əməliyyatların hər biri bəlli olan təhriflər yaradır).

Qeyd edək ki, analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı diskretləşdirmə və kvantlamanın yerinə yetirilmə ardıcılığı dəyişdirilərsə, nəticə dəyişməyəcəkdir [52, s. 19-21]. Siqnalın zamana görə diskretləşdirilməsi diskretləşdirmə teoremi əsasında həyata keçirilir. Siqnalın kvantlanması müxtəlif metodları bəllidir. Analoq-rəqəm çevrilməsi aparılan siqnalın paylanma qanunu bəlli olduqda qeyri-xətti təhriflərin səviyyəsini müəyyən edə bilərik. Bu cür təhriflərin səviyyəsinin azaldılması təsvirin keyfiyyətinin yüksəldilməsi nöqtəyi nəzərindən maraq doğurur.

TV yayım siqnalının rəqəmli kodlanması üçün ITU-nun (International Telecommunication Union – Beynəlxalq Telekomunikasiya İttifaqı) ITU-R BT.601 tövsiyələri beynəlxalq standart kimi əsas götürülmüşdür [154]. Bu standarta görə TV siqnalının komponentləri – yəni parlaqlıq və iki rəng-fərq siqnalı ayrı-ayrılıqda kodlanırlar. Diskretləşdirmə tezliyinin artırılması siqnal/küy nisbətinin yüksəlməsinə, verilməli olan simvolların sayının artmasına və tezlik spektrinin genişlənməsinə səbəb olur. TV yayımında parlaqlıq siqnalının diskretləşdirmə tezliyi 13,5 MHs olur, yəni

tezlik zolağı tələb olunandan artıq olur [122, s. 858-861; 146, s. 562-576; 151, s. 37-42]. Ona görə də müxtəlif sıxılma alqoritmlərindən istifadə etməklə videosiğnalın zolağını analoq TV-dəki zolaqla eyniləşdirmək tələb olunur.

Analoq-rəqəm çevrilməsi əməliyyatının tərkib hissəsi olan kvantlama əməliyyatı (yəni analoq siğnalın səviyyəyə görə diskretləşdirilməsi) kvantlanan siğnalın spektrində yeni tezlik təşkiledicilərinin yaranmasına və deməli, qeyri-xətti təhriflərə səbəb olur, siğnal/küy nisbəti azalır və rabitə (yayım) kanalının buraxma qabiliyyəti aşağı düşür. Kvantlama küylərinin azaldılması və yayım kanalından istifadə effektivliyinin artırılması metodları tədqiq olunmuşdur [16, s. 124-130; 20, s. 13-15; 72, s. 20-22; 73, s. 22-24; 123, s. 1167-1174]. CCIR-ın (Consultative Committee on International Radio – Beynəlxalq Radio üzrə Məsləhət Komitəsi) 601-ci tövsiyəsinə görə 4:2:2 və ya 4:2:0 formatları istifadə oluna bilər [5, s. 80-81]. Bu tövsiyyəyə görə standart sistemin siğnal təşkilediciləri YUV ilə işarə olunur, burada Y – parlaqlıq, UV – rənglilik təşkilediciləridir.

Beləliklə, TV rəqəmli yayımında siğnalın analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı əsas diqqət parlaqlıq siğnalının kvantlanmasına verilməlidir. İnsan gözünün parlaqlıq siğnalının dəyişməsinə həssaslığı kvantlama zamanı yaranan dəyişikliyin canlanmış təsvirdə insan gözü tərəfindən aşkar olunmasına və deməli, təsvirin canlandırılmasında qüsurların üzə çıxmasına səbəb olur.

2.7. TV yayım siğnalı kvantlayıcısının rejiminin kvantlama küylərinin səviyyələrinə uyğunlaşdırılması

Rəqəmsal TV yayım sisteminin manedayanlığı ümumilikdə yüksək olsa da, siğnalın analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yaranan qeyri-xətti təhriflər hesabına bu maneədayanlığı bir qədər azalmış olur. [72, s. 20-22].

Telekommunikasiya texnikasında işlənən kvantlayıcılar bir-birindən müxtəlif göstəriciləri ilə fərqlənir. Kvantlamanın parametrlərini düzgün seçməklə kvantlama küylərinin səviyyəsini azaltmağa çalışırlar. Kvantlama addımı sabit və ya dəyişən ola

bilər. Kvantlamanın qiymətləndirmə səviyyələrinin sayının artması kod sözlərinin dərəcəsinin artmasına səbəb olur. Lakin bu halda signal daha dəqiq verilə bilər. Kvantlama addımı dəyişən olduqda kvantlama astanası kvantlamanın ilkin verilmə addımı qədər sürüşdürülür. Lakin yayım sistemlərində daha sadə kvantlamanın işlədilməsi məqsədəuyğun hesab olunur [74, s. 20-25]. Optimal kvantlamada kvantlama şkalası kvantlanan signalın ehtimal sıxlığına uyğun seçilir.

TV yayım texnikasında, rənglilik signalları ilə müqayisədə, parlaqlıq signalının kvantlaması zamanı yaranan təhriflərin səviyyəsinə daha sərt tələb qoyulur. Loqarifmik kvantlama şkalası seçilir və kvantlama səviyyələrinin sayı parlaqlıq signalı üçün çox, rənglilik signalları üçün isə daha az seçilir [3, s. 28-30, s. 64-69]. Rəqəmli TV sistemlərdə rənglilik signallarının da hər biri ayrı-ayrılıqda kodlanır. İnsan gözünün xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla, rənglilik signallarının kvantlanma səviyyələrinin sayı azaldıla bilər. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, yaşıl signalın kvantlanması 128, qırmızı signalın kvantlanması 64, göy rəngin kvantlanması isə 32 səviyyə ilə məhdudlana bilər. Aydınır ki, kvantlama səviyyələrinin belə məhdudlanması kod sözlərinin uzunluğunu əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa imkan verir [3, s. 32-39; 143, s. 5298-5308].

Analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı sonsuz məlumatdan sonlu məlumat formalaşdırılır ki, bu prosesin özünün qabaqcadan bəlli təhriflərlə müşayiət olunması labüddür. Diskretləşmə və kvantlama küyləri kimi dəyərləndirilən bu təhriflərin səviyyəsi həm də kvantlayıcının icazə verilən diapazonundan və kvantlanan signalın dinamik diapazonundan asılı olur. Kvantlama zamanı ilkin signalda bilərəkdən təhriflər yaradılır ki, əslində sonsuz miqdarda olan məlumat sonlu miqdar məlumata çevrilsin. Bu təhriflər ilkin signalın tərkibinə yeni tezlik təşkilediciləri daxil edir. Signalın səviyyəyə görə diskretləşdirilməsi (kvantlanması) ilə bağlı yaranan küylər, onların təsvirlərin canlandırılma keyfiyyətinə təsiri müvafiq elmi-texniki ədəbiyyatlarda analiz olunmuşdur.

Analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı istifadə olunan kvantlayıcının kvantlama xarakteristikasını üç oblasta bölmək olar. Bundan asılı olaraq yaranan kvantlama küylərini də bir birindən fərqləndirirlər [69, s. 38-41; 141, s. 549-550]. Bu küylər boş

kanal küylərinə, kvantlama küylərinə və məhdudlama küylərinə bölünür [17, s. 89-91; 142, s. 325-332]. Onlardan hər birinin payı və signal/maneə nisbətində təsiri müəyyən olunmalıdır. Bu küylər arasında birincisi kiçik siqnallar oblastına uyğun olan küylərdir. Kvantlanan siqnalın səviyyəsi birinci kvantlama addımından kiçik olduqda kvantlama kiçik siqnallar oblastına aid edilir [3, s. 42-49].

Əgər kvantlayıcının girişinə onun icazə verilən səviyyəsindən aşağı olan signal verilərsə, onda yenə də küylər yarana bilər. Bu halda iki variant mümkündür. Kvantlayıcının xarakteristikasının sıfır nöqtəsinin seçilməsindən asılı olaraq kvantlayıcının çıxışında ya sıfır, ya da kvantlamanın birinci qiymətləndirmə səviyyəsinə uyğun hesablardan ibarət diskret ardıcılıq formalaşdırılır. Bu cür impulsar ardıcılığı hətta kvantlayıcının girişində kvantlanan signal sıfır bərabər olduqda belə istilik küyləri, şəbəkənin alçaq tezlikli fonu və ya bu fonun harmonikaları hesabına da yarana bilər.

Kvantlayıcının işçi nöqtəsinin qeyri-stabilliyi nəticəsində də kvantlanan siqnalın səviyyəsi birinci kvantlama astanasından kiçik olduğu hallarda kvantlayıcının çıxışında birinci kvantlama səviyyəsinin qiymətinə uyğun çıxış siqnalı yarana bilər. Giriş siqnalına görə sıfırın dreyfi də susma rejimində küylər yaradır ki, bunlar da psosometrik küylər adlanır. Hətta müasir stabilləşdirici tədbirlər də bu nöqtəni tam olaraq stabil saxlaya bilmir və ona görə də sıfırın dreyfi, zamana görə diskretləşdirmə momentlərinin fluktuasiyası analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı əlavə küylər yaradır.

Əgər M_y icazə verilən kvantlama səviyyəli və Δ kvantlama addımlı kvantlayıcının girişinə $-M_y\Delta/2$ -dən $+M_y\Delta/2$ -yə qədər oblastda olan signal verilərsə, onda siqnalın kvantlanması yerinə yetirilir və bu oblast kvantlama küyləri ilə xarakterizə olunur.

Əgər kvantlayıcının girişinə verilən siqnalın səviyyəsi kvantlayıcının icazə verilən səviyyəsindən artıq olarsa, onda siqnalın maksimal icazə verilən səviyyədən artıq olan qiymətlərində kvantlayıcının çıxışında maksimal kvantlama səviyyəsinə uyğun signal alınır. Bu zaman yaranan əlavə küylər məhdudlama və ya ifrat yüklənmə küyləri adlanır [3, s. 62-69; 15, s. 44-47; 16, s. 124-130]

Qeyd edək ki, bu üç tip küyün öz xarakterik xüsusiyyətləri vardır. Lakin ümumi

halda, kvantlanan siqnalın səviyyəsindən asılı olaraq, bu küylər bu və ya digər dərəcədə üzə çıxıa bilər. Hesablamalar göstərir ki, məhdudlama əmsalının qiymətindən asılı olaraq məhdudlama küylərinin səviyyəsi kvantlama küylərinin səviyyəsi ilə müqayisə olunan və hətta ondan dəfələrlə artıq ola bilər [19, s. 47-52].

Qeyd edək ki, kvantlama küylərinin səviyyəsi onların gücü, energetiki spektri G_ϵ və ya intensivliyi, yəni $u_{gir} - U_n$ fərqi kimi qiymətləndirilə bilər, burada u_{gir} – kvantlanan giriş gərginliyi, U_n – kvantlamanın n -ci qiymətləndirmə səviyyəsidir. Hər üç verilmə üsulu eyni dərəcədə istifadə oluna bilər. Çox zaman birinci üsul daha əlverişli hesab olunur. Çünki sistemdə yaranan başqa küylər də öz gücləri ilə xarakterizə olunur. Ona görə də kvantlama küylərinin səviyyəsinin başqa küylərin səviyyəsi ilə müqayisəsi onların güclərinin müqayisəsinə gətirilir. Məs., əgər siqnalın gücü verilmişsə, gücə görə siqnal/maneə nisbətini hesablamaq və deməli, kvantlama küylərini öz gücü ilə xarakterizə etmək daha əlverişlidir.

2.8. TV yayım parlaqlıq siqnalının analoq-rəqəm çevrilməsində yaranan kvantlama küylərinin səviyyələrinin nəzəri qiymətləndirilməsi

Analoq-rəqəm çevrilməsi üçün rəqəmsal TV yayımında müxtəlif kvantlayıcılardan istifadə olunur. Onların sintezini apararaq, kvantlama parametrlərini təyin etmək mümkündür [3, s. 28-32; 19, s. 47-52; 25, s. 16-21]. Dəyişən kvantlama addımı ilə hədləri idarə etmək üçün kvantlayıcıda müxtəlif üsullarla formalaşan dəyərlər istifadə olunur. Dəyişən kvantlama addımını tətbiq edərkən bütün kvantlayıcı hədlər proqnozlaşdırılan kvantlama dəyərində bərabər olan miqdar dəyişdirilir.

Maks və Dite–Pantera kvantlayıcılarında kvantlama zamanı siqnalın statistik parametrləri nəzərə alınır və kvantlama şkalası bu parametrlərə görə seçilir [141, 549-557; 142, s. 325-331]. Maks kvantlayıcısında kvantlama astanası elə seçilir ki, kvantlama küylərinin gücü minimal olsun. Dite–Pantera kvantlayıcısında $\sum_{n=-N}^N w(u_n) \Delta u_n^3(u_{gir}) = const$ cəmi minimallaşdırılır.

Kvantlama küylərinin səviyyəsi kvantlama səviyyələrinin sayından, kvantlama şkalasından və kvantlanan siqnalın paylanma qanunundan asılı olur. Lakin TV yayım parlaqlıq siqnalının səviyyəsinin paylanması təsvirin öz strukturundan asılı olur və onu hər hansı bir paylanma modeli ilə ifadə etmək mümkün olmur. Ədəbiyyatlarda həmin paylanmanın müxtəlif rast gələn modelləri və onların faizlə ifadə olunmuş miqdarı qeyd olunmuşdur [75, 33-41; 76, s. 18-20].

Loqarifmik kompandlama metodu tətbiq olunduqda və kvantlanan TV yayım parlaqlıq siqnalının səviyyəsi birinci kvantlanma addımından kiçik olduqda kvantlanma küylərinin gücünün orta qiymətini bu siqnalın müxtəlif paylanma modelləri üçün hesablamaq mümkündür. Kvantlama addımı kiçik olduqda $y = f(u_{gir})$ kompressiya xarakteristikası üçün hesab etmək olar ki:

$$\Delta y / \Delta u_{gir} \approx dy / du_{gir}, \quad (2.8.1)$$

burada $\Delta u_{gir} = U_n - U_{n-1}$, $dy / du_{gir} = y'(u_{gir})$ – kompressiya xarakteristikasının dikliyidir (birinci tərtib törəməsidir).

Praktikada xətti (bərabər) kvantlama öz sadəliyi səbəbindən geniş tətbiq olunur. Bu zaman kvantlama şkalası bərabər olur. Lakin bir çox hallarda bərabər kvantlama kvantlama küylərinin səviyyəsinin yuxarı olmasına görə əlverişli sayılmır. Aydındır ki, bu nöqteyi nəzərdən optimal kvantlamanın tətbiq olunması yüksək nəticələr almağa imkan verir. Ona görə də praktikada bərabər kvantlama uyğun kompandlama ilə birlikdə işlədilir ki, bu zaman kvantlama küylərinin səviyyəsi aşağı olur (kompandlama xarakteristikasının düzgün seçilməsindən asılı olaraq bu cür kvantlama optimal kvantlamaya yaxın ola bilər).

Yuxarıda göstəriləni kimi, kvantlama prosesində müxtəlif küylər yaranır ki, onların da səviyyəsinin təyin olunması siqnal/kvantlama küyləri nisbətinin tapılması nöqteyi nəzərindən mühüm əhəmiyyət daşıyır. Müxtəlif modellərlə ifadə olunan hər bir parlaqlıq siqnalı üçün kvantlama küylərinin səviyyəsini müəyyən edə bilərik. Əvvəlcə giriş siqnalının kiçik qiymətlərində kvantlanma küyləri gücünün qiymətini unipolyar müsbət TV yayım parlaqlıq siqnalı üçün müəyyən edək.

Bu halda kvantlanma küylərinin gücü aşağıdakı məlum ifadə ilə tapılır [3, s. 43]:

$$P_{kv}(u_{gir}) = \frac{1}{3N^2[y'(u_{gir})]^2}. \quad (2.8.2)$$

Burada N – kvantlamanın qiymətləndirmə səviyyələrinin sayı, $y(u_{gir})$ – kompressiya Xarakteristikasıdır.

Loqarifmik kompressiya xarakteristikası tətbiq olunduqda TV təsvirlərinin parlaqlıq signalı üçün yazırıq [3, s. 43]:

$$y = \frac{U_{maks} \ln\left(1 + a \frac{u_{gir}}{U_{maks}}\right)}{\ln(1+a)}. \quad (2.8.3)$$

Burada a –loqarifmik kompanlama zamanı signalın sıxılma əmsalı (onun qiyməti təcrübi yol ilə təyin olunur), U_{maks} – signalın maksimal qiymətidir.

(2.8.3) düsturundan hesablayırıq:

$$y'(u_{bx}) = \frac{a}{\left(1 + a \frac{u_{gir}}{U_{maks}}\right) \ln(1+a)}. \quad (2.8.4)$$

Sıfır nöqtəsində kompressiya xarakteristikasına cəkilmiş toxunanın mailliyi kompresiiya əmsalı adlanır [141, s. 549-552]. Onda loqarifmik kompressiya xarakteristikası üçün (2.8.4) düsturundan tapırıq:

$$K = y'(u_{gir})_{u_{gir}=0} = \frac{a}{\ln(1+a)}. \quad (2.8.5)$$

(2.8.4)-ü (2.8.2) ifadəsində yerinə qoysaq alarıq:

$$P_{kv}(u_{gir}) = \frac{\ln^2(1+a) \left(1 + a \frac{u_{gir}}{U_{maks}}\right)^2}{3N^2 a^2}. \quad (2.8.6)$$

Kvantlanma küylərinin gücünün orta qiyməti aşağıdakı ifadə ilə hesablanır [3, 43]:

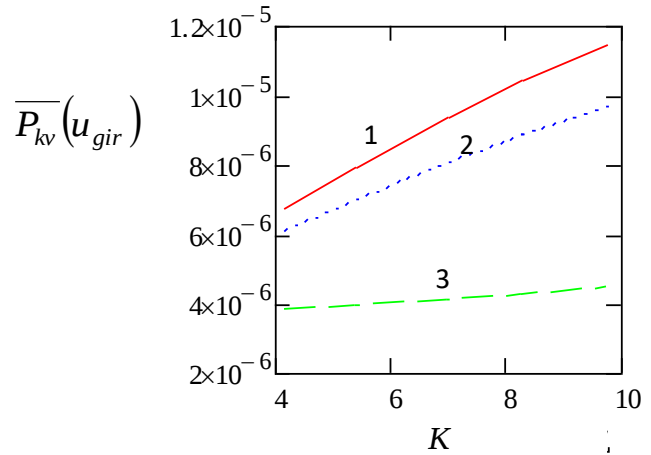
$$\overline{P_{kv}}(u_{gir}) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_{kv}(u_{gir}) w(u_{gir}) du_{gir}, \quad (2.8.7)$$

burada $w(u_{gir})$ – kvantlanan giriş signalı (parlaqlıq signalı) gərginliyinin diferensial paylanma qanunudur (birölçülü ehtimal sıxlığıdır).

TV təsvirlərində parlaqlığın müxtəlif məlum paylanma qanunları və “ışıq signal” çevricisinin xətti və qeyri-xətti xarakteristikaları üçün (2.8.6) ifadəsindən istifadə etməklə kvantlanma küylərinin gücünün orta qiymətini hesablamaq üçün riyazi ifadələr çıxarılmışdır. Parlaqlığın TV təsvirlərində tərs mütənasib qanunla paylandığı halda α_0 -in müxtəlif qiymətləri üçün kvantlanma küylərinin gücünün orta qiymətinin kompressiya əmsalından asılılığı $\overline{P_{kv}}(u_{gir}) = f(K)$ verilmişdir (şəkil 2.8.1). Burada α_0 – sabit kəmiyyətdir. Onun qiyməti təcrübi yollarla tapılır. α_0 -ın hansı qiymətlər alması TV təsvirlərinin xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır və $\alpha_0 = 0,2$ qiyməti ən çox təkrar olunandır. Şəkildən görünür ki, məs., $K = 8$ qiymətində α_0 0,1-dən 0,3-ə qədər artdıqca, kvantlama küylərinin gücü 2,5 dəfə azalır.

Qrafiklərdən həm də aydın olur ki, kompressiya əmsalı azaldıqca, kvantlanma küylərinin gücü də azalır. Lakin kompressiya əmsalının azalması ilə kvantlayıcının həllətmə qabiliyyəti azalır. Bu zaman digər küylərin təsirləri artacaqdır, çünki kvantlayıcı müəyyən səviyyəli hər hansı digər küyləri kvantlanan signal kimi qəbul edə bilər.

Ədəbiyyatlarda TV yayım təsvirlərində parlaqlığın paylanma modelləri verilmişdir. Tərs mütənasib paylanma, eksponensial azalan paylanma, normal paylanma, Reley və normal



Şək.2.8.1. Kvantlama küylərinin gücünün orta qiymətinin kompressiya əmsalından asılılığı:

1. $N=256$; $\alpha_0=0,1$. 2. $N=256$; $\alpha_0=0,2$. 3. $N=256$; $\alpha_0=0,3$.

paylanmanın cəmi olan paylanma təsvirlərin böyük əksəriyyətində müşahidə olunan paylanmalardır. Təsvirlərin az bir qismində müxtəlif digər paylanmalar müşahidə olunmuşdur. Çoxsaylı təcrübələr vasitəsilə TV yayım təsvirlərinin neçə faizində

parlaqlığının hansı paylanmaya tabe olması müəyyən edilmişdir. Ədəbiyyatlarda TV yayım təsvirlərindəki parlaqlığın ehtimal sıxlığı yer almışdır [69, s. 42-43]. TV yayım təsvirlərində parlaqlığın paylanma modellərinin xarakterik çevirmələrindən istifadə edərək, parlaqlıq siqnalı gərginliyinin ehtimal sıxlığı üçün ifadə çıxarıla bilər.

TV yayım təsvirlərinin bir qismində parlaqlığın paylanması tərs mütənasib qanunla təyin olunur. Bu zaman “ışıq-siqnal” çeviricisinin girişində parlaqlıq siqnalı gərginliyinin paylanması belə təyin olunur [69, s. 43]:

$$w(u_{gir}) = \frac{\gamma}{\ln \frac{\alpha_0 + 1}{\alpha_0}} \frac{u_{gir}^{\gamma-1}}{u_{gir}^\gamma + \alpha_0 U_{maks}^\gamma}, \quad (2.8.8)$$

burada γ – “ışıq-siqnal” çeviricisinin “qamma” əmsalıdır.

Bu halda TV-də çox tətbiq olunan loqarifmik kvantlama şkalası üçün kvantlama küylərinin gücünü aşağıdakı ifadə ilə hesablaya bilərik [3, s. 45]:

$$\bar{P}_{kv}(u_{gir}) = \frac{U_{maks}^2 \ln^2(1+a)}{3(2N+1)^2} \cdot \left\{ 1 + 2a \left(\frac{1}{\ln \frac{\alpha_0 + 1}{\alpha_0}} - \alpha_0 \right) + a^2 \left[\frac{(1-\alpha_0)^2}{2 \ln \frac{\alpha_0 + 1}{\alpha_0}} + \alpha_0^2 \right] \right\} \quad (2.8.9)$$

(2.8.9) ifadəsindən aydın olur ki, kvantlama küylərinin gücü parlaqlıq siqnalının maksimal səviyyəsi U_{maks} , kvantlama səviyyələrinin sayı N , təcrübi alınmış sabit a kəmiyyəti ilə yanaşı, təsvirin xarakteristikasını göstərən α_0 sabitindən də asılıdır.

Tutaq ki, parlaqlıq siqnalı gərginliyinin amplitudunun paylanması eksponensial düşən qanuna tabedir [69, s. 43]:

$$w(u_{gir}) = \frac{\gamma u_{gir}^{\gamma-1}}{C U_{or}^\gamma} \exp \left(-\frac{u_{gir}}{U_{or}} \right)^\gamma, \quad (2.8.10)$$

burada C – mütənasiblik əmsalı, U_{or} – parlaqlıq siqnalı gərginliyinin orta qiymətidir.

“İşıq-siqnal” çeviricisinin xətti xarakteristikası və təsvirdə parlaqlığın eksponensial düşən paylanma qanunu üçün bu güc aşağıdakı ifadə ilə hesablanı bilər [69, s. 59]:

$$\begin{aligned} \overline{P}_{kv}(u_{gir}) = & \frac{U_{maks}^2 \ln^2(1+a)}{3(2N+1)^2} \left\{ 1 - 2a \frac{U_{or}}{U_{maks}} \left[e^{-\frac{U_{maks}}{U_{or}}} \left(\frac{U_{maks}}{U_{or}} + 1 \right) - 1 \right] \right. \\ & - a^2 \frac{U_{or}^2}{U_{maks}^2} \left[e^{-\frac{U_{maks}}{U_{or}}} \left(\frac{U_{maks}^2}{U_{or}^2} + 2 \frac{U_{maks}}{U_{or}} + 2 \right) \right. \\ & \left. \left. - 2 \right] \right\}. \end{aligned} \quad (2.8.11)$$

Alınmış ifadə göstərir ki, kvantlama küylərinin gücü parlaqlıq signalının maksimal səviyyəsi U_{maks} , kvantlama səviyyələrinin sayı N , təcrübi alınmış a sabitinin köməyi ilə hesablanı bilər. Bu zaman nəzərə alınır ki, kvantlanan parlaqlıq signalının səviyyəsi kvantlayıcının icazə verilən kvantlama oblastı daxilindədir və məhdudlanma baş vermir.

$K_m = \frac{U_{or}}{U_{maks}}$ əvəzləməsini işlətsək, (2.6.8) ifadəsini sadələşdirə bilərik:

$$\begin{aligned} \overline{P}_{kv}(u_{gir}) = & \frac{U_{maks}^2 \ln^2(1+a)}{3(2N+1)^2} \left\{ 1 - 2a K_m \left[e^{-\frac{1}{K_m}} \left(\frac{1}{K_m} + 1 \right) - 1 \right] - a^2 K_m^2 \times \right. \\ & \left. \times \left[e^{-\frac{1}{K_m}} \left(\frac{1}{K_m^2} + 2 \frac{1}{K_m} + 2 \right) - 2 \right] \right\}. \end{aligned} \quad (2.8.12)$$

Alınmış riyazi ifadələrdən aydın olur ki, kvantlayıcının hər iki rejimində kvantlama küyləri yaranır və bu küylərin səviyyəsi həm kvantlayıcının, həm də kvantlanan signalın xarakteristikalarından asılıdır. Bu parametrlərin düzgün seçilməsi bu küyləri azaltmağa imkan verir. Optimal kvantlama kvantlanan signalın paylanma qanununa uyğunlaşdırılmış kvantlamadır. Bu zaman kvantlama küylərinin səviyyəsi minimuma endirilə bilər. Lakin artıq qeyd olunduğu kimi, TV yayım parlaqlıq signalının paylanması müxtəlifdir və bir-birindən çox fərqlidir. Ona görə də TV yayımında optimal kvantlama aparılması da mümkün deyil.

2.9. TV yayım parlaqlıq signalının analoq-rəqəm çevrilməsində yaranan məhdudlama küylərinin səviyyələrinin nəzəri qiymətləndirilməsi

TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsi maksimal icazə verilən kvantlama səviyyəsindən artıq olduqda əlavə olaraq məhdudlama küyləri yaranır. Birpolyarlı (unipolyar) signal üçün ifrat yüklənmə küyləri aşağıdakı məlum ifadə ilə hesablanırlar [3, s. 65]:

$$\overline{P_{mh}}(u_{ex}) = \frac{U_{kvmaks}^2}{U_{maks}^2} \int_{U_{maks}}^{U_{kvmaks}} (u_{ex} - U_{maks})^2 w(u_{gir}) du_{gir}, \quad (2.9.1)$$

burada U_{kvmaks} – kvantlayıcının maksimal qiymətləndirmə səviyyəsinə uyğun parlaqlıq signalı gərginliyidir.

Unipolyar signal üçün ifrat yüklənmə küylərinin gücünün orta qiyməti (2.9.1) ifadəsi ilə hesablanır. (2.9.1) ifadəsini unipolyar TV yayım parlaqlıq signalı üçün istifadə edək. Aydındır ki, ifrat yüklənmə küyləri hər tip paylanmaya uyğun olaraq ayrı-ayrılıqda hesablanmalıdır. TV yayım parlaqlıq signalının müxtəlif paylanma qanunları üçün analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yarana biləcək ifrat yüklənmə küylərinin gücünün hesablanması üçün ifadələr ədəbiyyatlarda verilmişdir [3, 62- 87; 59, 41-60;].

Tutaq ki, TV yayım proqramlarının təsvirlərində parlaqlığın paylanması eksponensial azalan qanuna tabedir. Bu halda məhdudlama küylərinin gücünün hesablanması üçün aşağıdakı ifadə çıxarılmışdır [3, s. 66]:

$$\begin{aligned} \overline{P_{mh}}(u_{gir}) = & -e^{-\frac{U_{maks}}{U_{or}}} (U_{maks}^2 + 2U_{maks}U_{or} + 2U_{or}^2 - 2\frac{U_{kvmaks}^2}{K_U} - \\ & -2\frac{U_{maks}U_{or}}{K_U} + \frac{U_{maks}^2}{K_U^2}) + 2U_{or}^2 e^{-\frac{U_{kvmaks}}{U_{or}}} \end{aligned} \quad (2.9.2)$$

Burada $K_U = U_{maks}/U_{kvmaks}$ – məhdudlama əmsəlidir.

TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin paylanması tərs mütənasib qanuna

tabe olduqda və loqarifmik kvantlama şkalası tətbiq olunduqda ifrat yüklənmə küylərinin gücünün orta qiyməti aşağıdakı ifadə ilə hesablanı bilər [3, s. 65]:

$$\overline{P_{mh}}(u_{gir}) = \frac{U_{maks}^2}{K_U^2 \ln \frac{\alpha_0+1}{\alpha_0}} \left[\frac{K_U^2-1}{2} - (2 + \alpha_0 K_U)(K_U - 1) + (1 + \alpha_0 K_U)^2 \ln \frac{1+\alpha_0}{1/K_U+\alpha_0} \right]. \quad (2.9.3)$$

Deməli, məhdudlama küylərinin gücü giriş siqnalının paylanma qanunundan, kvantlama şkalasından, məhdudlama əmsalından və kvantlayıcının maksimal icazə verilən kvantlama səviyyəsindən asılıdır. Qeyd edək ki, məhdudlama küyləri yalnız $K_U > 1$ olduqda yaranır. Buna əmin olmaq üçün (2.9.3) ifadəsində $K_U = 1$ qəbul edək. Onda $\overline{P_{mh}}(u_{gir}) = 0$ olduğunu hesablaya bilərik.

2.10. TV yayım parlaqlıq siqnalının müxtəlif paylanma qanunları üçün kvantlama və məhdudlama küylərinin güclərinin müqayisəsi

Kvantlanan siqnalın səviyyəsi kvantlayıcının maksimal qiymətləndirmə səviyyəsindən artıq seçildikdə kvantlama küylərinə bir də məhdudlama küyləri əlavə olunur ki, onların da səviyyəsi kvantlanan siqnalın paylanma qanunu ilə yanaşı, məhdudlama əmsalından da çox asılı olur. Lakin bu iki küydən hansının payının daha çox olması maraq doğurur. Bunu müəyyən etmək üçün bu güclərin nisbətini tapaq.

TV yayım parlaqlıq siqnalının yuxarıda qeyd olunan müxtəlif tip paylanma qanunları üçün bu nisbətin ayrı-ayrılıqda təyin olunması məqsəduyğun hesab oluna bilər. TV yayım parlaqlıq siqnalının tərs mütənasib paylanma qanunu üçün tapırıq:

$$\bar{\chi}(u_{gir}) = \frac{1}{K_U^2} \frac{\frac{1}{\ln \frac{\alpha_0+1}{\alpha_0}} \left[\frac{K_U^2-1}{2} - (2 + \alpha_0 K_U)(K_U - 1) + (1 + \alpha_0 K_U)^2 \ln \frac{1+\alpha_0}{1/K_U+\alpha_0} \right]}{\frac{\ln^2(1+a)}{3(2N+1)^2} \left\{ 1 + 2a \left(\frac{1}{\ln \frac{\alpha_0+1}{\alpha_0}} - \alpha_0 \right) + a^2 \left[\frac{(1-\alpha_0)^2}{2 \ln \frac{\alpha_0+1}{\alpha_0}} + \alpha_0^2 \right] \right\}}. \quad (2.10.1)$$

Alınmış ifadələrdən görünür ki, bu nisbət kvantlama səviyyələrinin sayından N , məhdudlama əmsalından K_U , a və α_0 sabit kəmiyyətlərindən, giriş signalının paylanma qanunundan və kvantlama şkalasından asılıdır. Lakin alınmış ifadələr kvantlama və məhdudlama küylərinin səviyyəsi haqqında fikir yürütməyə imkan vermir. Ona görə də bu küylərin gücləri nisbətinin kvantlanan signalın müxtəlif paylanma qanunları və tətbiq olunan kvantlama şkalaları üçün qrafiki və ya cədvəl şəklində ifadə olunmasına ehtiyac vardır.

Ona görə də TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin paylanması tərs mütənasib qanuna tabe olduğu və loqarifmik kvantlama şkalası tətbiq olunduğu halda təcrübədən alınmış $\alpha_0 = 0,2$ və $a = 30$ qiymətləri üçün $\bar{P}_{kv}(u_{gir})$, $\bar{P}_{mh}(u_{gir})$ və məhdudlama küylərinin gücünün kvantlama küylərinin gücünə olan nisbətinin – $\bar{\chi}(u_{gir})$ -in qiymətlərini hesablayaraq 2.10.1 cədvəlinə yazırıq.

Cədvəl 2.10.1

**TV yayım parlaqlıq signalının tərs mütənasib qanunla paylanması
üçün kvantlama və məhdudlama küylərinin gücləri**

		$\bar{P}_{mh}(u_{gir})$	$\bar{P}_{kv}(u_{gir})$	$\bar{\chi}(u_{gir})$
1	$K_U=1.4; N=256$	$7 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	$33 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	0.21
2	$K_U=1.5; N=256$	$77 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	$33 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	2.33
3	$K_U=1.4; N=1024$	$7 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	$2,05 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	3.41
4	$K_U=1.5; N=1024$	$77 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	$2,05 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	37.56

Cədvəldən görünür ki, məhdudlama əmsalının artmasının ilkin qiymətlərində, yəni TV yayım parlaqlıq signalının maksimal qiymətinin kvantlayıcının maksimal icazə verilən qiymətləndirmə səviyyəsindən azacıq aşması ilə məhdudlama küylərinin gücünün səviyyəsi o qədər də yüksək olmur və hətta kvantlama küylərinin gücü ilə müqayisədə çox kiçik olur. Məs., 2.10.1 cədvəlinin 1-ci sətrindəki parametrlər üçün bu güc kvantlama küylərinin gücündən təxminən 5 dəfə azdır. Lakin məhdudlama əmsalının sonrakı artımı ilə məhdudlama küylərinin gücü kəskin artır. Məsələn, məhdudlama əmsalının 1,4-dən 1,5-ə qədər artması məhdudlama küylərinin gücünün

11 dəfə artmasına səbəb olur. Eyni zamanda ikili sistemdə kod sözünün uzunluğu n ($N=2^n$) 8-dən 10-a qədər artdıqda kvantlama küylərinin gücü 16 dəfə azalır. Eyni bir məhdudlama əmsalı üçün kod sözünün uzunluğu 8-dən 10-a qədər artdıqda kvantlama küylərinin gücünün məhdudlama küylərinin gücünə nisbəti 16...17 dəfə azalır.

Bu nəticələr TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin paylanması tərs üçün də hesablanmışdır. Analoji olaraq TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin digər paylanma qanunları üçün də bu hesabatı aparmaq olar. Məs., TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin eksponensial düşən paylanma qanunu üçün (2.6.9) və (2.8.12) düsturlarından istifadə edərək, kvantlama və məhdudlama küylərinin gücünü və onların nisbətini hesablayaraq 2.10.2 cədvəlinə yazırıq.

Cədvəl 2.10.2

**TV yayım parlaqlıq signalının eksponensial düşən qanunla paylanması
üçün kvantlama və məhdudlama küylərinin gücləri**

		$\bar{P}_{mh}(u_{gir})$	$\bar{P}_{kv}(u_{gir})$	$\bar{\chi}(u_{gir})$
1.	$K_U=1.3; N=256$	$0,061 \cdot U_{maks}^2$	$2,4 \cdot 10^{-3} U_{maks}^2$	25,42
2.	$2K_U=1.4; N=256$	$0,088 \cdot U_{maks}^2$	$2,4 \cdot 10^{-3} U_{maks}^2$	36,67
3.	$K_U=1.3; N=1024$	$0,061 \cdot U_{maks}^2$	$1,47 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	414,97
4.	$K_U=1.4; N=1024$	$0,088 \cdot U_{maks}^2$	$1,47 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	598,64

Cədvəldən görünür ki, TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin eksponensial düşən paylanma qanunu üçün məhdudlama əmsalının 1,3-dən 1,4-ə qədər artması məhdudlama küylərinin gücünün 1,44 dəfə artmasına səbəb olur. Bu paylanmada ikili sistemdə kod sözünün uzunluğu n ($N=2^n$) 8-dən 10-a qədər artdıqda kvantlama küylərinin gücü 16,3 dəfə azalır.

TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin eksponensial düşən paylanma qanunu və loqarifmik kvantlama şkalası tətbiq olunduqda eyni bir məhdudlama əmsalı üçün kod sözünün uzunluğu 8-dən 10-a qədər artdıqda kvantlama küylərinin gücünün məhdudlama küylərinin gücünə nisbəti 16,32 dəfə azalır.

2.11. TV yayım parlaqlıq siqnalının kvantlanması zamanı yaranan ifrat yüklənmə küylərinin minimal buraxıla bilən həddinin qiymətləndirilməsi

İfrat yüklənmə baş verdikdə və heç bir texniki tədbir görülmədikdə siqnalın maksimal səviyyəsi kvantlayıcının maksimal səviyyəsinə bərabər tutulacaqdır. Bu isə siqnalın yuxarıdan məhdudlanması deməkdir. TV yayımında bu, heç şübhəsiz, təsvirin keyfiyyətinə təsir edəcəkdir. Məs., ifrat yüklənmə halında TV yayım pozitiv parlaqlıq siqnalı kvantlanan zaman, ifrat yüklənmə küylərinin yaranması ilə yanaşı, yuxarı parlaqlığa uyğun olan elementlərinin parlaqlıqları bir-birinə bərabər səviyyəyə endiriləcəkdir (ağ səviyyənin məhdudlanması baş verəcəkdir).

Əvvəlki paraqrafda kvantlama və ifrat yüklənmə küylərinin gücü TV yayım parlaqlıq siqnalı üçün təyin olunmuşdur. Bu paraqrafda aparılmış hesablamalar göstərmişdir ki, TV yayım parlaqlıq siqnalının müxtəlif paylanma qanunlarında ifrat yüklənmə küylərinin gücü məhdudlama əmsalının qiyməti artdıqca kvantlama küylərinin gücünə nəzərən çox artır. Bunun qarşısını almaq üçün kvantlanan siqnalın dinamik diapazonunun kompressiyası tətbiq edilir və ifrat yüklənmə küylərinin gücü minimuma endirilir [3, s. 79]. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, hətta parlaqlıq siqnalının da kiçik dəyişmələri insan gözü tərəfindən aşkar oluna bilmir və ona görə də siqnalın belə kiçik artıqlığı halında onun dinamik diapazonunun kompressiya olunmasına ehtiyac qalmır. Bu məqsədlə TV yayım parlaqlıq siqnalının aşkar oluna bilən minimal buraxılan səviyyəsinin təyin olunması maraq doğurur.

TV yayım parlaqlıq siqnalının analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yaranan ifrat yüklənmə küylərinin buraxıla bilən həddini insan gözü tərəfindən aşkar oluna bilən parlaqlıq dəyişmələrinə görə təyin edək.

Artıq qeyd edildiyi kimi, kvantlama və ifrat yüklənmə küylərinin səviyyəsi onların energetiki spektri, gücü və ya gərginliyin cari qiyməti ilə kvantlanmış qiyməti arasındakı fərqlə ifadə oluna bilər. Weber-Fexner qanununa görə insan gözünün işığa həssaslığı sabit deyil və müşahidə olunan təsvirin parlaqlığından asılı olaraq

loqarifmik qanunla dəyişir. Təcrübələr göstərir ki, TV-də parlaqlıq səviyyələrinin sayını 128-ə qədər azaltmaq olar. Bu zaman kod sözünün dərəcəsi 7-yə endirilə bilər [17, s. 89-91].

İfrat yüklənmə küylərinə signal/küy nisbətinin buraxıla bilən həddi nəzərə alınmaqla məhdudiyyət qoyulur. Lakin bu küylərin kiçik qiymətlərində təsvir signalında baş verən dəyişikliklər təsvirin canlandırılması zamanı gözlə aşkar oluna bilmir [26, s.275-280]. Bizim məqsədimiz həmin aşkar olunmanın həddini tapmaqdır. Lakin dəyişikliklərin insan gözü tərəfindən aşkar olunması təsvirin müşahidə şəraitindən və müşahidə dəqiqliyinə təsir edən bir çox faktorlardan asılıdır. Bu faktorlar əsasən fonun parlaqlığı, adaptasiyanın parlaqlığının fonun parlaqlığına nisbəti u , maneələr, insan gözünün ətaləti τ_u , fluktuasiya küylərinin effektiv qiyməti, təsvir elementinin müşahidə müddəti, təsvir elementinə baxış bucağı β , parlaqlığın astana dəyişməsinin aşkar olunması ehtimalı x_p , təsvir elementindən vertikal xətlərə qədər olan məsafədir.

TV yayım parlaqlıq signalının buraxıla (aşkar oluna) bilən dəyişməsinə təyin edək. Təsvirdəki hər hansı dəyişikliyin aşkar olunmasını müəyyən etmək üçün TV texnikasında kontrast həssaslıq və ya astana kontrastı kimi parametrlərdən istifadə olunur. Bu iki parametr arasında qarşılıqlı analitik əlaqə mövcuddur.

Burada biz ifrat yüklənmə küylərinin buraxıla bilən səviyyəsini onların gücünə görə müəyyən edəcəyik. Ona görə də TV yayım parlaqlıq signalının insan gözü tərəfindən aşkar oluna bilən minimal buraxılan həddində olan gərginliyin 1 Om müqavimətində yaratdığı güclə ifrat yüklənmə küylərinin minimal gücü arasında aşağıdakı məhdudlayıcı sadə şərti qoyaq:

$$\Delta U_{bur}^2 \geq \overline{P_{mh}}(u_{gir}). \quad (2.11.1)$$

burada ΔU_{bur} – TV təsvirindəki parlaqlığın dəyişməsinin insan gözü tərəfindən aşkar oluna bilən minimal buraxılan səviyyəsinə uyğun olan gərginlik, $\overline{P_{mh}}(u_{gir})$ – ifrat

yüklənmə küylərinin gücünün orta qiymətidir.

TV təsvirindəki parlaqlığın dəyişmələrinin insan gözü tərəfindən aşkar olunması tədqiq olunmuşdur. Ən sadə hal təsvirin Veber-Faxner qanununun doğru olduğu oblastda müşahidə olunmasıdır. Bu halda gözün kontrast həssaslığı $\delta = 0,2 \dots 0,05$ sabit olur [48, s. 33-43]. Lakin təsvirin müşahidə olunduğu mürəkkəb şəraitdə parlaqlıq dəyişməsinin insan gözü tərəfindən aşkar oluna bilən minimal buraxılan səviyyəsi bir çox faktorlardan asılı olur [26, s. 275-280]. Bu səviyyəyə uyğun gərginlik dəyişməsinin təyin olunması üçün riyazi ifadə çıxarılmışdır [75, s. 78]:

$$\Delta U_{bur} = \frac{U(\exp(0,023 \prod_{i=1}^6 f_i) - 1)}{\gamma}, \quad (2.11.2)$$

burada γ – “ışığ-signal” çeviricisinin işıq xarakteristikasının “qamma” əmsalı, U – parlaqlıq signalı gərginliyinin cari qiyməti, f_i – parlaqlığın dəyişməsinin gözlə görünməsinə təsir edən i -ci faktorun determinə olunmuş funksiyası, $i \in \overline{1,6}$ – təsvirdəki dəyişmələrin gözlə görünməsinə təsir edən faktorların sayıdır.

(2.11.1) və (2.11.2) ifadələrindən istifadə edərək sadə riyazi çevirmələrdən sonra alırıq:

$$\prod_{i=1}^6 f_i \geq 43,47 \ln \left(1 + \frac{\gamma \sqrt{P_{mh}(u_{gir})}}{U} \right). \quad (2.11.3)$$

Təcrübələrlə müəyyən olunmuşdur ki, TV yayım parlaqlıq signalının dəyişməsi daha çox parlaqlığın minimal səviyyədə olduğu hissələrdə insan gözü tərəfindən aşkar oluna bilir [48, s. 43-46; 75, s. 46-56]. Digər tərəfdən ifrat yüklənmə küyləri yalnız $U > U_{kv maks}$ qiymətlərində yaranır. Ona görə də (2.11.2) ifadəsində $U = U_{kv maks}$ qəbul edərək, “ışığ-signal” çeviricisinin xətti işıq xarakteristikası üçün (2.11.2) və (2.9.2) ifadələrindən alırıq:

$$\begin{aligned}
& U_{maks}^2 \left(\exp \left(0,023 \prod_{i=1}^6 f_i \right) - 1 \right)^2 \\
& \geq -e^{-\frac{U_{maks}}{U_{or}}} (U_{maks}^2 + 2U_{maks}U_{or} + 2U_{or}^2 - 2\frac{U_{kvmaks}^2}{K_U} - \\
& -2\frac{U_{maks}U_{or}}{K_U} + \frac{U_{maks}^2}{K_U^2}) + 2U_{or}^2 e^{-\frac{U_{kvmaks}}{U_{or}}} \quad (2.11.4)
\end{aligned}$$

Yuxarıdakı şərtlər daxilində (2.11.2) və (2.9.3) ifadələrindən parlaqlığın TV təsvirlərində tərs mütənasib paylanması halında ifrat yüklənmə küylərinin buraxıla bilən qiyməti üçün aşağıdakı ifadəni yazırıq:

$$\begin{aligned}
& U_{maks}^2 \left(\exp \left(0,023 \prod_{i=1}^6 f_i \right) - 1 \right)^2 \geq \\
& \geq \frac{U_{maks}^2}{K_U^2 \ln \frac{\alpha_0 + 1}{\alpha_0}} \left[\frac{K_U^2 - 1}{2} - (2 + \alpha_0 K_U)(K_U - 1) + (1 + \alpha_0 K_U)^2 \ln \frac{1 + \alpha_0}{1/K_U + \alpha_0} \right]. \quad (2.11.5)
\end{aligned}$$

TV yayım parlaqlıq signalının dəyişməsinin minimal buraxıla bilən qiymətinə təsir edən əsas faktorlar paraqrafın əvvəlində sadalanmışdır. Göstərilən faktorların TV yayım təsvirlərində parlaqlığın dəyişməsinin minimal buraxıla bilən qiymətinə təsiri müxtəlif dərəcədədir. Ona görə də bu faktorların təsiri ayrı-ayrılıqda tədqiq olunmalıdır.

Unipolyar TV yayım parlaqlıq signalının eksponensial azalan və tərs mütənasib qanunla dəyişdiyi iki halda parlaqlıq dəyişmələrinin gözlə görünməsinin minimal buraxıla bilən həddinə uyğun ifrat yüklənmə küylərinin gücünün orta qiyməti müvafiq olaraq (2.11.4) və (2.11.5) ifadələrindən istifadə etməklə hesablanı bilər.

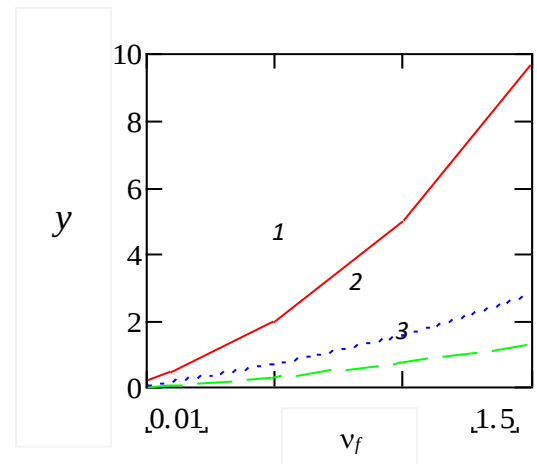
$\overline{P_{mh}}(u_{gir})$ gücünün normallaşdırılmış buraxıla bilən qiymətinin yuxarıda qeyd olunan məlum faktorlardan asılılığını almaq üçün (2.11.4) və (2.11.5) bərabərsizliklərini qrafiki yol ilə həll edə bilərik. Bunun üçün (2.11.4) və (2.11.5) bərabərsizliklərinin sol tərəfindəki $y = \prod_{i=1}^6 f_i$ asılılıqlarının qrafiklərini qurmalıyıq. f_i funksiyalarının ifadələri ədəbiyyatlarda verilmişdir [3, s.75]. Bu ifadələrdə

parlaqlığın dəyişməsinin aşkar olunmasına təsir edən digər faktorları sabit saxlayaraq, bu aşkar olunmanın konkret bir parametrdən asılılığını çıxara bilərik.

Hesablamalar göstərir ki, təsvir elementini uzun müddət seyr etdikdə parlaqlığın çox kiçik dəyişmələrini də aşkar etmək olur. Aydınır ki, TV yayımında təsvirlərin müşahidə olunma müddəti böyük deyil. Çünki D/K standartında kadr tezliyi 25 Hs-dir. Bu isə parlaqlığın kiçik dəyişmələrinin aşkar olunmasına imkan vermir. Bu isə ifrat yüklənmə küylərinin gücünün müşahidə olunma müddətinə görə təyin olunan buraxıla bilən qiymətinin artımına səbəb olur.

Şəkildə ifrat yüklənmə küylərinin gücünün buraxıla bilən qiymətinin fluktuasiya küylərinin effektiv qiymətindən asılılığı $y = f(\nu_f)$ verilmişdir, burada ν_f – fluktuasiya

küylərinin effektiv qiyməti, u – adaptasiyanın parlaqlığının fonun parlaqlığına nisbətinin loqarifmi, $\nu_s = 0,1$ – insan gözünün məxsusi küylərinin effektiv qiyməti, β – təsvir elementinin açılış bucağı (bu bucaq burada dəqiqələr ilə ölçülür), x_p – parlaqlığın astana dəyişməsinin aşkar olunması ehtimalını xarakterizə edən parametr, $\theta_s = 50 \text{ ms} = \text{const}$ – insan gözünün ətalət müddəti, τ_u – təsvir elementinin müşahidə müddətidir.



Şəkil 2.11.1. Məhdudlama küylərinin buraxıla bilən qiymətinin fluktuasiya küylərinin effektiv qiymətindən asılılığı:

1. $u = -0,2$; $\tau_u = 50 \text{ ms}$; $\beta = 5^\circ$; $x_p = 0,5$.

2. $u = 0$; $\tau_u = 100 \text{ ms}$; $\beta = 5^\circ$; $x_p = 1$.

3. $u = 0,3$; $\tau_u = 50 \text{ ms}$; $\beta = 5^\circ$; $x_p = 1$.

Şəkildən görünür ki, fluktuasiya küylərinin effektiv qiymətinin artması ilə ifrat yüklənmə küylərinin buraxıla bilən qiyməti artır. Lakin fluktuasiya küylərinin effektiv qiymətinin sıfıra yaxın olan qiymətlərində ifrat yüklənmə küylərinin buraxıla bilən qiymətinə çox sərt tələb qoyulur. Aydınır ki, fluktuasiya küyləri praktiki olaraq sıfır qiymətini almır. O, həmişə müəyyən hədd daxilində olur. Fluktuasiya küyləri artdıqca, onlar ifrat yüklənmə küylərini daha çox maskalayır.

İkinci fəsil üzrə nəticələr

1. Çoxkanallı genişzolaqlı TV yayım sistemlərində qeyri-xətti təhriflər tranzistordakı fiziki proseslər nəticəsində yaranır. Bu qeyri-xətti təhrifləri yaradan mənbələri yox etmək mümkün olmur. Onları aradan qaldırmaq üçün korreksiya sxemlərindən istifadə etmək, gücləndiricinin iş rejimini düzgün seçmək lazım gəlir.

2. TV yayım sistemlərində energetiki effektivliyin dəqiq qiymətləndirilməsi üçün kodlamanın energetiki qazancı anlayışından istifadə edilməsi məqsədəuyğundur.

3. Spektri kosinuskvadratik formada kəsilən elementar impulsların sönmə əmsalının kiçik seçilməsi spektral effektivliyin öz potensial qiymətinə yaxınlaşmasına, lakin energetiki effektivliyin azalmasına, elementar impulsların davam etmə müddətinin artmasına səbəb olur. Bu halda elementar impulsların formalaşdırılması üçün daha mürəkkəb süzgəclərdən istifadə olunması tələb olunur. “Göz” diaqramından istifadə edərək, TV yayımında sönmə əmsalının kompromis qiyməti seçilməlidir.

4. Maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda $p_s = 1 \cdot 10^{-5}$ səhvlər ehtimalı kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə E_b/N_0 nisbətinin 2,5 dB az qiymətində, $p_s = 1 \cdot 10^{-3}$ səhvlər ehtimalı isə həmin nisbətə 1,6 dB az qiymətində təmin oluna bilər. E_b/N_0 nisbətinin çox kiçik olması ilə bitin enerjisi küyün intensivliyinə yaxınlaşır və maneədayanıqlı kodlamanın tətbiqi müsbət effekt vermir. Bu halda maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda səhvlər ehtimalının $p_s = 2 \cdot 10^{-1}$ qiymətində E_b/N_0 nisbətinin tələb olunan qiyməti kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə 1 dB artıq olur.

5. TV yayım parlaqlıq signalının kvantlanması zamanı signalın dinamik diapazonu kvantlayıcının maksimal icazə verilən kvantlama səviyyəsindən artıq olduqda məhdudlama küyləri yaranır və bu küylərin gücü məhdudlama əmsalının artması ilə kəskin artır. TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin paylanması tərs mütənasib qanunla ifadə olunduqda və loqarifmik kvantlama şkalası tətbiq olunduqda məhdudlama əmsalının 1,4-dən 1,5-ə qədər artması ilə məhdudlama küylərinin gücü 11 dəfə artır, ikili sistemdə kod sözünün uzunluğunun 8-dən 10-a qədər artması ilə

kvantlama küylərinin gücünün məhdudlama küylərinin gücünə nisbəti təxminən 17 dəfə azalır.

6. TV yayım signalının analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yarana bilən ifrat yüklənmə küylərinin səviyyəsi bir tərəfdən signal/küy nisbətinin buraxıla bilən qiyməti ilə, digər tərəfdən parlaqlıq signalında baş verən dəyişmələrin insan gözü tərəfindən aşkar oluna bilən səviyyəsi ilə məhdudlanır. TV yayım təsvirlərində parlaqlığın dəyişmələrinin insan gözü tərəfindən aşkar olunan minimal buraxıla bilən həddinə görə ifrat yüklənmə küylərinin gücünə məhdudiyyət qoyulur. Bu dəyişmələrin insan gözü tərəfindən aşkar olunması bir çox faktorlardan asılıdır:

a) İnsan gözünün psixovizual imkanları ilə müəyyən olunan bu qabiliyyəti bir çox faktorlarla yanaşı, təsvirin müşahidə müddətindən də asılıdır. Lakin TV yayımında təsvirlərin müşahidə olunma müddəti böyük deyil. Bu, parlaqlığın kiçik dəyişmələrinin aşkar olunmasına imkan vermir və ona görə də ifrat yüklənmə küylərinin gücünün müşahidə olunma müddətinə görə təyin olunan buraxıla bilən qiyməti yüksək olur.

b) Fluktuasiya küylərinin artması ilə ifrat yüklənmə küylərinin buraxıla bilən qiymətinə yumşaq tələb qoyulur. Bunun səbəbi ifrat yüklənmə küylərinin fluktuasiya küyləri tərəfindən maskalanmasıdır.

III FƏSİL. İNTERAKTİV TV YAYIM SİSTEMİNİN ƏKS KANALINDA KOHERENT VƏ QEYRİ-KOHERENT QƏBUL ŞƏRAİTİNDƏ MANEƏDAYANIQLIĞININ TƏMİN OLUNMASI

3.1. İlkin qeydlər

İnteraktiv sadə və çoxkanallı TV yayım və proqramların paylanması şəbəkələrində həm birbaşa, həm də əks kanalda maneədayanıqlığının təmin olunması çox vacib məsələdir. İnteraktiv TV yayım və proqramların paylanması şəbəkəsinin radio rabitəsi üzrə qurulmuş əks kanalında tələb olunan gücün və maneədayanıqlığının təmin olunması şərtləri müəyyən olunmuşdur [23, s. 50-56; 24, s. 1-7; 27, s. &&]. Bu şəbəkədə tətbiq olunan interaktiv sistemlərdə “uzaq-yaxın” problemini həll etmək üçün pilot-signalın ölçülmüş gücünə görə kanal vericisinin gücünün tənzimlənməsi məqsədəuyğun hesab olunur. Qəbul məntəqəsində tələb olunan gücün təmin olunması radiovericinin şüalanma gücü ilə yanaşı, bir çox digər parametrlərdən də asılıdır [31, s. 1-11; 32, s. 149-151; 41, s. 8-11; 54, s. 56-58]. Qeyd edək ki, sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərində parametrlərin təyin olunması və onlar arasında qarşılıqlı əlaqənin müəyyən olunması üçün istifadə olunan analitik ifadələr bir-birindən bir qədər fərqli olacaqdır. Bu, baxılan kanallarda istifadə olunan modulyasiya üsulu və daxilolma şərtləri ilə əlaqədardır [42, 70, s. 276-278].

Sadə interaktiv TV yayım sistemlərində əks kanal şanvari prinsiplə qurulduqda daxilolma da müxtəlif ola bilər. CDMA tipli daxilolmanın üstünlükləri müvafiq elmi-texniki ədəbiyyatlarda verilmişdir [82, s. 21-25]. Bu zaman kanallar bir-birindən koda görə ayrılır və küyəoxşar siqnallardan istifadə olunması sistemin bir çox parametrlərinin yaxşılaşmasına gətirib çıxarır. Lakin bu tip daxilolmada bütün abonentlər ayrılmış tezlik diapazonunda işləyir və bu səbəbdən bir abonent üçün faydalı hesab olunan signal digər abonent üçün maneə sayıla bilər. Bu tipli daxilolmada spektrin genişləndirilməsi tezlik effektivliyinin azaldılması kimi

dəyərləndirilə bilər. Lakin tərifə görə spektral effektivliyin vahid tezlik zolağına uyğun veriliş sürəti olduğunu bilərək, CDMA tipli daxilolma üçün bu effektivliyi hesablamaq olar. Hesablamalar göstərmişdir ki, bu tip daxilolma üçün abonentlərin sıxlığı çox olan hallarda sistemin tezlik effektivliyi digər rabitə sistemləri üçün hesablanmış tezlik effektivliyindən heç də aşağı olmur [29, s. 115-118; 83, s. 141-145; 156, s. 214-215].

Aydındır ki, baxılan çoxkanallı interaktiv sistemlər çox yüksək tezlik diapazonunda işləyir [2, s. 31-36]. Ona görə də bu sistemlərdə kənar maneələrdən çox sistem daxili maneələrin təsiri nəzərə alınmalıdır. Bu tip maneələrin təsirinin aşağı salınması üçün birbaşa kanalda radiovericilərin kanalları üzrə güclərinin tənzim olunması maneədayanılıqlığı nöqtəyi-nəzərindən perspektivli sayıla bilər. Çünki tənzimləmə nəticəsində bir kanal üzrə olan faydalı siqnalın digər kanallar üzrə güclü maneə yaratmasının qarşısını qismən almış oluruq. Bu isə maneədayanılıqlığını tələb olunan səviyyəyə çatdırmağa imkan verəcəkdir.

Siqnalların koherent qəbulu daha yüksək maneədayanılıqlığı təmin edə bilər [80, s. 44-48; 95, s. 38-44; 111, s. 1074-1080]. Lakin bunun üçün siqnalın başlanğıc fazası bəlli olmalı, yəni qəbuledicidə ölçülməlidir. Sürətli sönmələr olan kanallarda başlanğıc fazanın təyin olunması çətindir, çünki bu fazanın qiymətinin sürətlə dəyişməsi ölçmələr vasitəsilə onun cari qiymətini dəyərləndirməyə imkan vermir. Aydındır ki, bu halda qeyri-koherent qəbulun tətbiq olunması daha məqsədəuyğun sayıla bilər. Müvafiq elmi-texniki ədəbiyyatlarda həm koherent, həm də qeyri-koherent qəbul zamanı səhvlər ehtimalının hesablanması üçün ifadələr çıxarılmışdır. Reley kanalında radiovericinin kanalları üzrə gücün tənzim olunduğu halda qeyri-koherent qəbul zamanı maneədayanılıqlığının hesablanması üçün riyazi ifadələr çıxarılmış və bu ifadələr yavaş sönmələr olan kanalda müxtəlif qəbul şərtlərində maneədayanılıqlığının təyin olunması üçün olan riyazi ifadələr ilə müqayisə edilmişdir.

Yuxarıda qeyd edilən xüsusiyyətləri, əks kanalın qurulma prinsiplərini, orada tətbiq olunan daxilolma şərtlərini, parametrlərin qiymətlərini nəzərə almaqla interaktiv TV yayım sisteminin əks kanalında koherent və qeyri-koherent qəbul şəraitində maneədayanılıqlığının təmin olunması problemini tədqiq edək. Aydındır ki, bu zaman müvafiq ədəbiyyatlarda verilmiş məlum nəticələrdən istifadə olunacaqdır. Belə ki, bu

problemin rabitə və yayım texnikası üçün yeni olmadığı bəllidir. Bizim məqsədimiz isə bəlli nəticələrdən baxılan kanala uyğun şəkildə istifadə etmək və tədqiqat nəticəsində alınmış yeni nəticələr hesabına maneədayanılıqlığının təmin olunmasına nail olmaqdır.

3.2. İnteraktiv TV yayım sistemlərinin əks kanalında tələb olunan gücün təmin olunması

Qəbul məntəqəsində yaradılan güc radiovericinin ekvivalent şüalanma gücündən, o isə öz növbəsində, radiovericinin gücündən asılıdır. Bu iki güc arasında analitik əlaqə mövcuddur [2, s. 103]:

$$P_{\Sigma 0} = P + G_{AV} + \eta_f, \text{ dBkVt}, \quad (3.2.1)$$

burada P – radiovericinin çıxışındakı güc (dBkVt), G_{AV} – verici antenanın gücləndirmə əmsalı (dB), η_f – fiderin dB ilə ifadə olunan f.i.ə.-sidir.

İstiqamətlənməmiş antenalar tətbiq olunduqda bütün istiqamətlərdə şüalandırılan güc eyni olur. İstiqamətlənmiş antenadan istifadə olunduqda isə $P_{\Sigma 0}$ gücü əsas istiqamətdə şüalandırılan güc hesab olunur. Qalan istiqamətlərdə şüalandırılan güc antenanın horizontal və vertikal müstəvilərdə istiqamət diaqramı vasitəsilə müvafiq bucaqlardan asılı olaraq təyin olunur. Bu halda ekvivalent şüalanma gücünü dBkVt-la aşağıdakı məlum ifadədən tapıla bilər [2, s. 103]:

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma 0} + F(\theta, \phi), \quad (3.2.2)$$

burada $P_{\Sigma 0}$ – radiovericinin dB ilə ifadə olunan şüalanma gücü, $F(\theta, \phi)$ – istiqamətlənməni xarakterizə edən əmsal olub, gücün əsas istiqamətə nəzərən digər istiqamətlər üzrə azalmasını xarakterizə edir (dB), θ və ϕ – uyğun olaraq vertikal və horizontal istiqamətlərlə əsas istiqamət arasında qalan bucaqlardır.

Qəbul məntəqəsində sahə gərginliyinin qiymətini analitik hesablama və ya

ölçmələr yolu ilə tapa bilərik. Bu halda radioqəbuledicinin girişində yaranan gərginliyi belə hesablamaq olar [64, s. 10]:

$$20\lg U = E + G_{AQ} + \eta_f - 20\lg 2\pi/\lambda. \quad (3.2.3)$$

Burada E – qəbul məntəqəsində yaradılmış sahə gərginliyi (dBmkV/m), G_{AQ} – qəbuledici antenanın gücləndirmə əmsalı (dB), λ – dalğa uzunluğudur (m).

Yalnız küylərin təsiri nəzərə alınmaqla (maneələrin təsiri nəzərə alınmadıqda) signalın qəbul olunaraq normal canlandırılması üçün radioqəbuledicinin girişində signalın gücünün radioqəbuledicinin həssaslığına bərabər olması minimal kafi şərt kimi qəbul oluna bilər. j -cu BS-in L kanaldan ibarət olan radiovericisi üçün bu şərti belə yazı bilərik:

$$P_{j1} = P_{j2} = \dots = P_{jL} = P_{OA}. \quad (3.2.4)$$

Burada P_{OA} – radioqəbuledicinin həssaslığıdır.

Interaktiv TV sisteminin əks kanalında maneələr təsir etdiyi halda lazım olan signal/maneə nisbəti təmin olunmalıdır. Məs., CDMA-nın tətbiq olunduğu sistemdə signal/maneə nisbətinin tələb olunan qiymətinə uyğun güc belə hesablanır [69, s.114]:

$$P_t = P_{OA} + \frac{1}{2} [10 \lg(\gamma_0 f_{ks}/R) - w_t + 1]. \quad (3.2.5)$$

burada γ_0 sabit əmsal (kanalların kodla ayrılması sistemində $\gamma = 2$ -dir), f_{ks} – küy signalının qiyməti, w_t – qəbuledicinin girişində tələb olunan signal/maneə nisbətidir.

Signal/maneə nisbətinin tələb olunan qiymətinə uyğun olan P_t gücü BS-in radiovericisinin şüalandırdığı güc kimi qəbul olunmamalıdır. Lakin bu gücü bilərək BS-in radiovericisinin şüalandırdığı gücü təxmini hesablaya bilərik. Belə ki, radiovericisinin şüalandırdığı güc sönərək qəbuledicinin girişinə gəlib çatır. Yavaş və ya sürətli sönmələr baş verə bilər və onların nəzərə alınması üçün müxtəlif modellər təklif olunmuşdur [38, s. 46-49; 49, s. 50-55; 101, s. 13-16; 102, s. 50-55; 131, s. 2051-

2055; 150, s. 586-591]. Bu sönmələr radiodalğaların efirdə yayılması zamanı baş verən müəyyən fiziki proseslərlə bağlıdır.

Bu sönmələrin səviyyəsinin hesablanması üçün determinə olunmuş, statistik və ya kvazistatistik modellər tətbiq olunur. Qabaqcadan qeyd edək ki, bu modellərdən hər birinin tətbiqi ilə biz yalnız təxmini nəticələr alırıq və nəticələr BS-in radiovericisinin şüalanma gücünün təxmini qiymətini hesablamaq üçün istifadə olunur. Baxılan halda qəbul məntəqəsində l -ci kanalın P_{jlQ} gücünə görə j -cu BS-in radiovericisinin şüalanma gücünü hesablamaq üçün ən çox istifadə olunan, daha sadə hesablamalarla başa gələn və sahə gərginliyinin həqiqətə uyğun qiymətini təyin etməyə imkan verən aşağıdakı model tətbiq olunur [14, s. 153; 24, s. 3]:

$$P_{jlQ} = AR_l^{-n} P_{jl\Sigma}, \quad (3.2.6)$$

burada R_l – radiovericidən l -ci abonentə qədər olan məsafə, n – radiodalğaların fəzada yayılması zamanı sönmənin dərəcəsi, A – sabit əmsal, $P_{jl\Sigma}$ – j -cu BS-in radiovericisinin l kanalı üzrə şüalanma gücüdür.

Bundan başqa, sönmələr şəraitində maneədayanıqlığının təmin olunması üçün gücün artırılması və ya veriliş sürətinin azaldılması eyni dərəcədə effektivdir. İkinci halda bu məqsədlə dərin və ya zəif sönmələrdən asılı olaraq radiovericidə bir modulyasiya üsulundan digərinə keçə bilərik [2, s. 77-82; 6, s. 81-86; 110, s. 1211-1214]. Sönmələrin səviyyəsinin məsafəyə görə deyil, əks kanal üzrə verilə bilən pilot-signalın səviyyəsinə görə qiymətləndirilməsi üçün abonentə pilot-signal göndərməlidir. Ona görə də ikitərəfli interaktivliyin tətbiqi rabitə sistemində müəyyən mürəkkəblik yaratsa da, idarəetmənin daha dəqiq yerinə yetirilməsi üçün ikitərəfli interaktivliyin olması vacibdir.

Tutaq ki, BS-in L kanallı radiovericisində heç bir tənzimləmə aparılmır. Onda BS-in bütün kanalları üzrə radiovericinin gücü elə seçilməlidir ki, o, sətun daxilində bütün abonentlər üçün etibarlı qəbulu təmin etsin. Bu zaman ən pis qəbul şəraitində ən uzaq qəbul məntəqəsində radioqəbuledicinin P_{OA} həssaslığından bir qədər böyük olan

P_t gücü təmin edilməlidir:

$$P_{j|Q} \geq P_t > P_{0A}. \quad (3.2.7)$$

Onda baxılan j -cu BS-in L kanallı radiovericisinin hər kanal üzrə gücləri maksimal tələb olunan qədər olmalıdır:

$$P_{j1,M} = P_{j2,M} = \dots = P_{jL,M}. \quad (3.2.8)$$

Bu halda L kanallı j -cu BS-in cəm şüalanma gücü $LP_{jL,M}$ -ə bərabər olacaqdır. Lakin baxılan sistem yüksək tezliklər oblastında işlədikdə radioqəbuledicinin girişində gərginliyi deyil, gücü təyin etmək faydalıdır. Çünki küylər gərginliklə deyil, öz gücləri ilə xarakterizə olunur, yəni gücə görə siqnal/küy nisbətinin hesablanması məqsədəuyğundur.

Abonentin öz yerini azacıq dəyişməsi də siqnalın səviyyəsinin ciddi dəyişməsinə səbəb ola bilər. Ona görə də mobil abonent qəbulu zamanı məsafəyə görə gücün qabaqcadan müəyyən olunması məqsədəuyğun sayıla bilməz [6].

3.3. İnteraktiv yerüstü TV yayım sisteminin əks kanalında gücün tənzim olunmasının effektivliyi

Gücün adaptiv olaraq tənzim olunması müəyyən texniki tədbirlərin həyata keçirilməsini tələb etdiyindən, praktikada gücün məsafədən asılı olaraq qabaqcadan müəyyən olunması üsulu tətbiq oluna bilər. Yavaş dəyişən sönmələr şəraitində gücün idarə olunması üçün təklif olunmuş metodların birində BS-in gücü aşağıdakı məlum ifadə ilə dəyişdirilir [21, s. 59; 24, s. 2]:

$$P_{ji} = P_{ji0} \phi(R_{ji}), \quad (3.3.1)$$

burada P_{ji} – idarəetmə zamanı j -cu BS-in i -ci abonent üçün verdiyi cari güc, P_{ji0} – j -

cu BS-in i -ci kanalı üzrə gücün ilkin qiyməti, R_{ji} – j -cu BS-lə i -ci abonent arasında olan məsafə, $\phi(R_{ji})$ – gücün R_{ji} məsafəsindən asılı olaraq idarə olunması algoritmidir.

Yavaş dəyişən sönmələr şəraitində gücün idarə olunması (3.3.1) ifadəsinə uyğun tənzim oluna bilər. Sonuncu ifadə göstərir ki, interaktivlik tətbiq olunması ilə əks kanalın vəziyyəti pilot-signalın səviyyəsinə görə öyrənilir və ölçülmüş bu səviyyə əsasında hər hansı kanal üzrə güc sönmələr nəzərə alınmaqla tənzimlənir. Doğrudan da, əgər sönmələrin səviyyəsinin müəyyən edilməsi üçün, məs., (3.2.6) ifadəsi tətbiq olunarsa, onda uzaq abonentlər üçün radiovericinin gücü artırılmalı, yaxın abonentlər üçün isə azaldılmalıdır. Məhz bu səbəbdən gücün tənzimlənməsi “uzaq-yaxın” problemi kimi səciyyələndirilir.

Qəbul məntəqəsində gücün tələb olunan qiyməti energetiki parametrlə müəyyən olunur. Bu isə öz növbəsində radiovericinin şüalanma gücü ilə yanaşı, radiodalğaların fəzada yayılması zamanı yaranan sönmələrdən asılıdır.

Lakin gücün tənzim olunması əvəzinə modulyasiya üsulu və veriliş sürətini dəyişməklə (bu zaman kanal signalının davamətmə müddəti τ_s dəyişəcəkdir) də qəbul məntəqəsində tələb olunan gücü və ya signal/küy nisbətini təmin edə bilərik. Veriliş sürəti ilə signal/küy nisbəti arasında olan

$$\frac{E_b}{N_0} \geq \frac{1}{R} (2^{2R} - 1) \quad (3.3.2)$$

məlum asılılıqdan görünür ki, veriliş sürətinin azalması ilə kanal signalının davamətmə müddəti və deməli, energetiki parametrlərin qiyməti artmış olur [21, s/ 59]. Aydın ki, qəbul məntəqəsində gücün tələb olunan qiyməti və təmin olunan maneədayanılıq həm də qəbul üsulundan asılıdır. Signalın koherent qəbulu üçün səhvlər ehtimalının hesablanması üçün riyazi ifadə və müxtəlif modulyasiya üsulları üçün səhvlər ehtimalının signal/küy nisbətindən asılılıq qrafiklərindən istifadə edərək, QPSK və M-QAM modulyasiyalarında və tətbiq olunmuş Rid-Solomon maneədayanlı kodunun müxtəlif RS sürətlərində parametrlərin qiymətlərini hesablayaraq müqayisə etmək.

Abonent qəbulunun stasionar, portativ və mobil formaları üçün sahə

gərginliyinin minimal tələb olunan qiyməti rəqəmli modulyasiyanın parametrlərindən və veriliş sürətindən asılı olaraq ITU tərəfindən standartlaşdırılmışdır. Əks kanalda rəqəmli modulyasiya üsulları tətbiq olunur. Abonentlər BS-ə və onun birləşdiyi rabitə xətti ilə TV mərkəzinə qoşula bilir.

Ədəbiyyatlarda mobil rabitə sistemində radiovericilərin gücünün tənzimlənməsi üsulları verilmişdir (birinci fəslə bax). Interaktiv TV-də abonent stansiyası və BS-də olan radiovericilərin güclərinin tənzim olunması qarşılıqlı maneələri minimuma endirməyə imkan verəcəkdir. Burada radiovericinin gücünün tənzim olunması halında maneədayanılıqlığının artımının hesablanması məsələsi araşdırılacaqdır. Radioqəbul edicidə müxtəlif qəbul üsulları tətbiq oluna bilər və artıq qeyd olunduğu kimi, maneədayanılıqlığının artımı həm də qəbul üsulundan asılı olacaqdır. Koherent korelyasiya qəbulu ən yüksək maneədayanılıqlığı təmin edən qəbuldur [52, s. 228-233; 80, s. 44-48; 86, s. 3-6; 103, s. 60-63]. Lakin bütün hallarda energetiki parametrlərin qiymətinin artması maneədayanılıqlığının müəyyən artımına səbəb olur [52, s. 228-229; 91, s. 12-16; 108, s. 346-351; 153, s. 37-43; 157, s. 389-392]. Ona görə də əsas məqsədimiz energetiki parametrlərin artımının müəyyən edilməsi olacaqdır.

CDMA sistemində bütün abonentlər eyni bir tezlik zolağında işlədikləri üçün hər bir abonentin qəbuledicisinin girişinə qalan kanallarda işləyən radiovericilərin siqnalları təsir edir. Bundan başqa, qonşu sotlarda işləyən BS-lərin radiovericilərinin də bir qədər zəif olan təsirləri nəzərə alınmalıdır. Lakin bizim məqsədimiz şəbəkədaxili maneələrin səviyyəsini və bunun nəticəsində alınan siqnal/maneə nisbətini müəyyən etmək deyil. Bu məsələ CDMA prinsipi üzrə işləyən mobil rabitə sistemləri üçün artıq müəyyən edilmişdir. Burada biz idarəetmənin tətbiqi nəticəsində interaktiv TV yayım sistemində siqnal/maneə nisbətinin artımını və bunun nəticəsində maneədayanılıqlığının necə dəyişməsinə araşdırmaqdır.

Tutaq ki, interaktiv yerüstü TV yayım sistemində gücün idarə olunması tətbiq olunmuşdur. Dissertasiyanın birinci fəslində idarəetmə sistemləri haqqında ətraflı məlumat verilmişdir (1.6 və 1.7 paragraflarına bax). Baxılan sistemin əks kanalında verilən pilot-siqnalın səviyyəsinə görə gücün tənzim olunmasını təklif edirik. Bu zaman j -cu BS-in L kanallı radiovericisinin hər kanalı öz maksimal gücündə deyil, bu

kanal üçün cari müddətdə tələb olunan gücdə işləyəcəkdir. Gücün tənzimlənməsi səlis və ya pilləli ola bilər. İkinci halda gücün dəqiq seçilməsi tənzimləmə səviyyələrinin sayından asılı olacaqdır.

Tənzimləmə səviyyələrinin sayının M , BS-in radiovericisinin kanallarının sayının L olduğunu bilərək, j -cu BS-in radiovericisinin gücünü hesablaya bilərik [24, s. 3]:

$$P_j = \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^M P_{ji,k} p_{ji,k}, \quad (3.3.3)$$

burada $P_{ji,k}$ – j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının k -cı səviyyəyə uyğun gücü, $p_{ji,k}$ – j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının k -cı səviyyədə olması ehtimalıdır.

(3.3.3) düsturundan istifadə edərək idarəetmənin tətbiqi nəticəsində signal/maneə nisbətinin və ya energetiki effektivliyin artmasını hesablaya bilərik. Bu isə buraxma qabiliyyətinin və maneədayanıqlığının artımını qiymətləndirməyə imkan verəcəkdir. Ən sadə halı nəzərdən keçirək: Yalnız sotun daxilində yaranan maneələr nəzərə alınır, qonşu sotların və digər maneə mənbələri tərəfindən baxılan tezliklər diapazonunda yaradılan maneələrin təsiri nəzərə alınmır. Qeyd edək ki, signal/maneə nisbətinin artımını qiymətləndirmək nöqteyi nəzərindən bütün maneələrin nəzərə alınması o qədər də əhəmiyyətli deyil. Belə ki, bu halda biz signal/maneə nisbətini deyil, idarəetmənin tətbiqi nəticəsində onun dəyişməsinə qiymətləndirmək məqsədini qarşıya qoymuşuq. Bütün maneələrin təsiri nəzərə alındıqda idarəetmə nəticəsində bu nisbət ekvivalent olaraq dəyişəcəkdir.

Çoxkanallı vericinin hər kanalı üzrə gücün idarə olunması həyata keçirilir. Bu zaman j -cu BS-in radiovericisinin l -ci kanalının gücü

$$P_{jl} = \sum_{k=1}^M P_{jl,k} p_{jl,k} \quad (3.3.4)$$

ifadəsindən hesablanı bilər. CDMA sistemində bu BS-in L kanallı radiovericinin qalan bütün $L-1$ kanalının signalı l -ci kanalın signalının qəbulu zamanı maneə hesab olunmalıdır. Onda baxılan hal üçün signal/maneə nisbətini aşağıdakı ifadə ilə hesablaya bilərik:

$$w' = \frac{\sum_{k=1}^M P_{jl,k} p_{jl,k}}{\sum_{i=1}^{L-1} \sum_{k=1}^M P_{ji,k} p_{ji,k}} . \quad (3.3.5)$$

Lakin (3.3.5) ifadəsi interaktiv TV yayım sistemində idarəetmənin tətbiqi nəticəsində signal/maneə nisbətinin necə dəyişməsinə aydın şəkildə təsəvvür etməyə imkan vermir. Ona görə də bu ifadədə müəyyən sadələşdirmə aparmaq və ya xüsusi halları nəzərdən keçirmək məqsədəuyğun hesab oluna bilər.

Aydındır ki, sətun daxilində j -cu BS-in radiovericisinin bütün kanallar üzrə maksimal gücləri bir-birinə bərabər seçilməlidir:

$$P_{j1,M} = P_{j2,M} = \dots = P_{jL,M} \quad (3.3.6)$$

k səviyyəli gücün maksimal gücə olan nisbətini $\gamma_{jl,k} = \frac{P_{jl,k}}{P_{jl,M}}$ ilə, j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının maksimal güclə işləmə ehtimalını $p_{ji,M}$ ilə, j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının κ -cı səviyyədə olması ehtimalını $p_{ji,k}$ ilə və κ -cı səviyyədə olması ehtimalının maksimal güclə işləmə ehtimalına nisbətini $p_{jl,k0} = \frac{p_{jl,k}}{p_{jl,M}}$ ilə işarə edək. Onda j -cu BS-in radiovericisinin gücünü (3.3.6) düsturundan istifadə etməklə belə yazı bilərik:

$$P_j = \sum_{i=1}^L P_{ji,M} p_{ji,M} \left(1 + \sum_{k=1}^{M-1} \gamma_{ji,k} p_{ji,k0} \right) \quad (3.3.7)$$

Yuxarıda işlədilən işarələmələrdən istifadə edərək (3.3.4) ifadəsini belə yazı bilərik:

$$P_{jl} = P_{jl,M} p_{jl,M} \left(1 + \sum_{k=1}^{M-1} \gamma_{jl,k} p_{jl,k0} \right). \quad (3.3.8)$$

(3.3.7) və (3.3.8) ifadələrini (3.3.5)-də nəzərə alsaq tapırıq:

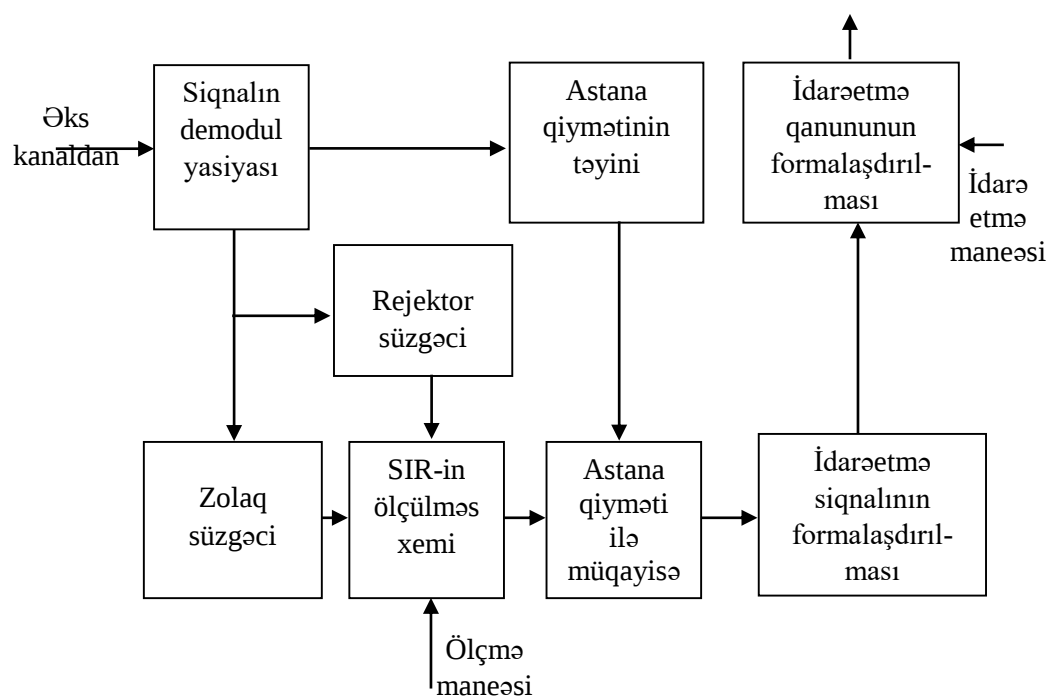
$$w' = \frac{p_{jl,M} (1 + \sum_{k=1}^{M-1} \gamma_{jl,k} p_{jl,k0})}{\sum_{i=1}^{L-1} p_{ji,M} (1 + \sum_{k=1}^{M-1} \gamma_{ji,k} p_{ji,k0})} \quad (3.3.9)$$

(3.3.9) ifadəsi interaktiv yerüstü TV yayım sistemində idarəetmənin tətbiqi ilə gücün idarə olunmasında signal/maneə nisbətinin artmasını birbaşa göstərmir. Əgər

radiovericinin kanalları üzrə bərabər ehtimalla hər hansı k -cı səviyyəyə uyğun güc hasil olunarsa, onda siqnal/küy nisbəti $1/(L-1)$ -ə bərabər olacaqdır. (3.3.9) ifadəsi həm də belə nəticəyə gəlməyə imkan verir ki, gücün tənzimlənməsinin tətbiqi halında bu nisbətdə artım olmaya da bilər. Belə ki, idarəetmənin tətbiqi ilə baxılan l kanalı və digər kanallar üzrə güclərdən asılı olaraq siqnal/maneə nisbəti artmaya, hətta müəyyən hallarda azala da bilər. Məs., radiodalğaların fəzada yayılması zamanı baş verən sönmələrin qiymətləndirilməsi üçün seçilmiş modeldən asılı olaraq baxılan l -ci kanalın gücü kiçik, qalan kanalların böyük əksəriyyətinin gücü çox böyük, sayı isə çox ola bilər. Bu halda radioqəbuledicinin girişində siqnal/maneə nisbəti $1/(L-1)$ -dən kiçik ola bilər. Belə çıxır ki, ümumi halda idarəetmənin tətbiqi siqnal/maneə nisbətini artırmasına səbəb olmur. Lakin bu halda radioqəbuledicinin girişində tələb olunan güc təmin olunur. Deməli, BS-in radiovericisinin kanalları üzrə maksimal güc deyil, qəbul şərtlərindən asılı olaraq ümumi halda ondan kiçik güc hasil edilir. Bu isə o, deməkdir ki, radioverici bu rejimdə işlədikdə onda energetiki qazanc olacaqdır.

3.4. İnteraktiv yerüstü TV yayım sisteminin əks kanalında stoxastik tənzimləmə yolu ilə siqnal/maneə təmin olunması

3.3 paraqrafında alınmış ifadələrdən və aparılmış mülahizələrdən aydın oldu ki, yerüstü interaktiv TV yayımının əks kanalında BS-in çoxkanallı radiovericisində gücün kanallar üzrə tənzimi ümumi halda maneədayanılığını artırmağa xidmət etmir. Lakin maneələrin səviyyəsini azaltmağa və radiovericidə energetiki qazanc əldə etməyə imkan verir. Ona görə də bu kanalda maneədayanılığını artırmaq və ya müəyyən hədd daxilində saxlamaq üçün siqnal/maneə nisbətinin tələb olunan qiymətinin təmin olunmasına ehtiyac vardır. Bu məqsədlə BS-in çoxkanallı radiovericisində kanallar üzrə siqnal/maneə nisbətinin tənziminin həyata keçirilməsini təklif edirik. Rabitə sistemlərində müxtəlif parametrlərin tənzimlənməsinin determinə olunmuş və stoxastik metodları və sxemlərinin analizi göstərir ki, idarəetmə zamanı



Şək. 3.4.1. Sistemlərin stoxastik idarəetmə sxemi

müxtəlif ölçmə və idarəetmə maneələrinin təsirinin olduğunu əsas tutaraq, BS-in çoxkanallı radiovericisində kanalları üzrə siqnal/maneə nisbətinin tənzimlənməsində stoxastik idarəetmənin tətbiqini məqsədəuyğun hesab etmək olar (şəkil 3.4.1).

Tətbiq olunmuş stoxastik tənzimləmə sxeminin girişinə təsir edən radiomaneələr əvvəlcə demodulyasiya olunaraq aşağı tezlikli siqnallara çevrilir. Sonra bu siqnal paralel olaraq zolaq süzgəcinə və rejektor süzgəcinə verilir. Zolaq süzgəcinin çıxışında bu diapazonda təsir edən bütün siqnallar (maneələr), rejektor süzgəcinin çıxışında isə ölçmə üçün nəzərdə tutulan pilot-siqnal ayrılır. Sonra SIR (Signal-to-Interference Ratio) ölçmə sxemi ilə siqnal/maneə nisbəti ölçülür və astana qiyməti ilə müqayisə olunur.

Ölçmənin nəticələrinə görə kanal vericisinin gücünü elə tənzim edirik ki, siqnal/maneə nisbətinin tələb olunan qiyməti təmin olunsun. Bu məqsədlə idarəetmə siqnalı formalaşdırılmalı və idarəetmə qanunu seçilməlidir. Praktikadan məlum olan müvafiq sxemlərdən istifadə etməklə bu vəzifəni həyata keçirmək mümkündür.

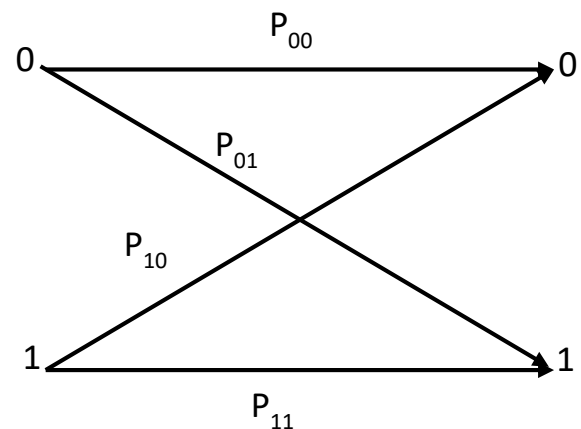
3.5. İnteraktiv yerüstü TV yayım sisteminin əks kanalında maneədayanılıqlığının artırılması

Rabitə sistemlərinin maneədayanılıqlığı onun ən vacib parametrlərindən biri olmaqla uzun illər ərzində tədqiq olunmuşdur [37, s. 201-289; 43, 45, s. 47-49; 66, s. 43-48; 67, s. 191-196]. Xüsusən rəqəmli rabitə sistemlərində maneədayanılıqlığının artırılması imkanları çox genişdir. Tətbiq olunmuş sistemin təmin olunan maneədayanılıqlığını qiymətləndirmək üçün onu potensial maneədayanılıqlığı ilə müqayisə etmək əlverişlidir. Potensial maneədayanılıqlığı təmin oluna bilən ən yüksək maneədayanılıqlıdır. Belə maneədayanılıqlığı optimal qəbuledicilər vasitəsilə təmin oluna bilər. Aydın ki, ümumi bir optimal radioqəbuledici yoxdur. Qəbul şərtlərindən asılı olaraq müxtəlif optimal radioqəbuledicilər ola bilər. Belə radioqəbuledicilərin sxemlərinin qurulması üçün əvvəlcə optimal radioqəbul alqoritmi tərtib olunur. Bu məqsədlə həqiqətə uyğunluq kriteriyası əsasında siqnalın aşkar

edilməsi (bu halda ümumi olaraq maneələrin təsiri şəraitində və küylər fonunda signalın maneədayanıqlı optimal qəbulu – yalnız bir signalın aşkar edilməsi) və ya signalların fərqləndirilməsi (ümumi halda həmin radioqəbul şərtlərində signallar ansamblı içərisindən cari müddətdə verilən signalın optimal qəbulu) alqoritmi qurulur. Daha sonra bu alqoritm əsasında optimal radioqəbuledicinin sxemi tərtib edilir.

Həm optimal radioqəbul alqoritmi, həm də optimal raddioqəbuledicinin sxemi xeyli dərəcədə radioqəbul şərtləri, təsir edən maneələrin texniki statistik xarakteristikaları və sayından asılı olur [70, s. 276-279; 96, s. 220-256; 111, s. 1074-180]. Bizim tədqiq etdiyimiz sistem ikili sistem olduğundan, burada tətbiq olunan optimal radioqəbuledici də ikili signalların fərqləndirilməsi vəzifəsini icra etməlidir. Belə radioqəbuledicinin çıxışında həlletmə qurğusu olur ki, o da signalın tanınmasını həyata keçirir. Yəni bu qurğunun çıxışında qeyd edilən elementar simvolun ya “1”, ya da “0” olması müəyyən olunmalıdır.

Qeyd olunan signal tanındıqdan sonra onun yenidən regenerasiya olunması texniki cəhətdən problem yaratmır. Həmin regenerasiya relaksasiya generatorlarından birinin köməyiylə həyata keçirilə bilər. Səhvlərin baş verməsi elementar simvolun düzgün tanınmaması ilə əlaqədardır, yəni maneə və küylərin təsiri nəticəsində elementar simvollar o qədər çox təhrif oluna bilər ki, onlar həlletmə qurğusunda düzgün tanınmaya bilər. Bu zaman bir simvolun başqa simvola keçməsi baş verəcəkdir. Bircins simmetrik yaddaşsız kanalda ikili simvolların düzgün tanınması P_{00} və P_{11} ehtimalları və simviollardan birinin digərinə keçmə ehtimalları P_{01} və P_{10} nə zamandan, nə də bundan əvvəl verilmiş simvolların asılı olmur və bu ehtimallar öz aralarında bərabər olur: $P_{00} = P_{11}$; $P_{10} = P_{01}$.



Şək.3.5.1. Binar bircins simmetrik kanalda simvolların tanınma ehtimalına dair

Əslində kanalın bircins və yaddaşsız olması şərtləri də adətən reallığa uyğun gəlmir. Belə ki, elementar simvolların birinin digərinə keçmə ehtimalının zamandan asılı olmaması ilə kanalın bircins olması şərti ödənmir. Simvolların birinin digərinə keçmə ehtimalının bundan əvvəl verilən simvolların asılı olması ilə kanalın yaddaşsız olması şərti pozulmuş olur. Ona görə də praktikada çox zaman bircins simmetrik yaddaşsız kanal əvəzinə digər tip kanalları tədqiq etmək lazım gəlir.

Göründüyü kimi, burada videosignalın fərqləndirilməsi məsələsi qarşıya qoyulmuşdur. Halbuki, radioqəbuledicinin girişinə daxil olan signal radiosiqnaldır. Əslində qəbuledici antenada müxtəlif radiosiqnallar e.h.q. induksiyləndirir. Onların arasından faydalı signal seçilməlidir. Bu məqsədlə müxtəlif seçiciliklər (zamana görə seçicilik, istiqamətə görə seçicilik, polarizasiyaya görə seçicilik, tezliyə görə seçicilik) tətbiq oluna bilər. Seçilmiş radiosignal radioqəbuledicinin ilkin kaskadlarında işlədikdən sonra detektorlanır və onun çıxışında videosignalı almış olur. Buradan aydın olur ki, həqiqətə uyğunluq kriteriyası nəticəsində tərtib olunmuş optimal radioqəbul alqoritmi simvolun ya aşkar olunmasını, ya onun variantlarının fərqləndirilməsini, ya da videosignalın parametrlərinin qiymətləndirilməsini təmin edə bilər.

Sabit parametrlili kanal rabitə kanalının xüsusi halı olmaqla praktikaya az uyğun gəlir. Belə kanalda maneədayanıqlığı yalnız additiv maneələrin təsiri nəticəsində aşağı düşə bilər. Reallığa daha uyğun olan dəyişən parametrlili kanalda additiv maneələrdən başqa, multiplikativ maneələrin də təsiri nəzərə alınmalıdır. Radioverici tərəfindən $S(t)$ signalı ötürüldükdə çoxsaylı maneələrin təsiri şəraitində dəyişən parametrlili çoxşüalı kanalda qəbul olunan signal aşağıdakı ifadə ilə göstərilə bilər [2, s. 67]:

$$S'(t) = \sum_{k=1}^N \mu_k(t) S_k(t - \tau_k) + \sum_{i=1}^N \mu_{mi}(t) S_{mi}(t, \psi_{mi}) + n(t), \quad (3.5.1)$$

burada $S_k(t - \tau_k)$ – k -ci şüa üzrə qəbul olunan faydalı signal, $\mu_k(t)$ – rabitə kanalının bu signalı ötürmə əmsalı, τ_k – k -ci şüa üzrə qəbul olunan faydalı signalın gecikmə müddəti, $S_{mi}(t, \psi_{mi})$ – i -ci kanaldakı maneə, $\mu_{mi}(t)$ – rabitə kanalının i -ci maneəni ötürmə əmsalı, ψ_{mi} – bu maneənin başlanğıc fazası, $n(t)$ – fluktuasiya küyləridir.

(3.5.1) ifadəsi göstərir ki, çoxşüalı dəyişən parametrlı kanalda faydalı signal radioqəbuledicinin girişinə müxtəlif yollarla gəlib çatır və bu zaman hər şüa üzrə signalın həm sönməsi, həm də gecikməsi müxtəlif olur. Eyni fikirləri faydalı signala təsir edən N sayda maneə haqqında da bildirmək olar.

Optimal radioqəbuledicilər ideal radioqəbuledicilərdir və bu qəbuledicilərin sxemi mürəkkəbdir. Ona görə də praktikada suboptimal (kvazioptimal) qəbuledicilərdən istifadə oluna bilər.

Qəbul məntəqəsində gücün tələb olunan qiymətinin və təmin olunan maneədayanılığının həm də qəbul üsulundan asılı olduğunu bilərək, əks kanalda maneədayanılığını qiymətləndirmək üçün əvvəlcə qəbul şərtlərini aydınlaşdırmalıyıq. Signalın koherent qəbulu zamanı səhvlər ehtimalının hesablanması üçün riyazi ifadə və müxtəlif modulyasiya üsullarında səhvlər ehtimalının signal/küy nisbətindən asılılıq qrafikləri ədəbiyyatlarda verilmişdir [8-10]. Maneədayanılığının təmin olunması imkanlarının araşdırılması və daha artıq maneədayanılıq təmin edən sistemin seçilməsi aktualıq daşıyır. Bu məqsədlə aşağıdakı şərtləri nəzərə almaq məqsədəuyğundur.

Əgər əks kanalda passiv pauzal ikili rabitə sistemi tətbiq olunmuşsa, onda bu zaman signalın optimal qəbulu onun aşkar olunmasına gətirilir. Həmin aşkar olunma zamanı səhvlərin hesablanması iki variant üçün tədqiq oluna bilər: 1. Yalnız küylərin təsiri nəzərə alınmaqla signalın aşkar olunması. 2. Küylərin və maneələrin təsiri nəzərə alınmaqla signalın aşkar olunması. Hər iki halda signalın müxtəlif optimal qəbul üsulu tətbiq oluna bilər. Birinci halda aşağıdakı ifadədən istifadə edərək, M-QAM signalının koherent optimal qəbulu üçün səhvlər ehtimalını hesablamaq olar [2, s. 79; 111, s. 1076]:

$$p_s(h_b^2) = \frac{2^{(1-\frac{1}{\sqrt{M}})}}{\log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{2(M-1)}} h_b^2\right), \quad (3.5.2)$$

burada $E_b = T_b P_s$, P_s – signalın orta gücü, T_b – informasiya bitinin davamətmə müddəti, M – QAM signalının mövqələrinin sayı, $Q(\cdot)$ – səhvlər funksiyasıdır.

(3.5.2) ifadəsi maneələrin təsiri nəzərə alınmadıqda koherent optimal qəbul yolu

ilə siqnalın aşkar olunması zamanı səhvlər ehtimalını hesablamağa imkan verir. T_b davamətmə müddəti QAM-ın mövqelərinin sayından və siqnalın spektral zolağının enindən asılı olaraq hesablanı bilər. Belə ki, hər bir elementar göndərişin (simvolun) davamətmə müddəti $T_{es} = \frac{1}{\Delta F_s}$ düsturu ilə hesablanır, burada ΔF_s – siqnalın spektrinin enidir.

İnformasiya bitinin T_b davamətmə müddəti ilə bir elementar göndərişin davamətmə müddəti arasında əlaqə düsturu məlumdur [2, s. 22]:

$$T_b = T_{es} / \log_2 M. \quad (3.5.3)$$

(3.5.3) ifadəsindən istifadə edərək hesablamaq olar ki, məs., 64-QAM üçün bitin davamətmə müddəti göndərişin davamətmə müddətindən 6 dəfə kiçikdir. Səhvlər ehtimalı energetiki parametrlərin qiymətinə görə hesablanır [(3.5.2) ifadəsi]. Siqnal/küy nisbətinin qiyməti isə bitin davamətmə müddəti ilə mütənasibdir.

Siqnalın qəbul məntəqəsində tanınmasının (qeyd olunmasının) üç üsulu bəllidir. Bunlardan ən sadəsi stroblama üsuludur ki, bu zaman stroblama anında siqnalın amplituduna görə qərar qəbul olunur. Buradan aydın olur ki, energetiki parametrlərin qiymətinə görə səhvlərin hesablanması qəbul məntəqəsində siqnalın enerjisinə görə tanınması üsulu üçün doğru sayıla bilər.

(3.5.3) ifadəsindən aydın olur ki, siqnalın spektrinin eni dəyişmədikdə QAM-ın mövqelərinin sayının artması ilə bitin enerjisi loqarifmik olaraq azalır. Lakin bu zaman veriliş sürəti artmış olur.

Qəbul olunan siqnalın başlanğıc fazası bəlli olmayan hallarda qeyri-koherent optimal qəbul aparıla bilər. Belə qəbul sürətli sönmələrin baş verdiyi kanal üçün xarakterikdir. Çünki bu halda qəbul məntəqəsində siqnalın başlanğıc fazasını ölçmək çətindir. Bu qəbul zamanı da səhvlər ehtimalı ümumi halda energetiki parametrdən asılı olur [8].

Lakin çox zaman siqnalların qəbuluna küylərlə yanaşı maneələr də təsir edir. Bu halda maneələrin statistik texniki xarakteristikaları əsasında siqnalın optimal qəbulu algoritmi qurulmalıdır.

Əgər aktiv pauzalılı ikili sistem tətbiq olunarsa, onda siqnalın optimal qəbulu ikili siqnalların fərqləndirilməsinə gətirilir. Bu zaman yalnız küylərin təsiri nəzərə alınmaqla və ya küylərin və maneələrin təsiri nəzərə alınmaqla ikili siqnalların fərqləndirilməsi alqoritmi qurulmalı və səhvlər ehtimalını hesablamaq üçün müvafiq ədəbiyyatlarda bu şərtlərə uyğun riyazi ifadələrdən istifadə olunmalıdır. Bu şərtlərlə yanaşı optimal radioqəbulla əlaqəli olan digər şərtlər də nəzərə alınmalıdır. Məs., spektrə görə toplanmış maneələrin təsiri şəraitində qeyri-koherent optimal qəbul (iki siqnalın optimal fərqləndirilməsi) zamanı səhvlər ehtimalı aşağıdakı təxmini ifadə ilə hesablanabilir [66, s. 44]:

$$p \approx \left(1 + \frac{\alpha_{ms} \nu \overline{h_m^2}}{\Delta F_s T_b} \right) \frac{1}{h_1^2}. \quad (3.5.4)$$

Burada $h_1^2 = \frac{P_1 T}{N_0}$, $\overline{h_m^2} = \frac{\overline{P_m} T}{N_0}$, P_1 – “1” simvoluna uyğun olan siqnalın gücü, $\overline{P_m}$ – spektrə görə toplanmış maneələrin gücünün orta statistik qiyməti, ν – siqnal və maneənin parametrlərini göstərən sabit kəmiyyət, α_{ms} – siqnal və maneə arasında qarşılıqlı əlaqəni göstərən əmsaldır. Siqnal və maneənin spektrləri kəsişən halda $\alpha_{ms}=2$ qəbul olunur [66, s. 45].

Bu ifadədə h_1^2 və h_0^2 uyğun olaraq bir və sıfır uyğun siqnalların enerjisinin küyün intensivliyinə nisbətini xarakterizə edir. Həmin nisbətlər əsasında və digər şərtlər nəzərə alınmaqla ikili siqnalların optimal fərqləndirilməsi alqoritmi qurula və səhvlər ehtimalını hesablamaq üçün riyazi ifadə çıxarıla bilər. Bu halda, məs., $h_0^2 = 0$ qəbul etsək, onda alınmış ifadədən faydalı siqnalın optimal aşkar olunması zamanı baş verən səhvlər ehtimalını hesablamaq üçün riyazi ifadə çıxara bilərik.

Aparılmış mülahizələrdən aydın olur ki, əks kanalın maneədayanıqlığı qəbul şərtləri, qəbul üsulları və veriliş sürətindən çox asılıdır. Bunu bir daha əsaslandırmaq üçün QPSK və M-QAM modulyasiyalarında və tətbiq olunmuş Rid-Solomon maneədayanıqlı kodunun müxtəlif RS sürətlərində parametrlərin qiymətlərini hesablayaraq müqayisə edə bilərik.

QPSK və M-QAM modulyasiyalarında koherent qəbul şəraitində

maneədayanıqlığının təmin olunması üçün siqnal/küy nisbətinin tələb olunan səviyyəsinin və məxsusi veriliş sürətinin hesablanmış qiymətləri ədəbiyyatlarda verilmişdir [51, s. 145, s. 409].

Verilmiş qiymətlərin müqayisəsindən görünür ki, gücün sabit qiymətində modulyasiya üsulunun dəyişməsi maneədayanıqlığına ciddi təsir edir. Məs., E_b/N_0 nisbəti təxminən 1,8 dəfə azaldıqda belə, eyni bir səhvlər ehtimalının ($p_s = 1 \cdot 10^{-5}$) təmin olunması üçün gücü dəyişmədən 64-QAM modulyasiyasından QPSK-ya keçmək kifayətdir.

3.6. TV yayım və proqramların paylanması sistemlərinin qəbuledicilərində simvolların stroblama metodu ilə tanınması zamanı elementar impulsların formatının seçilməsi yolu ilə maneədayanıqlığının artırılması

Artıq qeyd edildiyi kimi, siqnalların optimal radioqəbulu zamanı simvolların tək-tək tanınması və ya bütövlükdə qəbul üsullarının birindən istifadə edilə bilər və ikinci halda həlletmə qurğusu nisbətən mürəkkəb olduğundan praktikada simvollar üzrə (təkelementli) qəbul daha çox tətbiq olunur. Təkelementli qəbul zamanı qəbuledicinin həlletmə qurğusu siqnalın hər bir elementini ayrı-ayrılıqda tanımalıdır.

Rəqəmli veriliş sistemlərində simvolların tanınması üçün həm ideal, həm də real radioqəbuledicilərdə həlletmə qurğusundan istifadə olunur. İdeal qəbuledicilərin təmin etdiyi maneədayanıqlığı potensial (mümkün olan ən yüksək) maneədayanıqlığı olsa da, praktikada elə radioqəbuledicilər ola bilər ki, onlar potensial maneədayanıqlığına yaxın maneədayanıqlığı təmin etsinlər. Belə radioqəbuledicilərdə əvvəlcə kvazioptimal süzgəcləmə, sonra koherent və ya qeyri-koherent detektorlama yerinə yetirilərək, modullayıcı siqnal ayrılır [52, s. 124-131, s. 146-158]. Üçüncü əməliyyat olaraq simvolların tanınması həyata keçirilir.

Simvolların tanınması üçün korrelyasiya metodu, integral metod və ya daha sadə və daha asan həyata keçirilən stroblama metodundan istifadə olunur [69, s. 62-64].

İlkin modulyasiya mərhələsində signalın formatı müəyyən edilir. Oxşar problem müxtəlif rəqəmli veriliş sistemləri üçün artıq tədqiq edilmişdir [51, s. 30-51]. Televiziya yayım sistemlərində yüksək veriliş sürəti və maneədayanıqlığı təmin edən spektri kocsinskvaadratik formada kəsilən impulslardan istifadə olunur və onlar bir-birini örtmək şərti ilə verilə bilər. Elementar impulsların formatının düzgün seçilməsi ilə simvolun gücünün küyün gücünə nisbəti artmış olur ki, bu da sistemin maneədayanıqlığını artırmağa imkan verir.

Ön sadə stroblama metodunda takt anlarında ikili signalın səviyyəsi onun maksimal qiymətinin yarısına bərabər olan astana səviyyəsi ilə müqayisə edilir. Bu qiymətdən yuxarı olan səviyyə bir simvol, aşağı olan səviyyə isə əks simvol kimi tanınır. Təhrif olunmuş simvolların həlletmə qurğusu tərəfindən tanınması zamanı səhvlərin baş vermə səbəblərindən biri də stroblama metodunda takt anlarının dəyişməsidir [69, s. 63-67; 144, s. 33-36]. Takt anlarının dəyişməsi ümumi halda, impulsların ön və arxa cəbhələrində təhriflərin (kənar təhriflərin) yaranmasına, hətta impulsların bölünməsinə səbəb olur. Kənar təhriflərin təsadüfi, müntəzəm və xarakterik növləri olur.

İki ardıcıl impulsun bir-birini örtməsi şərti ilə verildiyi halda takt anlarının dəyişməsinin buraxıla bilən həddini hesablayaq.

Telekommunikasiyada bir sıra məsələlərin həllində sıçrayışlar nəzəriyyəsindən istifadə olunur [61, s. 410-428]. Burada deterministik impulslara çox da güclü olmayan küylər əlavə olunduqda radioqəbuledicinin həlletmə qurğusunun qeyri-stabilliyini qiymətləndirmək üçün sıçrayışlar nəzəriyyəsindən istifadə edə bilərik.

Maneələrin səviyyəsi kiçik olduqda qeydetmə qurğusunun səhvən işləməsi ehtimalı cüzi olur. Bu halda səhvlər əsasən qeydetmə səviyyəsinin fluktuasiyası nəticəsində baş verir. Radioqəbuledicidə impulsların qeydiyyatı zamanı bu fakt nəzərə alınmalıdır. Qeydetmə astanasının qeyri-stabilliyi də simvolların səhv tanınmasına səbəb ola bilər. Astana qurğusunun ətalətsiz olduğunu fərz edək və onun qeyri-sabitliyini qiymətləndirək.

Naykvist impulslarından istifadə edildikdə onları bir-birini örtməklə verə bilərik (şəkl. 3.6.1). İmpulslarda təhriflər olmadıqda takt anlarında onlar arasında qarşılıqlı

(simvollararası) interferensiyalar yaranmır.

Qeyd edildiyi kimi, impulsların verilməsi zamanı müxtəlif səbəblərdən takt anlarının sürüşməsi (fluktuasiyası) baş verə bilər. Bu isə simvollararası interferensiyaların yaranmasına və qəbuledicidə impulsların düzgün tanınmamasına gətirib çıxara bilər. Belə səhvlər takt anlarının fluktuasiyası müəyyən səviyyədən artıq olduqda baş verə bilər və həmin səviyyənin müəyyən olunması maraq doğurur. Tutaq ki, iki impuls bir-birini örtmək şərti ilə verilir və ümumi halda hər iki impulsun takt anlarında sürüşmə baş verir. Birinci impulsun takt anının sürüşməsini Δt_1 , ikinci impulsun takt anının sürüşməsini isə Δt_2 ilə işarə edək. Aydındır ki, ümumi halda bu iki sürüşmə bir-birindən fərqli olacaqdır: $\Delta t_1 \neq \Delta t_2$. Şəkil 3.6.2-də iki impulsun bir-birini örtməklə verilməsi (bütöv xətlərlə göstərilən əyrilər) və onların uyğun olaraq Δt_1 və Δt_2 qədər sürüşməsindən sonrakı impulsar (qırıq xətlərlə göstərilən əyrilər) ardıcılığı verilmişdir.

Tutaq ki, ikili sistemdə həlletmə qurğusu impulsarı H_0 səviyyəsinə görə tanıyır, yəni H_0 -dan yuxarı olan səviyyə bir simvol kimi, aşağı olan səviyyə isə əks simvol kimi tanınır. Ayrıca verilən bir simvolun stroblama metodu ilə tanınma şərtini belə yazı bilərik:

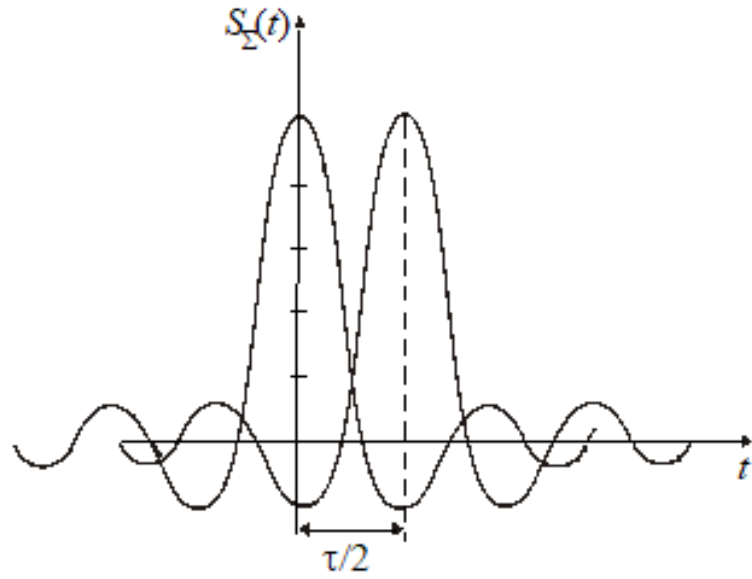
$$S(t_0) \geq H_0, \quad (3.6.1)$$

burada t_0 – stroblama anı, $S(t)$ – impulsun zaman xarakteristikasıdır.

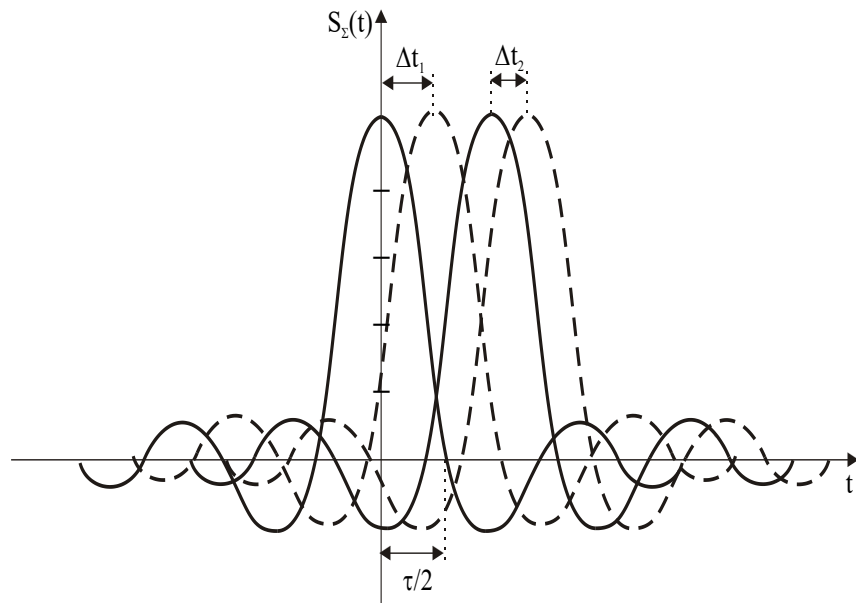
(3.6.1) şərti qəbul olunmuş tək impulsu səviyyəyə görə qiymətləndirmək üçün yazılmışdır. Fərz edək ki, impulslarda təhriflər baş verməmişdir. Küylərin və maneələrin təsiri nəzərə alınmazsa, impulsar ardıcılığı verildikdə belə bu şərt dəyişməyəcəkdir. Çünki bu zaman takt anlarında bütün qalan impulsların davamı sıfırdan keçir.

Tutaq ki, yuxarıda qeyd olunan iki impuls bir-birini örtməklə verildikdə hər iki impulsun zamana görə sürüşməsi baş verir. Bu halda (3.6.1) şərtini (yəni t_0 anında impulsun düzgün tanınması şərtini) aşağıdakı kimi yazı bilərik (şəkil 3.6.2-yə bax):

$$S_1(t_0 - \Delta t_1) + S_2(t_0 + \tau/2 - \Delta t_2) \geq H_0, \quad (3.6.2)$$



Şək.3.6.1. Seçilmiş elementar impulsların bir-birini örtməklə verilməsi



Şək.3.6.2. Bir-birini örtməklə verilən iki impulsda takt anlarının sürüşməsi

burada $S_1(t)$ və $S_2(t)$ – uyğun olaraq birinci və ikinci impulsun zaman xarakteristikaları, τ – impulsun bazasının davamətmə müddətidir.

Takt anlarının Δt_1 və Δt_2 fluktuasiya səviyyələrinin böyük olmadığını qəbul edək. Bu, praktikadan alınmış nəticələrə tam uyğundur. Belə ki, qeyri-stabillik nəticəsində takt anlarının sürüşməsi müasir telekommunikasiya texnikasında böyük olmur. Seçilmiş impulsar ardıcılığı bir-birini örtmək şərtlə verildikdə və onlarda takt anlarının zamana görə sürüşməsi baş verdikdə bu impulsların radioqəbuledicidə stroblama metodu ilə tanınması zamanı səhvlərin baş vermə şərtləri həm maneələrin və küylərin təsiri nəzərə alınmamaq və həm də onların təsiri nəzərə alınmaqla ədəbiyyatlarda tədqiq olunmuşdur [69, s. 62-89]. Burada bizim məqsədimiz həmin ifadələri və alınmış nəticələri təkrar istifadə etmək deyil, qeyd etmə qurğusunun işə düşmə zamanının səpələnməsi parametridən istifadə etməklə qeyri-stabilliyin orta kvadratik qiyməti və sürüşmənin dispersiyasını hesablamaq üçün ifadə çıxarmaqdan ibarətdir.

$S_1(t)$ və $S_2(t)$ impulslarının zaman xarakteristikalarının eyni $S(t)$ olmasını, $S_2(t_0 + \tau/2) = S_1(t_0)$ bərabərliyini və $S(t_0) = 2H_0 = h$ şərtini nəzərə alaraq takt anlarının sürüşmə müddətinin hesablanması üçün ifadə alınmışdır [69, s. 68]. :

$$\frac{\Delta t_1^2 + (\Delta t_2 - \tau/2)^2}{2} S_1''(t_0) + (\Delta t_1 + \Delta t_2 - \tau/2) S_1'(t_0) + 2S_1(t_0) \geq H_0. \quad (3.6.3)$$

burada $S_1'(t)$ və $S_2'(t)$ – uyğun olaraq $S_1(t)$ və $S_2(t)$ -nin birinci tərtib törəmələri, $S_1''(t)$ və $S_2''(t)$ – uyğun olaraq $S_1(t)$ və $S_2(t)$ -nin ikinci tərtib törəmələridir.

Bu ifadədən istifadə edərək, takt anlarının dəyişməsinin buraxıla bilən həddini tapa bilərik. Məs., kosinuskvadratik impulsların $\left[-\frac{\tau}{2} \leq t \leq \frac{\tau}{2}\right]$ parçasında zaman xarakteristikasının $S(t) = h \cos^2 \frac{\pi}{\tau} t$ olduğunu bilərək, onun birinci və ikinci tərtib törəməsini tapırıq:

$$S'(t) = -\frac{2\pi}{\tau} h \cos \frac{\pi}{\tau} t \sin \frac{\pi}{\tau} t; \quad S''(t) = \frac{2\pi^2}{\tau^2} h \left(\sin^2 \frac{\pi}{\tau} t - \cos^2 \frac{\pi}{\tau} t \right). \quad (3.6.4)$$

$t = t_0$ olduqda $S''(t_0) = -\frac{2\pi^2}{\tau^2}h$ olduğunu hesablayırıq. Buradan xüsusi halda $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$ şərti üçün (3.6.4) ifadəsindən takt anlarının dəyişməsinin buraxıla bilən həddini hesablayırıq: $\Delta t_{bur} = \frac{\tau}{4} + \frac{0,73\tau}{2\pi}$.

Qeyd edək ki, bu hesabatı praktikada geniş istifadə olunan digər impulsar üçün də apara bilərik. Takt anlarının dəyişməsinin buraxıla bilən həddən artıq olması impulsun düzgün tanınmamasına səbəb olur. Burada iki ardıcıl impulsun bir-birini örtməsi şərti ilə verildiyi halda takt anlarının dəyişməsinin buraxıla bilən həddini hesabladıq. Takt anlarının dəyişməsinin hesablanmış həddən böyük olması (3.6.2) şərtinin pozulmasına səbəb olur. Hər iki impuls üçün takt anlarının dəyişməsinin baş verdiyi və onların bərabər olduğu halı nəzərdən keçirdik. Ümumi halda iki impulsda takt anlarının sürüşmələri müxtəlif ola bilər və ya bu sürüşmə yalnız bir impulsda baş verə bilər. Lakin təcrübələr göstərmişdir ki, takt anlarını sürüşməsinə yaradan səbəblər adətən davamlı olur və ona görə də ardıcıl olaraq bir çox impulsu əhatə edir. Bundan başqa, takt anlarının dəyişməsinə yaradan səbəblərin çoxunun təsir dərəcəsi bərabər olur. Ona görə də takt anlarının dəyişməsinin bir neçə impulsa şamil olunması və onların səviyyəsinin bərabər və ya təxminən bərabər seçilməsi praktiki nəticələrə uyğundur.

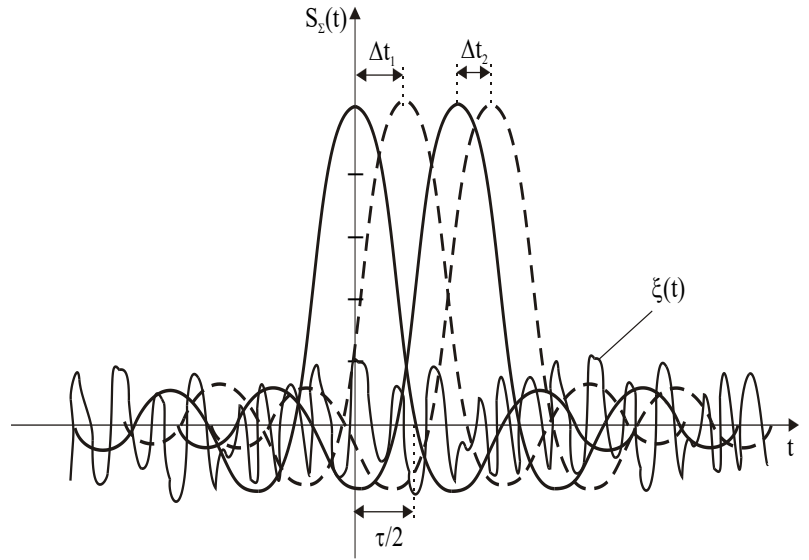
Takt anlarının dəyişməsinin deterministik halını nəzərdən keçirdik. Praktikada isə həm küylərin, həm də maneələrin təsiri mövcud olur və bu təsirlər nəzərə alınmalıdır. Aydındır ki, küylər və maneələrin təsiri halında takt anlarının fluktuasiyası baş verə bilər və bu halda sürüşmənin qiyməti onun ehtimal xarakteristikaları ilə qiymətləndirilməlidir. Belə ki, iki ardıcıl impuls verilən zaman həlletmə qurğusunun girişində ümumi siqnal $S_x(t)$ deterministik siqnalı ilə təsadüfi prosesin – küy və (və ya) maneə kimi təsadüfi proseslərin cəmindən ibarət olur. Bu cəm özü də təsadüfi prosesdir. Çünki determinə olunmuş proseslə təsadüfi prosesin cəmi təsadüfi proses olur [61, s. 134-136]. Ona görə də siqnalın tanınması şərtlərini müəyyən etmək üçün onun ehtimal sıxlığının və riyazi gözləməsinin təyin olunması məqsəduyğun hesab oluna bilər.

Qəbul edək ki, tək impulsa additiv maneələr təsir edir. Tutaq ki, maneə

diferensiallanandırsa və takt anlarının sürüşməsi çox böyük deyil. Qeyd edək ki, maneənin diferensiallanan olması və takt anlarının sürüşməsinin çox böyük olmaması şərtlərinin hər ikisi praktikaya uyğundur. Belə ki, baxdığımız rabitə kanalının buraxma zolağı məhduddur. Ona görə də bu kanalda siqnalın (maneənin) yüksək tezlik təşkilediciləri söndürülür və nəticədə bu siqnalın və ya maneənin zaman xarakteristikasında olan sərt keçidlər səlis keçidlərə çevrilir. Ona görə də təsir edən additiv maneələr diferensiallanan sayıla bilər. Digər tərəfdən, müasir həlletmə qurğularında yüksək stabilizasiyalı sxemlərdən istifadə edilir ki, bu halda takt anlarının sürüşməsi böyük qiymət ala bilməz.

Tutaq ki, fluktuasiya küyləri fonunda ard-arda iki impuls verilir (şək. 3.6.3).

Burada bütöv xətlə göstərilmiş ilkin iki impuls və qırıq xətlərlə ilkin impulsların sürüşməsi nəticəsində əmələ gəlmiş iki impuls verilmişdir. Qrafikdə həm də fluktuasiya küylərinin bir realizasiyası $\xi(t)$ kimi göstərilmişdir.



Şək. 3.6.3. Fluktuasiya küyləri fonunda verilən iki impulsda takt anlarının sürüşməsinə dair

Bu halda həm də şərtləşək ki, maneənin diferensiallanan olması və takt

anlarının sürüşməsinin çox böyük olmaması şərtləri yerinə yetirilir. Takt anlarının sürüşməsi kiçik olduğu üçün $\Delta t^2 \approx 0$ hesab edə bilərik. Kosinusoidal, kosinuskvadratik, zəngşəkilli və b. impulsar üçün $S'(t_0) = 0$.

Fluktuasiya küylərinin normal paylanmaya tabe olmasını əsas götürək. Ümumi halda birinci impulsun takt anının sürüşməsi Δt_1 , ikinci impulsun takt anının sürüşməsi isə Δt_2 ola bilər.

$S(t_0) = 2H_0$ şərtini nəzərə alsaq və $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$ qəbul etsək, onda baxılan impulsar və onlara oxşar olaraq $S'(t_0) = 0$ şərtini ödəyən digər impulsar üçün takt anlarının dəyişməsinin ehtimal sıxlığı belə tapıla bilər [69, s. 78; 76, s. 18]:

$$w(\Delta t) = \frac{\frac{\tau}{2}|S_1''(t_0)|}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left[\frac{\tau}{2}S_1''(t_0)\Delta t - \frac{\tau^2}{8}S_1''(t_0) - 3H_0 - a_\xi \right]^2}{2\sigma^2} \right\}, \quad (3.6.5)$$

burada a_ξ və $\sigma^2 = \xi(t)$ fluktuasiya küylərinin uyğun olaraq riyazi gözləməsi və dispersiyasıdır.

Sonuncu ifadə normal paylanmanın ifadəsidir. Bu o, deməkdir ki, əgər seçilmiş impulsar ardıcılığı küylər fonunda verilirə və müəyyən səbəblərdən takt anlarının sürüşməsi baş verirsə, onda bu sürüşmə normal paylanma qanununa tabe olur. Ehtimal sıxlığının alınmış ifadəsindən istifadə etməklə takt anlarının sürüşməsi üçün müxtəlif parametrləri təyin edə bilərik.

Lakin bu ifadədən istifadə etməklə parametrlərin hesablanması müəyyən mürəkkəbliklərlə üzləşir. Bundan başqa, (3.6.5) ifadəsi takt anlarının sürüşməsi haqqında tam təsəvvür yaratmır. Bu səbəbdən bəzən mühəndis hesablamaları üçün qeyri-stabilliyin orta kvadratik qiymətindən istifadə olunur. Takt anlarının sürüşməsinin ehtimal sıxlığı məlum olduqda, bu sürüşmənin dispersiyası məlum ifadə ilə tapıla bilər. Takt anlarının sürüşməsinin ehtimal sıxlığı üçün alınmış (3.6.5) düsturundan istifadə edərək sürüşmənin dispersiyasını tapa bilərik:

$$\sigma^2(\Delta t) = \frac{\frac{\tau}{2}|S_1''(t_0)|}{\sigma\sqrt{2\pi}} \times \int_{-\infty}^{\infty} (\Delta t)^2 \exp \left\{ -\frac{\left[\frac{\tau}{2}S_1''(t_0)\Delta t - \frac{\tau^2}{8}S_1''(t_0) - 3H_0 - a \right]^2}{2\sigma^2} \right\} d(\Delta t). \quad (3.6.6)$$

Normal təsadüfi proseslər üçün takt anlarının sürüşməsinin orta kvadratik xətası aşağıdakı məlum ifadə ilə hesablanır [144, s. 35]:

$$\sigma(\Delta t) = \left| \frac{1}{w(x)} \frac{d^2 w(x)}{dx^2} \right|_{x=0}^{-1/2}. \quad (3.6.7)$$

Burada $w(x)$ – takt anlarının sürüşməsinin ehtimal sıxlığıdır.

(3.6.7) ifadəsinin köməyi ilə takt anlarının sürüşməsinin orta kvadratik xətasının hesablanması bəzən mürəkkəb analitik ifadələrə gətirib çıxara bilər. Bu halda impulsları qeyd edən qurğunun işə düşmə zamanının səpələnməsi parametrindən istifadə olunur. Həmin parametr aşağıdakı ifadə ilə hesablanı bilər [144, s. 36]:

$$\tilde{\sigma}(\Delta t) = \left| \frac{1}{w(\Delta t)} \frac{d^2 w(\Delta t)}{d(\Delta t)^2} \right|_{\Delta t=0}^{-1/2}. \quad (3.6.8)$$

(3.6.8) ifadəsi bəzi sadələşdirmələr nəzərə alınmaqla belə yazıla bilər:

$$\tilde{\sigma}(\Delta t) \approx \sigma / S'(t_0). \quad (3.6.9)$$

Müxtəlif elementar impulsar üçün $\tilde{\sigma}(\Delta t)$ -nin qiymətlərini tapa bilərik. Məs., kosinuskvadratik impulsar üçün tapırıq:

$$\left[-\frac{\tau}{2} \leq t \leq \frac{\tau}{2} \right] \text{ parçasında impulsun zaman xarakteristikası: } S(t) = h \cos^2 \frac{\pi}{\tau} t.$$

$$\text{Birinci tərtib törəməsi: } S'(t) = -\frac{2\pi}{\tau} h \cos \frac{\pi}{\tau} t \sin \frac{\pi}{\tau} t.$$

$$t_0 \text{ nöqtəsində ikinci tərtib törəmənin qiyməti: } S'(t_0) = \frac{\pi}{\tau}.$$

$$\text{Bunları (3.6.12) ifadəsində nəzərə alsaq tapırıq: } \tilde{\sigma}(\Delta t) \approx \sigma \tau / \pi.$$

Aydındır ki, $\tilde{\sigma}(\Delta t)$ parametri digər impulsar üçün də hesablanı bilər. Həm də bu zaman böyük riyazi hesablamalar tələb olunmur.

Üçüncü fəsil üzrə nəticələr

Radiodalğaların fəzada yayılması zamanı baş verən sönmələrin dərinliyini nəzərə almaq və idarəetmənin daha dəqiq yerinə yetirilməsi üçün üçün ikiistiqamətli interaktivliyin tətbiqi məqsəduyğun sayıla bilər. Sadə və çoxkanallı yerüstü interaktiv TV yayım sistemlərində rabitə xətti olaraq fəza rabitə xətti seçildikdə əks kanal üzrə rabitə sisteminin şanvari prinsip üzrə qurulması məqsəduyğun hesab oluna bilər.

Sadə və çoxkanallı yerüstü interaktiv TV yayım sistemlərində BS-in radiovericisində və abonent radiovericisində gücün tənzim olunması pilot-signalın səviyyəsinə görə aparıla bilər.

Gücün belə tənzim olunması nəticəsində BS-in çoxkanallı radiovericisinin kanal vericiləri maksimal güc rejimində deyil, tələb olunan güc rejimində işləyir ki, bu da işlədilən gücə görə effektivliyin artımına səbəb olur.

Çoxkanallı BS radiovericilərinin güclərinin tənzim olunması nəticəsində həm baxılan, həm də digər BS-lər tərəfindən yaradılan spektrə görə toplanmış maneələrin səviyyəsi azalmış və deməli, maneədayanıqlığı artmış olur.

Rəqəmli veriliş sistemlərində impulsların takt anlarının dəyişməsinin buraxıla bilən hədəm artıq olması impulsun radioqəbuledicidə düzgün tanınmamasına səbəb olur. Bu sürüşmə kiçik olduqda onun buraxıla bilən həddi impulsar ardıcılığının zaman xarakteristikasını sıraya ayırmaqla hesablamaq olar.

İmpulsların radioqəbuledicidə düzgün tanınmasına maneələr və küylər də təsir edir. Bu halda takt anlarının dəyişməsinin ehtimal sıxlığı əsasında takt anlarının sürüşməsinin orta kvadratik xətası hesablanı bilər.

Takt anlarının sürüşməsinin orta kvadratik xətasının hesablanması bəzən mürəkkəb analitik ifadələrlə nəticələnir ki, bu səbəbdən də impulsları radioqəbuledicidə qeyd edən qurğunun işə düşmə zamanının səpələnməsi parametridən istifadə etmək daha əlverişlidir. Həmin parametrdən istifadə etməklə impulsların radioqəbuledicidə qeyd olunması zamanı baş verən xətaların hesablanması mürəkkəb riyazi çevirmələr tələb etmir. Kosinuskvadratik impulsar üçün impulsları qeyd edən qurğunun işə düşmə zamanının səpələnməsi $\tilde{\sigma}(\Delta t) \approx \sigma\tau/\pi$ -dir.

IV FƏSİL. İNTERAKTİV SADƏ VƏ ÇOXKANALLI YERÜSTÜ RƏQƏMLİ TV YAYIM SİSTEMİNİN TƏCRÜBİ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ ÜÇÜN NƏQLİYYAT SELİNİN PARAMETRLƏRİNİN VƏ KANAL AVADANLIQLARININ KEYFİYYƏT GÖSTƏRİCİLƏRİNİN ÖLÇÜLMƏSİ

4.1. İlkin qeydlər

Rəqəmsal TV sistemlərində siqnallar üzərində aparılan xüsusi çevirmə və əməliyyatlar analoq TV ilə müqayisədə burada yeni ölçmə və nəzarət metodlarının tətbiqinə yol açmışdır [105, s. 1542-1546]. TV yayım sisteminin əsas manqalarının işinin yoxlanılması məqsədilə rəqəmsal TV-də nəqliyyat selinin parametrlərilə yanaşı, BER və SNR-in (Signal to Noise Ratio – Siqnal küy nisbəti) ölçülməsi və kvadratur siqnalların analizi həyata keçirilir. Sonuncu modulyatorun işini qiymətləndirməyə imkan verir. Bu məqsədlə modulyasiya səhvləri əmsalından (MER – Modulation Error Ratio) istifadə etmək əlverişlidir. BER-in SNR nisbətindən olan asılılığının müəyyən edilməsinin də əhəmiyyəti böyükdür.

Aydındır ki, TV təsvirlərində ötürülməli olan məlumat miqdarı həddindən artıq çoxdur. Ona görə də TV təsvirlərinin verilməsi zamanı hər bir təsvir komponentlərə (kadrlara, kadrlar sahələrə, hər sahə sətrlərə, hər element haqqında məlumat parlaqlıq və rəngliliyə, rənglilik isə rəngin tonu və rəngin tündlüyünə) bölünür. Ona görə də verici tərəfdə təsvirin analizi və qəbul tərəfdə təsvirin sintezi yerinə yetirilir. Ona görə də TV-də işıq və radiotexniki ölçmələr kompleksi tətbiq olunur [39, s.16-34]. TV texnikasında bəzi parametrlərin ölçülməsi üçün çox mürəkkəb avadanlıqlar tələb oluna bilər. Ona görə də təsvirlərin keyfiyyətinin dəyərləndirilməsi üçün bəzi parametrlərin elektriki ölçülməsi, bəzilərinin isə subyektiv qiymətləndirilməsi tətbiq oluna bilər [123]. Lakin müasir rəqəmsal TV sistemlərində subyektiv qiymətləndirmə çox saylı eksperimentlər, nisbətən böyük müddət tələb edə bilər və bu zaman qiymətləndirmənin nəticələri süjetin özündən asılı ola bilər. Obyektiv qiymətləndirmə

bu nöqsanları aradan qaldırmağa imkan verir. Belə qiymətləndirmə əsasən videosiqnallar ardıcılığında kodlamaya qədər, koder və dekoderdə, multipleks qurğusu üçün tətbiq olunur.

Rəqəmsal veriliş sistemlərində impulsar ardıcılığının verilməsi zamanı müxtəlif səbəblərdən simvollararası interferensiyalar baş verir. Bu səbəblər nəticəsində diskret siqnalın birinci növ və ikinci növ xarakteristikaları dəyişir. Diskret siqnalın birinci növ xarakteristikası dedikdə amplitud-tezlik xarakteristikası, faza-tezlik xarakteristikası, siqnalların səviyyələrinin sıçrayışları və s. başa düşülür. Diskret siqnalların ikinci növ xarakteristikalarına kod elementlərinin kənar təhrifləri, impulsların parçalanması, səhvlər və s. aiddir.

Birinci növ xarakteristikalar rəqəmsal məlumatın düzgünlüyünə təsir edən fiziki hadisələri aşkar etməyə imkan verir. Təhriflərin yaranmasının əsas səbəbləri fluktuasiya və impuls maneələri, tezlik xarakteristikalarının qeyri-xətti olması və s. ola bilər. İkinci növ xarakteristikalar informasiyaların düzgünlüyünü qiymətləndirməyə imkan verir.

Əgər kod elementlərinin sərhədlərinin sürüşməsi böyük deyilsə, onda belə sürüşmə qeydetmə qurğuları vasitəsilə aradan qaldırıla bilər. Belə təhriflər kənar təhriflər adlanır. Kənar təhriflər sistematik (bəzi elementar impulsların uzanması, digərlərinin isə qısalması), təsadüfi və xarakteristik təhriflər kimi üç qrupa bölünür. Təsadüfi təhriflər yayım kanallarında təsir edən maneələr səbəbindən yaranır və bu təsirlər elementar impulsların sərhədlərinin təsadüfi sürüşməsinə səbəb olur. Əksinə, kod elementlərinin sərhədlərinin sürüşməsi böyük olduqda təhriflər hesabına səhvlər baş verəcəkdir.

Xarakteristik təhriflər elementar impulsların ardıcılığından asılı olaraq yarana bilər və verilən ardıcılıq təsadüfi olduğu üçün xarakteristik təhriflər də təsadüfi xarakter daşıyır. Elementar impulsar ardıcılığı elə ola bilər ki, impuls davam etmə müddətində öz qərarlaşmış qiymətini ala bilməsin, yəni xarakteristik təhriflər baş versin.

Kənar təhriflərdən başqa elementar impulsun parçalanması kimi təhriflər də olur (elementar impuls bir neçə kiçik impulslara bölünür).

4.2. Sadə rəqəmsal interaktiv yerüstü TV yayımında real spektral effektivliyin artımının hesablanması

Spektral effektivliklə kanalın buraxma qabiliyyəti arasında olan asılılıq artıq qeyd olunmuşdur. Rəqəmsal interaktiv TV yayımında yüksək spektral effektivliyin təmin olunmasını təcrübi olaraq yoxlayaq. Baxılan sistemdə birbaşa kanalda ikinci mərhələdə OFDM (COFDM) modulyasiyası tətbiq olunur. DVB-T2 sistemində bu effektivlik daha da artacaqdır [63, s. 19-22]. 8 MHz-lik kanalın istifadə əmsalı bu kanal üçün $(7,71/8) \cdot 100\% \approx 0,96\%$ olacaqdır. Qeyd edək ki, DVB-T sistemində bu əmsal $(7,5/8) \cdot 100\% \approx 0,94\%$ -dir. DVB-T2 sistemində də birinci mərhələdə M-QAM modulyasiyası aparılır. Lakin burada mövqelərin artırılaraq 128 və ya hətta 256 ola bilər. İkinci halda hər alt daşıyıcı ilə 8 bit verilir, ki bu da veriliş sürətinin və deməli, buraxma qabiliyyətinin əhəmiyyətli dərəcədə artmasını göstərir.

Spektral effektivliklə real spektral effektivliyi bir-birindən fərqləndirmək lazımdır (1.4.8 ifadəsi). Lakin spektral effektivlik təyin olunduqda (1.3.4 düsturu) çoxmövqeli modulyasiyada R veriliş sürəti belə təyin oluna bilər [51, s. 134]:

$$R = R_s \log_2 M. \quad (4.2.1)$$

DVB-T rəqəmsal TV yayım sistemində müxtəlif veriliş sürətlərində M-QAM modulyasiyasının müxtəlif mövqelər sayı üçün spektral effektivliyin hesablanmış qiymətləri ədəbiyyatlarda verilmişdir (cədvəl 4.2.1, 3 və 4-cü sütunlar) [51, s. 135]. Lakin DVB-T2 sistemində M-QAM modulyasiyasının mövqelər sayı daha çoxdur. Bu sistemdə çox tətbiq olunan 128-QAM və 256-QAM modulyasiyaları üçün spektral effektivliyin qiymətlərini hesablayaraq həmin cədvələ yazaq (üyğun olaraq 5 və 6-cı sütunlar).

Cədvəldən görünür ki, M-QAM modulyasiyasının mövqelərinin sayının artması real spektral effektivliyin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına gətirib çıxarır. Məs., eyni bir kod sürətində ($R_s = 3/4$ olduqda) real spektral effektivlik 256-QAM modulyasiyasında 16-QAM modulyasiyası ilə müqayisədə 2,29 dəfə artır. 5/6 kod

sürəti üçün bu artım 2,35, 7/8 kod sürətində isə 2,58 dəfə olur. Yəni kod sürəti artıqca real spektral effektivlik daha da artır.

Cədvəl 4.2.1

**Müxtəlif veriliş sürətlərində M-QAM modulyasiyasında
spektral effektivliyin hesablanmış qiymətləri**

	R_s	16-QAM	64-QAM	128-QAM	256-QAM
1	3/4	1,87	2,81	3,62	4,28
2	5/6	2,07	3,11	4,28	4,86
3	7/8	2,18	3,27	4,78	5,62

Rəqəmsal TV-də səhvlər ehtimalının hesablanması üçün signal/küy və ya E_b/N_0 nisbətindən istifadə olunur. Bu kəmiyyətlərdən birinin digərinə hesablanması lazım gəlir. M-QAM modulyasiyası tətbiq olunduqda bu kəmiyyətlərin təyin olunması zamanı həmin modulyasiyanın mövqelərinin sayı da nəzərə alınmalıdır [51, s. 143]:

$$\frac{P_s}{P_k} = \frac{E_b}{N_0 \cdot \log_2(M)}. \quad (4.2.2)$$

Lakin rəqəmsal TV yayımında maneədayanıqlı kodlama aparılır. Aydındır ki, bu kodlama zamanı informasiya simvolları arasında yoxlayıcı simvolların verilməsilə informasiya simvollarına düşən ümumi enerji azalmış olur. Bunu signal/küy nisbətində nəzərə almaq lazım gəlir. Ona görə də (4.2.2) düsturunu bel yazırlar [51, s. 143]:

$$\frac{P_s}{P_k} = \frac{E_b}{N_0 \cdot \log_2(M) \cdot R_s}. \quad (4.2.3)$$

(4.2.3) ifadəsini nəzərə alaraq real spektral effektivliklə M-QAM modulyasiyasının mövqelərinin sayı və signal/küy nisbətinin ədədi qiymətlərini bir-biri ilə tutuşduraq. Bu məqsədlə 2.5.1 cədvəli və şəkil 1.7.3-də verilmiş qrafiklərdən istifadə edək.

Cədvəldən görünür ki, DVB-T2 sistemində mövqelərin sayı artdıqca real spektral effektivlik də artır (6-cı sütun). Bu, həmin sistemin mühüm bir parametrinin və onunla bağlı olan digər parametrlərin əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdığını göstərir.

Lakin bununla yanaşı, baxılan sistemdə eyni bir maneədayanıqlığı təmin etmək üçün daha böyük E_b/N_0 nisbəti tələb olunur və ya eyni bir E_b/N_0 nisbətində daha aşağı maneədayanıqlığı (səhvlər ehtimalı daha böyük olur) təmin olunur.

Cədvəl 4.2.2.

Sadə interaktiv yerüstü TV yayımının birbaşa kanalında real spektral effektivliyin və M-QAM modulyasiyasının mövqələrinin sayının E_b/N_0 nisbətinə görə hesablanmış qiymətləri

	Signal/küy nisbəti E_b/N_0		Məxsusi veriliş sürəti, bit.s ⁻¹ /Hz		Real spektral effektivlik
	Səhvlər ehtimalı $p=10^{-5}$	Səhvlər ehtimalı $p=10^{-7}$	RS =3/4	RS=7/8	
64-QAM	18	20	2,80	3,27	6
128-QAM	22	23	3.12	4,12	7
256-QAM	24	26	3.46	4,97	8

Yuxarıda qeyd olunanlardan və aparılmış heablamalardan aydın olur ki, sadə interaktiv yerüstü TV yayımının birbaşa kanalında E_b/N_0 nisbəti dəyişdikcə radiovericinin gücünü dəyişmədən modulyasiya üsulunun adaptiv dəyişdirilməsi təkcə maneədayanıqlığının tələb olunan səviyyədə qalmasını təmin etmir (şəkil 1.7.1-ə bax). O, həm də real spektral effektivliyin orta qiymətinin artmasına səbəb olur. Çünki E_b/N_0 nisbəti kiçik olduqda real spektral effektivlik kiçik olacaq, lakin kanalın vəziyyəti yaxşılaşdıqca bu kəmiyyət də artacaqdır (cədvəl 4.2.2, 6-cı sütun). Ona görə də ümumi halda idarəetmə tətbiq olunduqda real spektral effektivlik yüksək ola bilər.

DVB-T2 sistemində M-QAM-ın mövqələrinin artması və başqa parametrlərin dəyişməsilə, ümumiyyətlə maneədayanıqlığını artırmaq üçün daha mürəkkəb və daha maneədayanıqlı kodlama aparılır Burada LDPC (Low-density parity-check – Cütlüyə yoxlayan aşağı sıxlıqlı) kodu ilə BÇX (Boze-Çaudxuri-Hokvenqem) kodunun birlikdə tətbiqi maneədayanıqlığının əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olur. Bu zaman E_b/N_0 nisbətinin cədvəl 4.2.2-də göstərilən əlavə artımına ehtiyac qalmır [88, s. 421].

2.5.3 ifadəsinin sol tərəfi spektral effektivliyi, sağ tərəfi isə vahid tezlik zolağına düşən buraxma qabiliyyətini ifadə edir. Bu, xüsusi buraxma qabiliyyəti adlanır və əsasən kanalın tipindən, istifadə olunan maneəyədavamlı koddan və veriliş sürətindən

asılı olur.

Yuxarıda yerüstü TV yayımında interaktivliyin tətbiqi ilə, xüsusən DVB-T2 sistemində spektral effektivliyin artması ədədi hesablamalarla göstərilmişdir. Həm də spektral effektivliklə vahid tezlik zolağına düşən buraxma qabiliyyəti müqayisə olunmuşdur. Bu isə baxılan şərtlər daxilində buraxma qabiliyyətinin nə dərəcədə artmasını göstərir.

4.3. Müdafiə nisbətinin sadə interaktiv yerüstü rəqəmsal TV yayım sisteminin buraxma qabiliyyətinə təsirinin təcrübi qiymətləndirilməsi

Rabitə kanalının buraxma qabiliyyəti kanalın vəziyyəti, kanalın tipi və bu kanalda təsir edən maneələrdən çox asılıdır. (1.4.1) ifadəsi ilə hesablanan buraxma qabiliyyəti əslində nisbətən sadə halı – yalnız küylərin təsiri nəzərə alınan kanalda buraxma qabiliyyətini hesablamağa imkan verir. Buraxma qabiliyyəti və interaktivliyin tətbiqi ilə onun artırılması müxtəlif kanallar üçün ayrı-ayrılıqda baxılmalıdır.

Sönmələr olan kanal dəyişən parametrlə kanala ən parlaq nümunə sayıla bilər. Sönmələr isə yavaş və sürətli sönmələrə bölünür. Bu halda şərti buraxma qabiliyyəti aşağıdakı ifadə ilə hesablanı bilər [2, s.114]:

$$C = \Delta f \ln \left(1 + \frac{\mu^2 P_s}{P_k} \right). \quad (4.3.1)$$

Burda μ – kanalın ötürmə əmsalıdır.

Bu halda rabitə sisteminin buraxma qabiliyyəti ədəbiyyatlarda siqnalın gücünü ifadə edən $P_s \gg P_k$ və $P_s \ll P_k$ iki şərti üçün ayrı-ayrılıqda baxılır. Hesablanmışdır ki, yavaş Reley sönmələri baş verən kanalda buraxma qabiliyyəti ən çoxu 17 % aşağı düşür.

Sürətli sönmələrin baş verdiyi kanalda buraxma qabiliyyətinin hesablanması siqnalın spektral sıxlığının sabit qalmaması səbəbindən çox çətin olur. Lakin alınmış

nəticələri əsas tutaraq bildirmək olar ki, bu kanalda da sistemin buraxma qabiliyyəti, xüsusən siqnalın gücü küyün gücünə yaxın olduqda, əhəmiyyətli dərəcədə azalmır.

Rabitə kanalında siqnalın fazası qeyri-müəyyən olduqda onun buraxma qabiliyyəti aşağı düşür. İkili rabitə sistemində siqnalın fazasının fluktuasiyası baş verdikdə siqnalları bir-birindən fərqləndirmək çətin olur. Hesablanmışdır ki, belə kanalın buraxma qabiliyyəti gücü ikiqat artırılmış ideal rabitə kanalının buraxma qabiliyyətinin yarısına bərabərdir.

Yerüstü TV yayımında sistem daxili maneələr, yəni bu şəbəkədə olan stansiyaların bir-birinə qarşılıqlı təsiri yarana bilər. Bir-birinə məsafə etibarı ilə o qədər də uzaq olmayan və birgə kanalda və ya qonşu kanalda işləyən radiovericilərin qarşılıqlı təsiri yarana bilər. Bu zaman belə maneə siqnalları yaradan stansiyalar düz radiogörmə məsafəsində ola bilər. Belə maneələr daimi təsir edən maneələr sırasına aid edilir. Maneə yaradan stansiya düz radiogörmə məsafəsində olmaya bilər, lakin bu zaman radiodalğaların troposfer yayımı hesabına qəbul məntəqəsində maneələr yarana bilər. Ən çox uyğun gələn və daha dəqiq nəticələr verən modelə görə hər iki halda siqnalın və maneənin qəbul məntəqəsində yaratdıqları güc radiovericinin gücündən, stansiyadan qəbul məntəqəsinə qədər olan məsafədən, verici antenanın hündürlüyündən, tezlik diapazonundan, siqnalın və ya maneənin məsafədən asılı olaraq sönmə sürətindən, siqnalın (maneənin) səviyyəsinin fluktuasiyasından asılı olur.

TV yayım kanalında yaranan belə maneələr kanalın buraxma qabiliyyətini aşağı salır. Bu maneələrin təsirindən buraxma qabiliyyətinin nə dərəcədə azalmasını və idarəetmənin tətbiqi ilə buraxma qabiliyyətinin tənzimi məsələsini araşdıraraq.

Aydınır ki, TV yayım siqnalının normal keyfiyyətlə qəbul olunaraq canlandırılması üçün müdafiə nisbəti təmin olunmalıdır. Müdafiə nisbəti dedikdə verilmiş şərtlər daxilində TV qəbuledicisinin girişində siqnalın gücünün maneənin gücünə nisbətinin elə minimal qiyməti nəzərdə tutulur ki, bu zaman TV qəbuledicisinin çıxışında normal siqnal alınmış olsun. Bu, siqnal və maneənin güclərinin nisbəti və ya siqnal və maneə mənbələrinin qəbul məntəqəsində yaratdıqları sahə gərginliklərinin nisbəti də ola bilər. İkinci halda bu şərti belə yazmaq olar [64, s. 102]

$$E_s \geq E_m + A_{\Sigma T}. \quad (4.3.2)$$

Burada E_s – siqnal mənbəyinin qəbul məntəqəsində yaratdığı sahə gərginliyi, E_m – maneə mənbəyinin yaratdığı sahə gərginliyi, $A_{\Sigma T}$ – cəm müdafiə nisbətidir. Burada bütün kəmiyyətlər dB ilə verilmişdir.

Şanvari rabitə sistemlərindən fərqli olaraq TV yayım şəbəkəsində yaxın stansiyalarda tezliklərin təkrar istifadə praktikası yoxdur. Bu, yalnız sərhəd bölgələrində bilərəkdən və tezlik-ərazi planlaşdırılmasında olan səhvlər kimi qarşıya çıxı bilər. Bir-birindən məsafəyə görə uzaq olan TV yayım stansiyaları birgə TV yayım kanalında işləyə bilər. Onlar arasında yaranan qarşılıqlı maneələr daimi təsir edən maneələr deyil, radiodalğaların troposfer yayımı nəticəsində yaranan maneələr olur. Belə maneə mənbələrinin yaratdığı sahə gərginliyini desimetrlik diapazonda aşağıdakı məlum ifadə ilə hesablamaq olar [64, s. 104]:

$$E_m = E(50; 1) + P_{\Sigma m} + A_{\Sigma T}. \quad (4.3.3)$$

Burada $E(50; 1)$ – ərazinin 50 %-i və zamanın 1 %-i müddətində yaradılan sahə gərginliyi, dBmkV/m; $P_{\Sigma m}$ – maneə mənbəyinin şüalanma gücü, dBkVt; $A_{\Sigma T}$ – troposfer maneələr üçün cəm müdafiə nisbətidir, dB.

DVB-T2 sistemində 32K rejimində müdafiə nisbətinin ölçülmüş qiymətləri stasionar və qeyri-stasionar maneələr üçün verilmişdir [63, s. 21]. Buradakı cədvəldən aydın olur ki, $R_s = 5/6$ kod sürətində stasionar maneələr üçün müdafiə nisbəti 4,1...4,5 dB, qeyri-stasionar maneələr üçün isə 5,5...20,6 dB arasında dəyişir.

4.4. TV yayım siqnallarının qəbulu dayanıqlığının sadə interaktiv yerüstü rəqəmsal TV yayım sisteminin buraxma qabiliyyətinə təsirinin təcrübi qiymətləndirilməsi

TV yayım şəbəkəsi planlaşdırılan zaman etibarlı qəbul zonası hesablanır. Bu zonada faydalı siqnal mənbəyinin yaratdığı sahə gərginliyi minimal tələb olunan sahə

gərginliyindən az olmamalıdır. Adətən müəyyən məsafədə yaradılan sahə gərginliyi Vvedenskiy düsturu ilə, daha dəqiq isə $E(50; 50)$ sahə gərginliyi yayım qrafiklərindən istifadə etməklə hesablanır, burada $E(50; 50)$ – etibarlı qəbul zonasına daxil olan ərazinin 50 % və zamanın 50 %-i müddətində yaradılan sahə gərginliyinin qiymətidir [5, s. 174-176].

Lakin maneələrin təsir etdiyi kanalda buraxma qabiliyyətinin hesablanmış qiyməti rabitənin kəsilməsi və ya qəbulun dayanıqlı olmaması səbəbindən təmin oluna bilməz. Ona görə də bu məsələlərin tədqiq olunması maraq doğurur. Rabitənin etibarlılığı üç metodla hesablanı bilər [13, s. 187]. Birinci metodda hər maneənin olması ehtimalı ayrı-ayrılıqda dəyərləndirilir. Sonra təsir edən N sayda maneənin ehtimalları öz aralarında bir-birinə vurulur. Bu, ehtimalların sadə vurulması metodu adlanır. İkinci metod ehtimallar nəzəriyyəsinə əsaslanır. Bu halda təsir edən N sayda maneə bir maneə ilə əvəz olunur və cəm maneənin təsiri qiymətləndirilir. Üçüncü metod isə cəm güclər metodudur. Bu halda maneə siqnallarının orta gücləri cəmlənir. Göründüyü kimi hər üç metod eksperimentlər hesabına təsir edən maneələrin sayının və statistik parametrlərinin müəyyən olunmasına gətirilir.

Maneələrin təsiri dolayısı ilə radioqəbulun dayanıqlığı ilə qiymətləndirilə bilər. Radioqəbul dayanıqlığı faydalı siqnalın il ərzində kafi keyfiyyətlə qəbulu müddətinin ilin davam etmə müddətinə nisbətində deyilir.

Radioqəbulun dayanıqlığını xarakterizə edən parametr aşağıdakı məlum ifadənin köməyi ilə hesablanı bilər [64, s. 117]:

$$K(T_m) = \frac{E_{min} - E_s(50)}{\sigma_s}. \quad (4.4.1)$$

Burada E_{min} – minimal istifadə olunan sahə gərginliyi, $E_s(50)$ – faydalı siqnalın sahə gərginliyinin median qiyməti, σ_s – faydalı siqnalın standart meylətməsidir.

Maneələrin təsir etdiyi kanalda qəbulun dayanıqlığını hesablamaq üçün ifadələr ədəbiyyatlarda çıxarılmışdır [64, s. 117-123]. Lakin bu parametrin hesablanması yenə də maneələrin statistik parametrlərinin müəyyən olunması ilə bağlıdır.

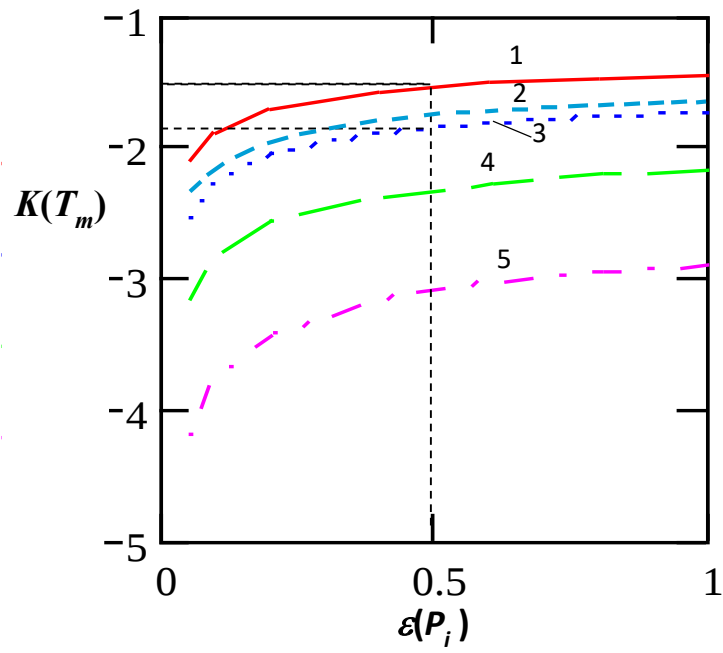
Radioqəbulun dayanıqlığını xarakterizə edən parametri hesablamaqla dayanıqlı

qəbul müddətini tapa bilərik. Bu məqsədlə maneələrin qəbuledici antena tərəfindən və polyarizasiya ilə bağlı zəiflədilməsi və müdafiə nisbəti nəzərə alınmalıdır. Lakin yayım kanalında təsir edən maneələrin sayı çox olduqda bu parametrlərin hesablanması, statistik parametrlərin müəyyən olunması səbəbindən, mürəkkəblilik yaranır. Lakin maneələr loqarifmik-normal qanunla paylandıqda bu hesablamanı Fenton metodundan istifadə etməklə sadələşdirmək olar. Bu metoda görə N sayda maneəni digər bir maneə ilə əvəz edə və onun ehtimal xarakteristikalarını təyin edə bilərik [97, s. 81].

Radioqəbulun dayanıqlığını xarakterizə edən parametri hesablayaraq, idarəetmənin tətbiqi ilə buraxma qabiliyyətinin artmasını müəyyən edək. Tutaq ki, yayım kanalında N sayda loqarifmik-normal paylanmaya malik maneə təsir edir. Bu halda qəbulun dayanıqlığı parametrlərinin dispersiya sabitindən asılılığı qrafiki ədəbiyyatlarda verilmişdir (şəkil 4.4.1) [97, s. 111].

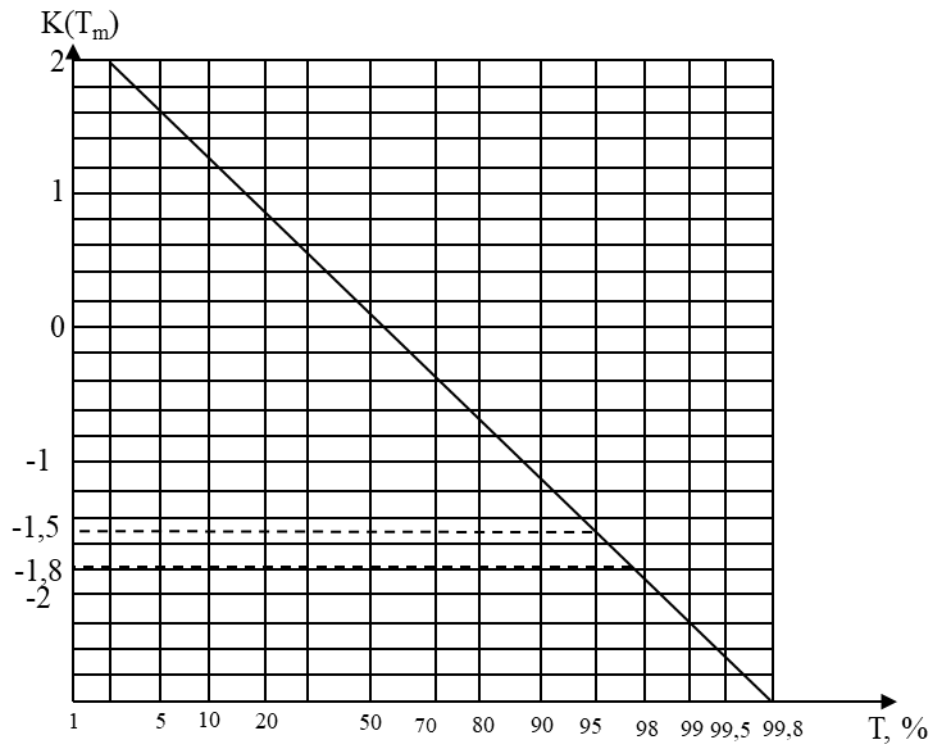
DVB-T2 sistemində buraxma qabiliyyətinin artımını müəyyən etmək üçün iki şərti nəzərə almaq lazım gəlir. Burada LDPC kodu ilə BÇX kodunun birlikdə tətbiqi nəticəsində səhvlər ehtimalının eyni bir qiymətində E_b/N_0 nisbətinin tələb olunan qiyməti DVB-T sistemi ilə müqayisədə 10...12 % azdır (DVB-T2 üçün 256-QAM-da tələb olunan E_b/N_0 nisbəti DVB-də 64-QAM-da tələb olunan E_b/N_0 nisbəti kimidir). Bundan başqa, DVB-T-də tələb olunan müdafiə nisbəti 26...32 dB olduğu halda, DVB-T2-də stasionar maneələr bu nisbəti 4,1...4,5 dB, qeyri-stasionar maneələr 5,5...20,6 dB-dir. Ona görə də qəbulun dayanıqlığını müəyyən etmək üçün şəkl. 4.4.1-də E_s -in kiçik qiymətinə uyğun olan qrafikdən istifadə edək. Şəkildən görünür ki, dispersiya sabiti $\varepsilon(P_i) = 0,5$ olduqda $K(T_m) = -1,5$ olur.

Ədəbiyyatlarda qəbulun dayanıqlığı parametrlərinin dayanıqlı qəbul müddətindən asılılığı qrafiki verilmişdir (şəkl. 4.4.2) [64, s. 28]. Bu qrafikdən istifadə edərək, qəbulun dayanıqlığı parametrlərinin $K(T_m) = -1,5$ qiyməti üçün dayanıqlı qəbul müddətinin $T = 95$ % olduğunu tapa bilərik. Lakin yuxarıda qoyulan iki şərti və ədəbiyyatda verilmiş mülahizələri [97, s. 97-118] nəzərə almaqla dispersiya sabitinin eyni bir qiymətində təmin olunan sahə gərginliyinin DVB-T2 sistemində təmin olunan



Şəkil.4.4.1 Dayanıqlıq parametrinin dispersiya vuruğundan asılılığı:

1. $E_s = 50$ dB; 2. $E_s = 51$ dB; 3. $E_s = 52$ dB; 4. $E_s = 55$ dB; 5. $E_s = 60$ dB.



Şəkil 4.4.2. Qəbulun dayanıqlığı parametrinin dayanıqlı qəbul müddətindən asılılığı

yeni qiyməti üçün $K(T_m) \approx -1,8$ olduğunu hesablaya bilərik. Bu halda şəkl. 4.4.2-ci şəkildə verilmiş qrafikdən dayanıqlı qəbul müddətinin artaraq $T = 97\%$ olduğunu tapırıq. Bu isə kanalın vəziyyətini nəzərə almaqla QAM modulyasiyasının mövqelər sayının idarə olunması (şəkl. 1.7.1) hesabına buraxma qabiliyyətinin artmasını göstərir.

4.5. Rəqəmsal TV yayım signalının açıq traslarda verilməsi zamanı “göz diaqramının naxışlarının formalaşdırılmasının təcrübi yoxlanılması

DVB və İSDB tipli rəqəmli TV yayım sistemlərində son mərhələdə çoxtezlikli modulyasiya tətbiq olunur. Bu halda çoxlu sayda alt daşıyıcılar fazaca modullanır. İsbat olunmuşdur ki, bu modulyasiyanın tətbiqi ilə çoxşüalı qəbul zamanı yaranan təhrifləri aradan qaldırmaq asan başa gəlir.

Signalın zaman xarakteristikası bəlli olduqda onun kompleks spektrini (spektral sıxlıq funksiyasını) $-\infty$ -dan ∞ -a qədər tezlik oxu üzrə aşağıdakı məlum ifadənin köməyi ilə təyin edə bilərik:

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j\omega t} dt. \quad (4.5.1)$$

Telekommunikasiyada geniş tətbiq olunan bu çevirmə Furiyenin düz çevirməsi adlanır və analitik olaraq $F[S(t)] = S(j\omega)$ şəklində yazılır.

Kompleks şəkildə təyin olunmuş spektral sıxlıq funksiyasını aşağıdakı kimi yazırıq:

$$S(j\omega) = S(\omega)e^{-j\psi(\omega)}. \quad (4.5.2)$$

Buradan aydın olur ki, signalın kompleks şəkildə təyin olunmuş spektral sıxlıq funksiyasını $S(\omega)$ amplitud spektri və faza spektrindən təşkil olunmuş hasil şəkildə göstərə bilərik. Amplitud spektri (spektral sıxlıq funksiyasının modulu) harmonikaların amplitudlarının intensivliyinin tezlikdən asılılığını göstərir. Amplitud spektri cüt funksiyadır (ordinat oxuna görə simmetrikdir). $\psi(\omega)$ funksiyası isə signalın faza spektrini ifadə edir. Faza spektri koordinat başlanğıcına görə simmetrik olur, yəni tək funksiyadır. Bu səbəbdən həm amplitud spektrini, həm də faza spektrini qrafiki olaraq tezliyin müsbət yarım oxu üzərində göstərilir.

Məhdud buraxma zolağına malik kanallarla impuls ardıcılığı verildikdə impulsların forması dəyişir, onların arasında qarşılıqlı təsirlər yaranır, yəni simvollararası interferensiyalar baş verir. Bu interferensiyaları azaltmaq və impulsun spektrini kanalın buraxma zolağı ilə uzlaşdırmaq üçün rəqəmli texnikada xüsusi tip impulslardan istifadə olunur (1.4 paragrafına bax).

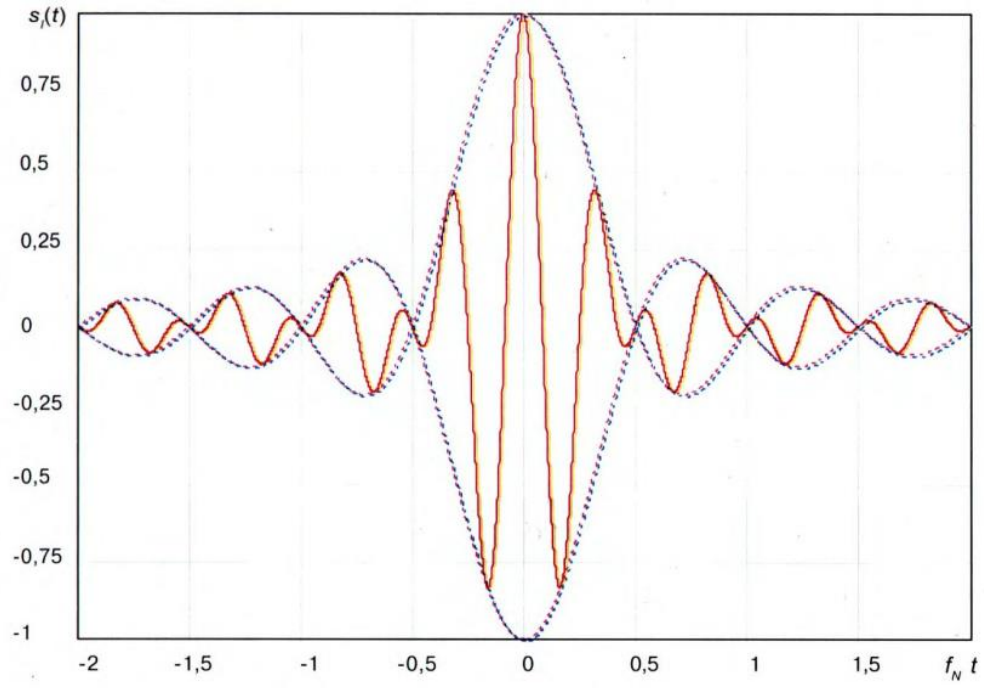
Müasir rəqəmsal TV yayım sisteminin hibrid olması 1.4 paragrafında müzakirə olunmuşdur. Elementar impulsların formasının seçilməsi, onun sistemin energetiki effektivliyinə təsiri 2.4 paragrafında araşdırılmışdır. Lakin müasir rəqəmsal TV yayımında seçilmiş spektri kosinuskvadratik formada kəsilən elementar impulslarda sönmə əmsalının qiymətinin dəqiqləşdirilməsi maraq doğurur. Modullanmış Naykvist siqnallarının forması ədəbiyyatlarda verilmişdir (şək. 4.5.1) [5, s. 192]. Bu iki modullanmış siqnallar (başlanğıc faza 0 və $\pi/2$ -yə bərabər olmaqla) bir-birinə kvadratur olur ki, bu da onların cəmlənməsi ilə veriləcək məlumatı ikiqat artırmağa imkan verir.

$\alpha = 1$ olduqda seçilmiş elementar impulsların spektri Π -şəkilli olsa da, davam etmə müddəti sonsuz olur, yəni onları praktikada formalaşdırmaq mümkün deyildir. Sönmə əmsalının (α_1 -in) dəyişməsilə seçilmiş impulsların spektri f_N Naykvist tezliyinə nəzərən dəyişəcəkdir.

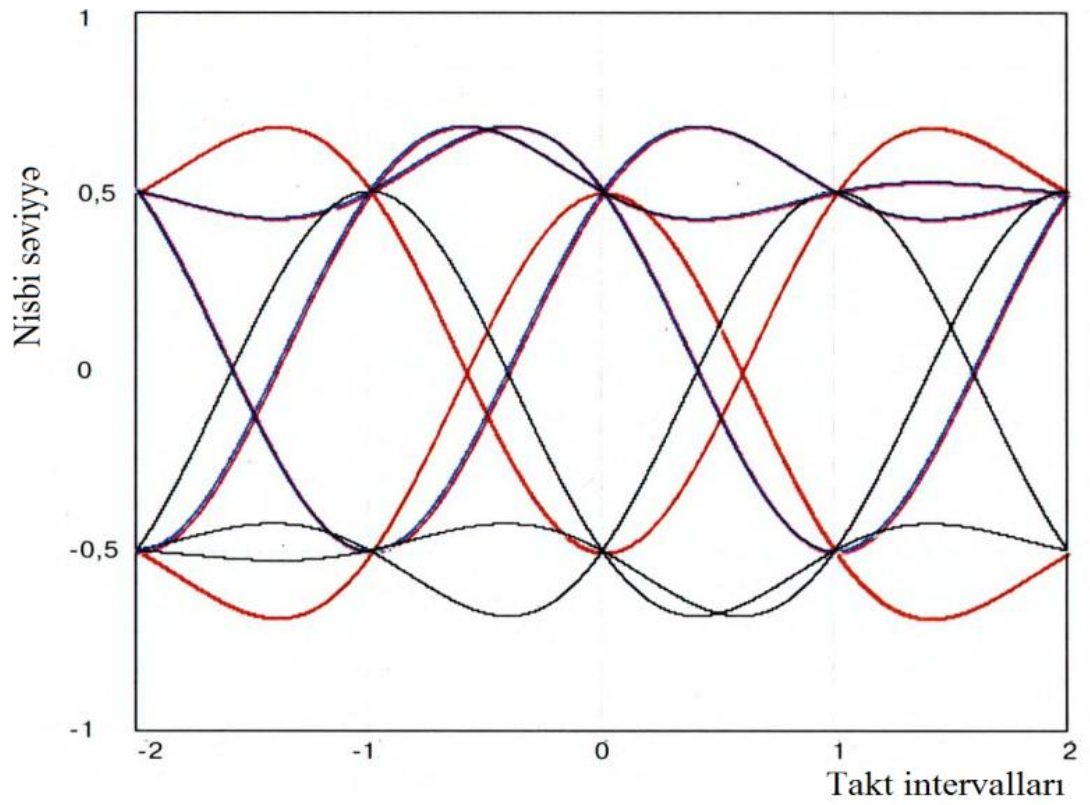
$\alpha = 1$ olduqda əsas impulsun səviyyəsi impulsun mərkəzindən takt intervalının tam yarısı qədər olan momentdə maksimal qiymətin 0,5 mislinə bərabər olur. Bu, Naykvistin ikinci kriteriyası adlanır.

Naykvist və ya ona oxşar olan impulsar bir-birini örtmək şərtilə verilir. Bu zaman cəm siqnal da verilən məlumat ardıcılığından asılı olaraq öz formasını dəyişir (şək. 4.5.2). Lakin burada verilən siqnalın analoq formada olduğu bir daha isbat olunur.

Rəqəmli siqnalın rabitə və ya yayım kanalı ilə verilməsinin keyfiyyət göstəricisi olaraq “göz” diaqramından (osilloqrafın ekranında gözə oxşar forma alındığı üçün) istifadə olunması praktiki cəhətdən çox əlverişlidir. Onu əldə etmək üçün osilloqrafın girişinə rəqəmli siqnal ardıcılığı, osilloqrafın xarici sinxronlaşma girişinə isə takt impulsu verilir. Daha sonra osilloqrafın elektron-şüa borusunun ardişiqlanması və insan gözünün ətalətliyi hesabına “göz” diaqramının forması müşahidə olunur və onun açılışı məlum ifadə ilə hesablanır. Hazırda “göz” diaqramının açılışı kompyüter



Şek. 4.5.1. Modullanmış Nyquist signallarının forması



Şek. 4.5.2. „Göz“ diaqramının naxışlarının formalaşdırılması

proqramı ilə də hesablanı bilər.

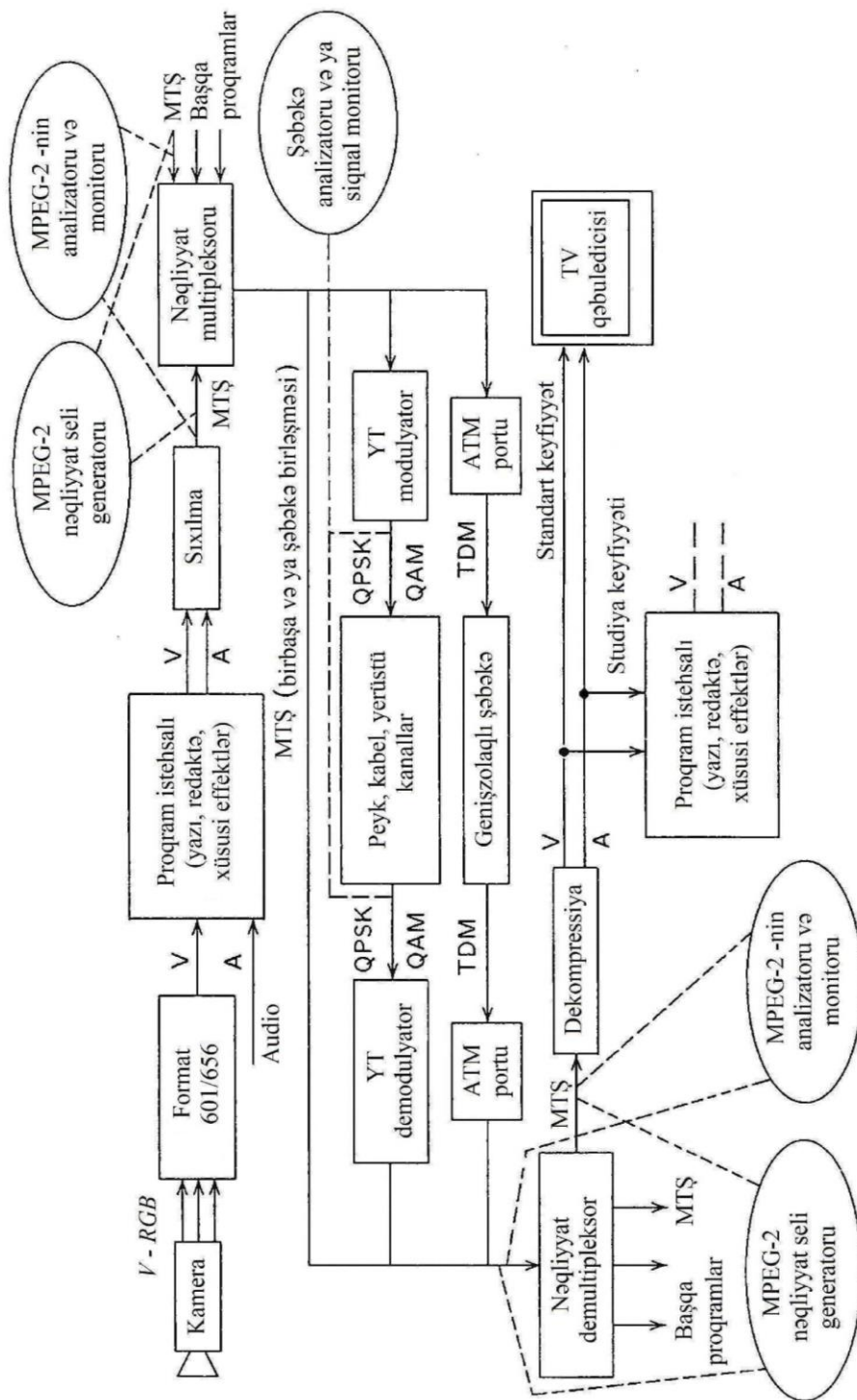
4.6. Kvantlama və ifrat yüklənmə küylərinin təsvirin keyfiyyətinə təsirinin təcrübi yoxlanması

DVB-T sisteminin keyfiyyətini göstərən kriteriyaların qiymətləndirilməsi çox vacibdir. DVB sisteminin keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi üçün əsasən iki bir-birindən fərqli ölçmələr aparılır: a) nəqliyyat selinin parametrləri. b) kanal avadanlıqlarının keyfiyyət göstəriciləri. Birinci tip ölçmələr özündə BER, SNR və kvadratur siqnalların keyfiyyəti kimi parametrləri ehtiva edir [51, s. 458-460; 48, s. 579]. Bu sistemdə keyfiyyətin azalma astanası kriteriyasından istifadə edilir [3, s. 97-100]. TOV- TV təsvirlərində çoxsaylı səhvlərin qiymətidir. QEF kriteriyası tətbiq olunur. Bu halda RS dekoderinin çıxışında ən çoxu $BER = 10^{-11}$ olur. Viterbi dekoderinin çıxışında – RS dekoderinin girişində $BER = 2 \cdot 10^{-4}$ -dən pis olmamalıdır.

Ölçmə aparmaq üçün məlum metodlardan və ölçmə aparılması vacib sayılan xarakterik nöqtələrin göstərildiyi sxemdən istifadə edirik (şəkil 4.6.1) [48, s. 590]. Ölçmələr analizator vasitəsilə həyata keçirilmişdir. Yüksək tezlik çeviricisinin girişində nominal tezlik zolağında siqnalın gücü ölçülmüşdür. Küylərin gücünün ölçülməsi üçün alt daşıyıcılar söndürülmüş və analizator vasitəsilə ölçmələr yerinə yetirilmişdir.

Təcrübi olaraq tədqiq olunan kanal – Bakı-Ələt radiorele xətti – açıq traslar qrupuna və nəzəri olaraq AAQK kanalına aid edilə bilər. Radiorele xətti stansiyası olaraq “NEC” şirkətinin “Iposolinc” verici-qəbuledici stansiyasından istifadə olunmuşdur. İterativ xarakterli seçmə üsulundan istifadə etməklə rəqəmli TV yayım sisteminin parametrlərini seçirik. Təcrübə aparılan zaman əsas parametrlərin qiymətləri seçilmişdir. Bu parametrlər sırasına veriliş sürəti, kod sürəti, müdafiə intervalı (GI – Guard Interval) daxildir.

Bu tip kanallar üçün siqnalın daşıyıcısının gücünün küyün gücünə nisbətinin buraxıla bilən qiymətlərinin diapazonu məlumdur. Bu qiymətlər kanal kodlanması,



Şəkil 4.6.1. Rəqəmli TV proqramlarının veriliş kanalları şəbəkəsinin parametrlərinin yoxlanılmasının xarakterik nöqtələri və üsulları

kanalın qiymətləndirilməsi, korreksiyası, faza küyləri, kvantlama küyləri və intermodulyasiya məhsullarının səviyyəsindən asılı olur. Belə çıxır ki, kvantlama küylərinin təsirini yalnız dolayısı ilə qiymətləndirmək mümkündür.

Rəqəmli rabitə və yayım sistemlərində signal/küy nisbətinin dəyərləndirilməsi məqsədilə bir bitin enerjisinin küyün spektral sıxlığına nisbətindən istifadə olunması hesablamalar nöqtəyi nəzərindən daha əlverişli hesab olunur:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_d}{P_N} - 10 \lg \left(\frac{R_b}{\Delta f} \right), \quad (4.6.1)$$

burada E_b – bir bitin enerjisi, P_d – signalın daşıyıcısının gücü, $P_N = \frac{N_0}{2T_b}$ – küyün gücü, N_0 – küyün intensivliyi, T_b – bitin davam etmə müddəti, Δf – buraxma zolağı, R_b -verliş sürətidir.

E_b/N_0 və P_d/P_N nisbətləri ölçülmüşdür. Signalın gücü yüksək tezlik çeviricisinin girişində ölçülmüş və nominal tezlik zolağı üzrə qiymətləndirilmişdir. Alt daşıyıcılar söndürülərək analizator vasitəsilə küylərin gücü ölçülmüşdür. Cədvəl 4.6.1-də TV yayım sisteminin parametrlərinin seçilmiş qiymətləri və ölçmə nəticəsində alınmış nəticələr verilmişdir.

QEF-in və TOV-nin cədvəldə verilmiş qiymətlərinin müqayisəsindən görünür ki, TOV-nin qiyməti QEF-in minimal buraxıla bilən qiymətlərindən təxminən 1,3 dB az olmalıdır. Aparılmış təcrübələrdən bu fərqi özünə yer aldığı və göstərilən rəqəmdən bir qədər artıq olduğu aşkar olunmuşdur. Təcrübələrdən həm də kvantlamanın səviyyələrinin sayının azaldılması ilə E_b/N_0 və P_d/P_N nisbətlərinin artdığı müşahidə edilmişdir. Belə ki, kvantlamanın səviyyələrinin 512-dən 64-ə dəyişdirilməsilə daşıyıcının gücünün küyün gücünə nisbəti (P_d/P_N nisbəti) 1,2 dB, bitin enerjisinin küyün intensivliyinə nisbəti (E_b/N_0 nisbəti) təxminən 0,8 dB artmışdır. Qeyd etmək lazımdır ki, bu nisbətlərin dəyişməsinə səbəb yuxarıda adları qeyd olunan faktorlardır. Ona görə də kvantlama küylərinin təsirini birbaşa qiymətləndirə bilmirik. Lakin aparılan çoxsaylı eksperimentlər zamanı qalan bütün parametrlər dəyişməz olaraq saxlanılmışdır. Buradan belə nəticəyə gələ bilərik ki, göstərilən nisbətlərin artmasında kvantlama küylərinin payı az deyil.

**Sadə interaktiv yerüstü TV yayım sistemində signal/maneə nisbətinin
AAQK kanalı üzrə minimal tələb olunan və təcrübədən alınmış qiymətləri**

Sistemin seçilmiş parametirləri	Qiymətləndirmə parametri	E_b/N_0 nisbətinin qiymətləri		P_d/P_N nisbətinin qiymətləri	
		Minimal buraxıla bilən	Təcrübədən alınmış	Minimal buraxıla bilən	Təcrübədən alınmış
GI=1/32; R=5/6; Δf =8 MHz; L=512	TOV	10,3 dB	12,3 dB	14,99 dB	16,99 dB
	QEF	11,6 dB	14,1 dB	16,50 dB	18,99 dB
GI=1/32; R=5/6; Δf =8 MHz; L=64	TOV	11,4 dB	12,83 dB	16,19 dB	18,89 dB
	QEF	12,6 dB	15,05 dB	17,50 dB	19,92 dB

Aydındır ki, DVB-T/T2 sistemində çoxşüalı qəbul nəticəsində yaranan tezlik-seçici təhrifləri aradan qaldırmaq məqsədilə COFDM modulyasiyası tətbiq olunur. Bu zaman təhrifləri azaltmaq üçün müdafiə intervalı və kanalın vəziyyətini qiymətləndirmək üçün pilot-siqnaldan istifadə olunur. Bu iki texniki tədbirin hər biri kanalın buraxma qabiliyyətini aşağı salır. Hesablamalar zolaqdaxili pilot-signalın kanalın buraxma qabiliyyətini 8% azaltdığını göstərmişdir. Ona görə də əks kanalın tətbiqi məqsədəuyğun hesab olunmalıdır.

Dördüncü fəsil üzrə nəticələr

DVB sisteminin keyfiyyətcə qiymətləndirilməsi məqsədilə nəqliyyat selinin parametrləri və kanal avadanlıqlarının keyfiyyət göstəricilərinin ölçülməsi həyata keçirilməlidir.

Sadə rəqəmsal interaktiv yerüstü TV yayımında M-QAM modulyasiyasının

mövqələrinin sayının artması real spektral effektivliyin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına gətirib çıxarır. Məs., $R_s = 3/4$ kod sürətində real spektral effektivlik 256-QAM modulyasiyasında 16-QAM modulyasiyası ilə müqayisədə 2,29 dəfə artır. 5/6 kod sürəti üçün bu artım 2,35, 7/8 kod sürətində isə 2,58 dəfə olur.

Sadə interaktiv yerüstü TV yayımının birbaşa kanalında idarəetmə tətbiq olunduqda E_b/N_0 nisbəti dəyişdikcə radiovericinin gücünü dəyişmədən modulyasiya üsulunun adaptiv dəyişdirilməsi maneədayanıqlığının tələb olunan səviyyədə qalmasını təmin etməklə yanaşı, ümumi halda real spektral effektivliyin orta qiymətinin artmasına səbəb olur.

TV yayım kanalının vəziyyətini nəzərə almaqla QAM modulyasiyasının mövqələr sayının idarə olunması buraxma qabiliyyətini artırmağa imkan verir. Rəqəmsal TV yayım kanalında təsir edən çoxsaylı maneələr loqarifmik-normal paylanmaya tabe olduqda dispersiya sabitinin $\varepsilon(P_i) = 0,5$ qiyməti üçün dayanıqlı qəbul müddəti $T = 95\%$ olur. İdarəetmənin tətbiqi sayəsində dispersiya sabitinin azalmasını nəzərə almaqla dayanıqlı qəbul müddəti artaraq $T = 97\%$ -ə bərabər olur.

Məhdud buraxma zolağına malik kanallarla impuls ardıcılığı verildikdə impulsların forması dəyişir, onların arasında qarşılıqlı təsirlər yaranır, yəni simvollararası interferensiyalar baş verir. Bu interferensiyaları azaltmaq və impulsun spektrini kanalın buraxma zolağı ilə uzlaşdırmaq üçün rəqəmli texnikada xüsusi tip impulslardan istifadə olunur. Rəqəmli TV sistemində elementar impuls olaraq Naykvist və ya formaca ona yaxın olan impulslardan istifadə olunur. Bu zaman cəm signal da verilən məlumat ardıcılığından asılı olaraq öz formasını dəyişir. Alınmış cəm signal analoq formada olur.

Rəqəmli impulslar ardıcılığının yayım kanalı ilə verilməsinin keyfiyyət göstəricisi olaraq “göz” diaqramından istifadə olunması praktiki cəhətdən çox əlverişlidir.

TOV-nin minimal buraxıla bilən qiyməti QEF-in uyğun minimal buraxıla bilən qiymətlərindən təxminən 1,3 dB az olmalıdır. Aparılmış təcrübələrdən bu fərqi özünə yer aldığı və göstərilən rəqəmdən bir qədər artıq olduğu aşkar olunmuşdur. Bundan başqa, kvantlama səviyyələrinin 512-dən 64-ə dəyişdirilməsilə E_b/N_0 nisbətinin

təxminən 0,8 dB, P_d/P_N nisbətinin isə 1,2 dB artması müəyyən olunmuşdur. Bu nisbətlərin dəyişməsinə səbəb kimi kvantlama küylərinin təsirini birbaşa qiymətləndirə bilməsək də, onların payının az olmadığını göstərmək mümkün olmuşdur.

Təcrübi olaraq Bakı-Ələt radiorele xətti tədqiq olunmuş, bu kanal açıq traslar qrupuna və AAQK kanalına aid edilərək tədqiq olunmuşdur. Radiorele xətti stansiyası olaraq “NEC” şirkətinin “İposolinc” verici-qəbuledici stansiyasından istifadə olunmuşdur.

NƏTİCƏLƏR

İnteraktiv rabitə və yayım sistemlərində əks kanaldan istifadə edərək müvafiq ölçmə və tənzimləmə aparmaq keyfiyyət göstəricilərinin yaxşılaşdırılmasına imkan verir. Rabitə sistemlərini layihələndirən zaman onların buraxma qabiliyyəti ilə texniki effektivlikləri arasında əlaqə, məlumatın canlandırılma dəqiqliyi, maneədayanlığı, istismar olunan avadanlığın etibarlılığı, rabitənin uzaqlığı, rabitənin etibarlılığı, elektromaqnit birgəliyi, ekoloji birgəlik və b. də nəzərə alınır ki, onlar da bu və ya digər dərəcədə sistemin buraxma qabiliyyəti ilə əlaqədə olur. Bundan başqa, rabitə və ya yayım sistemini layihələndirən zaman buraxma qabiliyyəti, veriliş sürəti, signal/maneə nisbəti, buraxma zolağı və onlarla əlaqədar olan spektral, energetiki və informasiya effektivlikləri arasında kompromisin seçilməsinə ehtiyac yaranır. Bu mülahizələri əsas tutaraq, dissertasiya işində interaktiv yerüstü sadə və çoxkanallı TV yayım sistemlərinin buraxma qabiliyyətinin artırılması istiqamətində aparılmış elmi tədqiqatlar zamanı aşağıda qeyd olunmuş nəticələr əldə olunmuşdur:

1. Sadə yerüstü və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərində biristiqamətli və ya ikiistiqamətli əks kanaldan istifadə etməklə qiymətləndirmə və operativ tənzimləmənin həyata keçirilməsi praktiki olaraq çox effektivdir.

2. Elementar impulsar üçün sönmə əmsalının kiçik seçilməsi spektral effektivliyin öz potensial qiymətinə yaxınlaşmasına, lakin energetiki effektivliyin azalmasına və elementar impulsların davam etmə müddətinin artmasına səbəb olur. Bu halda elementar impulsların formalaşdırılması üçün daha mürəkkəb süzgəclərdən istifadə olunması tələb olunur. “Göz” diaqramından istifadə edərək TV yayımında sönmə əmsalının kompromis qiyməti olaraq $\alpha_1 = 0,15 \dots 0,35$ seçilməsi əlverişli sayıla bilər.

3. TV yayım parlaqlıq signalının kvantlanması zamanı signalın dinamiki diapazonu kvantlayıcının icazə verilən kvantlama səviyyəsindən artıq olduqda məhdudlama küylərinin səviyyəsi məhdudlama əmsalından asılı olaraq kəskin artır. TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin paylanması tərs mütənəsb qanuna tabe olduqda və loqarifmik kvantlama şkalası tətbiq olunduqda məhdudlama əmsalının 1,3-

dən 1,4-ə qədər artması ilə məhdudlama küylərinin gücü 54 dəfə artır, kod sözünün uzunluğunun 8-dən 10-a qədər artması ilə kvantlama küylərinin gücünün məhdudlama küylərinin gücünə nisbəti təxminən 17 dəfə azalır.

4. Çoxkanallı TV yayım sistemlərində amplitud-amplitud və amplitud-faza tipli qeyri-xətti təhriflər tranzistordakı fiziki proseslər nəticəsində yaranır. Bu qeyri-xətti təhrifləri yaradan mənbələri yox etmək mümkün olmur. Korreksiya sxemlərindən istifadə edilməsi və gücləndiricinin iş rejimini düzgün seçilməsi yolu ilə bu təhrifləri azaltmaq olar.

5. TV yayım sistemlərində energetiki effektivliyin dəqiq qiymətləndirilməsi üçün kodlamanın energetiki qazancının dəyərləndirilməsi məqsədəuyğun hesab oluna bilər.

6. Maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda $p_s = 1 \cdot 10^{-5}$ səhvlər ehtimalı kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə bitin enerjisinin küyün intensivliyinə nisbətinin E_b/N_0 2,5 dB az qiymətində, $p_s = 1 \cdot 10^{-3}$ səhvlər ehtimalı isə həmin nisbətə 1,6 dB az qiymətində təmin oluna bilər. E_b/N_0 nisbətinin çox kiçik olması ilə bitin enerjisi küyün intensivliyinə yaxınlaşır və maneədayanıqlı kodlamanın tətbiqi müsbət effekt vermir. Bu halda maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda səhvlər ehtimalının $p_s = 2 \cdot 10^{-1}$ qiymətində E_b/N_0 nisbətinin tələb olunan qiyməti kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə 1 dB artıq olur.

7. Rəqəmli veriliş sistemlərində impulsların takt anlarının dəyişməsinin buraxıla bilən hədədən artıq olması impulsun qəbuledicidə düzgün tanınmamasına səbəb olur. Bu sürüşmə kiçik olduqda onun buraxıla bilən həddi impulsar ardıcılığının zaman xarakteristikasını əks etdirən analitik ifadəni sıraya ayırmaqla hesablanı bilər.

8. Radiodalğaların fəzada yayılması zamanı baş verən sönmələrin dərinliyini nəzərə almaq üçün ikiistiqamətli interaktivliyin tətbiqi məqsədəuyğun sayıla bilər. İnteraktiv TV yayımının əks kanalında tələb olunan maneədayanıqlığı təkcə gücün tənzim olunması ilə deyil, modulyasiya üsulu və ya veriliş sürətinin dəyişdirilməsi ilə də təmin oluna bilər.

9. Əks kanalı şanvari prinsiplə qurulmuş interaktiv yerüstü TV yayım sistemində “uzaq-yaxın” probleminin həlli üçün abonent və baza stansiyasının

radiovericilərinin güclərinin tənzimlənməsinin pilot-signalın səviyyəsinə görə aparılması məqsədəuyğun hesab oluna bilər və bu zaman aşağıdakı müsbət effektlər əldə etmək mümkün ola bilər:

a) Baza stansiyasının çoxkanallı radiovericisində hər kanal üzrə maksimal güc deyil, tələb olunan güc hasil olunur.

b) Radiovericilərin kanallar üzrə güclərinin tənzimlənməsi nəticəsində baza stansiyasının yaratdığı spektrə görə toplanmış maneələrin səviyyəsi azalmış olur.

10. DVB sisteminin keyfiyyətə qiymətləndirilməsi məqsədilə nəqliyyat selinin parametrləri və kanal avadanlıqlarının keyfiyyət göstəricilərinin ölçülməsi həyata keçirilir.

11. Sadə interaktiv yerüstü TV yayımının birbaşa kanalında idarəetmə tətbiq olunduqda E_b/N_0 nisbəti dəyişdikcə radiovericinin gücünü dəyişmədən modulyasiya üsulunun adaptiv dəyişdirilməsi maneədayanılıqlığının tələb olunan səviyyədə qalmasını təmin etməklə yanaşı, ümumi halda real spektral effektivliyin orta qiymətinin artmasına səbəb olur.

12. Sadə rəqəmsal interaktiv yerüstü TV yayımında kanalın vəziyyətini nəzərə almaqla M-QAM modulyasiyasının mövqelərinin sayının artması real spektral effektivliyin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına gətirib çıxarır. Rəqəmsal TV yayım kanalında təsir edən çoxsaylı maneələr loqarifmik-normal paylanmaya tabe olduqda dispersiya sabitinin $\varepsilon(P_i) = 0,5$ qiyməti üçün dayanıqlı qəbul müddəti $T = 95\%$ olur. İdarəetmənin tətbiqi sayəsində dispersiya sabitinin azalmasını nəzərə almaqla dayanıqlı qəbul müddəti artaraq $T = 97\%$ -ə bərabər olur.

13. Məhdud buraxma zolağına malik kanallarla impuls ardıcılığı verildikdə onların arasında simvollararası interferensiyalar baş verir. Bu interferensiyaları azaltmaq və impulsun spektrini kanalın buraxma zolağı ilə uzlaşdırmaq üçün rəqəmli texnikada spektri kosinuskvadratik formada kəsilən impulslardan istifadə olunur. Bu zaman cəm signal analoq formada olmaqla verilən məlumat ardıcılığından asılı olaraq öz formasını dəyişir.

14. Rəqəmli impulslar ardıcılığının yayım kanalı ilə verilməsinin keyfiyyət göstəricisi olaraq “göz” diaqramından istifadə olunması praktiki cəhətdən çox

əlverişlidir.

15. TV yayımında QEF-in qiyməti TOV-nin uyğun qiymətindən təxminən 1,3 dB artıq olmalıdır. Apardığımız eksperimentlər zamanı bu fərqi bir qədər artıq olduğu müşahidə olunmuşdur. Bundan başqa, kvantlamanın qiymətləndirmə səviyyələrinin sayının 256-dan 16-ya dəyişdirilməsilə E_b/N_0 nisbəti təxminən 0,8 dB, daşıyıcının gücünün küyün gücünə nisbəti P_d/P_k nisbəti isə 1,2 dB artır. Bu nisbətlərin dəyişməsinə əsas səbəb yaranan kvantlama küylərinin təsiridir.

Təcrübi olaraq Bakı-Ələt radiorele xətti tədqiq olunmuş, bu kanal açıq traslar qrupuna və AAQK kanalına aid edilərək tədqiq olunmuşdur. Radiorele xətti stansiyası olaraq “NEC” şirkətinin “İposolinc” verici-qəbuledici stansiyasından istifadə olunmuşdur.

İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYATIN SİYAHISI

1. Əfəndiyev, İ.D. Bakı şəhəri və Abşeron yarımadası ərazisində çoxkanallı TV paylayıcı şəbəkəsinin əhatə dairəsinin genişləndirilməsi // – Bakı: Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – 2016. cild 18, № 3, – s.138-141.
2. Əfəndiyev, İ.D. Yerüstü çoxkanallı şanvari televiziya yayım sistemlərinin buraxma qabiliyyətinin artırılması: / texnika üzrə fəlsəfə doktoru dis. / – Bakı, 2022. – 158 s.
3. İsmayılov, Z.Ə. TV yayım siqnallarının rəqəmli rabitə sistemləri ilə verilişi zamanı qeyri-xətti maneələrin azaldılması: / texnika üzrə fəlsəfə doktoru dis. / – Bakı, 2015. – 158 s.
4. Əfəndiyev, İ.D. Bakı şəhəri və Abşeron yarımadası ərazisində kabel televiziya paylayıcı şəbəkəsinin əsas radiovericisinin gücünün təyin olunması // – Bakı: Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – 2021. cild 23, № 4, – s.1-5.
5. Məmmədov, İ.R. Rəqəmli və kabel televiziyası. Dərslik / İ.R. Məmmədov. – Bakı: Mütərcim, – 2021. – 204 s.
6. Məmmədov, İ.R., Əfəndiyev, İ.D. LMDS sisteminin birbaşa kanalında modulyasiya üsulunun adaptiv olaraq dəyişdirilməsi // –Bakı: AzTU-nun Elmi Əsərləri, – 2017, № 4, – s. 81-86.
7. Məmmədov, İ.R., Əfəndiyev, İ.D. LMDS sisteminin “enmə xətti” üzrə modulyasiya üsulunun dəyişdirilməsi zamanı energetiki effektivliyin artırılması // – Bakı: Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – 2017. cild 19, № 3, – s.20-24.
8. Məmmədov, İ.R., Əfəndiyev, İ.D. LMDS sisteminin əks rabitə kanalında idarəetmə siqnalının ehtimal xarakteristikalarının təyini // – Bakı: Azərb. Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, – 2017. cild 20, № 4, – s.54-59.
9. Məmmədov, İ.R., Əfəndiyev, İ.D. LMDS sistemində modulyasiya üsulunun dəyişdirilməsinin sistemin maneədayanıqlığına və energetiki effektivliyinə təsiri // – Bakı: AzTU-nun Elmi Əsərləri, – 2017. №1, – s. 106-109.

10. Məmmədov, İ.R., Əfəndiyev, İ.D. Yerüstü çoxkanallı şənvari televiziya yayım sistemlərinin buraxma qabiliyyətinin artırılması // “Texniki və təbiət elmlərinin innovativ inkişaf perspektivləri” Beynəlxalq ETK-nın materialları, – Bakı: – 2021, – s. 138-145.

11. Məmmədov, İ.R., Əhədov, İ.C., Abbasov, M.H. Azərbaycanda yerüstü televiziya yayımının radiotezlik zolaqlarının mövcud vəziyyəti və inkişaf istiqamətləri // “Radiotexnikanın müasir problemləri” Respublika ETK-nın materialları, – Bakı: – 2021, – s. 91-95.

12. Məmmədov, İ.R., Əhədov, İ.C., Abbasov, M.H. Azərbaycanda yerüstü radioyayımı üçün ayrılan radiotezlik zolaqlarının mövcud vəziyyəti və inkişaf istiqamətləri // “Radiotexnikanın müasir problemləri” Respublika ETK-nın materialları, – Bakı: – 2021, – s. 96-99.

13. Məmmədov, İ.R., Hüseynov, E.M. Regional yerüstü mobil rabitə şəbəkələrinin qurulmasının praktiki məsələləri// – Bakı: Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi Əsərləri, – 2020. №2, – s. 186-193.

14. Məmmədov, İ.R., Hüseynov, E.M. Regional yerüstü mobil rabitə sistemlərində rabitənin etibarlılığı // “Texniki və təbiət elmlərinin innovativ inkişaf perspektivləri” Beynəlxalq ETK-nın materialları, – Bakı: – 2021, – s. 149-154.

15. Məmmədov, İ.R., İsmayılov, Z.Ə. TV yayım parlaqlıq signalının analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yaranan məhdudlama küylərinin signal/maneə nisbətinə təsiri // –Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, – 2014. cild 17, №4, – s. 44-48.

16. Məmmədov, İ.R., İsmayılov, Z.Ə. TV yayım parlaqlıq signalının kvantlanması zamanı yaranan məhdudlama küylərinin gücünün hesablanması// – Bakı: Azərbaycan QSC, Milli Aviasiya Akademiyasının “Elmi məcmuələr”i, – 2015. cild 17, №1, – s.124-130.

17. Məmmədov, İ.R., İsmayılov, Z.Ə. Muradzadə, E.İ. Rəqəmli TV yayım signalının məhdudlanma səviyyəsi // “Radiotexnikanın müasir problemləri” Respublika ETK-nın materialları, – Bakı: – 2021, – s. 89-91.

18. Məmmədov, İ.R., İsmayılov, Z.Ə. Muradzadə, E.İ. TV yayım parlaqlıq signalının kvantlanması zamanı yaranan ifrat yüklənmə küylərin səviyyəsinin təsvirinin müşahidə müddətindən asılılığı // – Bakı: Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuəsi, – 2022. cild 24, № 3, – s. 32-38.

19. Məmmədov, İ.R., İsmayılov, Z.Ə. Muradzadə, E.İ. TV yayım parlaqlıq signalının kvantlanması zamanı yaranan ifrat yüklənmə küylərin səviyyəsinin qiymətləndirilməsi // –Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, – 2022. cild 25, №3, – s. 47-52.

20. Məmmədov, İ.R., İsmayılov, Z. Ə., Muradzadə, E.İ. TV yayım videosingnalının səviyyəsinin normal və tərs mütənəşib qanunlarla paylanması halında analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yaranan məhdudlama və kvantlama küylərinin təyin olunması // – Gəncə: Avtomatika, rabitə və informatika, – 2023. № 3, – s. 13-15.

21. Məmmədov, İ.R., Muradzadə, E.İ. İnteraktiv TV yayım sistemlərinin əks kanalında maneədayanıqlığı, veriliş sürəti modulyasiya üsulu arasında kompromisin seçilməsinə dair // – Bakı: Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərin Xəbərləri, – 2020. cild 01, buraxılış 01, – s. 57-60.

22. Məmmədov, İ.R., Muradzadə, E.İ. İnteraktiv televiziya yayım sistemlərində kodlamanın energetik üstünlüyünün təyini// – Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, – 2023. cild 26, №3, – s. 47-53.

23. Məmmədov, İ.R., Muradzadə, E.İ. İnteraktiv TV yayım sistemlərinin əks kanalında tələb olunan gücün və maneədayanıqlığının təmin olunmasına dair // – Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, – 2020. cild 23, №1, – s. 50-56.

24. Məmmədov, İ.R., Muradzadə, E.İ. İnteraktiv yerüstü televiziya yayım sisteminin əks kanalında baza stansiyasının radiovericisinin kanallar üzrə gücünün seçilməsi və tənzim olunması// – Bakı: Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuəsi, – 2023. cild 25, № 2, – s. 1-7.

25. Məmmədov, İ.R. Muradzadə, E.İ. TV yayım siqnallarının kvantlanması zamanı yaranan kvantlama və məhdudlama küyləri nisbətinin hesablanması // – Bakı:

Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – 2020. cild 22, № 1-2, – s. 16-21.

26. Məmmədov, İ.R. TV yayım parlaqlıq signalının kvantlanması zamanı yaranan ifrat yüklənmə küylərinin buraxıla bilən səviyyəsinin təsvir elementlərinin müşahidə bucağından asılılığı // “Elektroenergetikanın müasir problemləri və inkişaf perspektivləri” Beynəlxalq Elmi-texniki konfransının materialları, – Bakı – 2022, – s. 275-280.

27. Muradzadə, E.İ. İnteraktiv TV yayım sisteminin əks kanalında maneədayanqlı qeyri-koherent qəbulun təmin olunması // ADNSU-nun 100 illiyinə həsr olunmuş ADNSU gənc alim və tədqiqatçıların elmi-praktiki konfransının materialları, – Bakı: – 2023, – səh.

28. Muradzadə, E.İ. Mobil rabitə sistemlərində əsas texniki parametrlərin yaxşılaşdırılması imkanlarının təhlili// – Bakı: MİMCS’2019, – 2019, – səh. 68.

29. Аверина, Л.И., Каменцев, О.К. Повышение спектральной эффективности сигналов с частотным мультиплексированием в системах высокоскоростной связи // – Москва: Радиотехника, – 2023. №5, – с.115-122.

30. Аджемов, А.С. Общая теория связи. Учебник для вузов/ А.С. Аджемов, В.Г. Санников – Москва: Горячая линия– Телеком, – 2018. – 624 с.

31. Артющенко, В.М. Воловач, В.И. Обнаружение сигналов при воздействии мультипликативных помех на фоне аддитивного шума //– Москва: Журнал радиоэлектроники, – 2020. №7, – с. 1-24.

32. Артющенко, В.М., Воловач, В.И. Анализ влияния мультипликативных помех на обнаружение сигналов на фоне аддитивного шума // Сборник трудов XIII Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь». – Москва: ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, – 25-27 ноября, –2019, – с. 149-154

33. Бакулин, М.Г., Крейнделин, В.Б. Проблема повышения спектральной эффективности и емкости в перспективных системах связи 6G // – Москва: T-Comm, – 2020. v. 14, № 2, – с. 25-31.

34. Бакулин, М.Г. Технология OFDM: Учебное пособие / М.Г. Бакулин, В.Б. Крейнделин, А. Шлома, А. Шумов – Москва: Горячая Линия – Телеком, – 2016. – 352 с.

35. Бобровский, В.И., Путилин, А.Н., Скворцов, А.К. Эффективность клиппирования OFDM сигналов // – Москва: Электросвязь, – 2019. № 1, – с. 33-36.
36. Большов, О. А., Перминов, П. А. Разработка обратного канала связи в системе беспроводного широкополосного доступа (Сотовое телевидение) // – Москва: Спецтехника и связь, – 2010. № 1, – с.37-45.
37. Быховский, М.А. Гиперфазовая модуляция – оптимальный метод передачи сообщений в гауссовском канале связи / М.А. Быховский. – Москва: Горячая линия– Телеком, – 2018 – 309 с.
38. Быховский, М.А. Метод определения параметров многолучевого канала связи // – Москва: Электросвязь, – 2010. № 3, – с. 46-49.
39. Варгин, П.С. Методики измерения четкости и разрешающей способности цифровой телевизионной системы // – Москва: Вопросы радиоэлектроники. Серия 9. Техника телевидения, – 2017. № 4. – с. 16-34
40. Вешкурцев, Ю.М. Метод модуляции и демодуляции сигнала // – Москва: Электросвязь, – 2019. № 5. – с. 66-69.
41. Вешкурцев, Ю.М. Помехоустойчивость и эффективность нового метода модуляции // – Москва: Наука и мир, – 2019. т.2, № 3(67), – с.8-16.
42. Вешкурцев, Ю.М. Способ демодуляции сигнала, Патент № 2016131149, МПК H04L27/06, Российская Федерация / Вешкурцев Н.Д., Алгазин Е.И. – 2017.
43. Вешкурцев, Ю.М. Способ модуляции сигнала Патент № 2016114366, МПК H03C5/00, Российская Федерация / Вешкурцев Н.Д., Алгазин Е.И. – 2017.
44. Власюк, И. В., Узеев, А. А., Пахомова, Е. А. Исследование методов коррекции изображений с расширенным динамическим диапазоном для воспроизведения на устройствах с ограниченными параметрами отображения // – Москва: Телекоммуникации и информационные технологии, – 2023. №1, – с.135-144.
45. Волков, А.А., Морозов, М.С. Максимизация избирательности сигналов в радиоприемнике //– Москва: Электросвязь, – 2019. № 11, – с. 47-49.

46. Диязитдинов, Р.Р. Метод итерационного совмещения телевизионных сигналов в измерительных системах технического зрения //– Москва: Т-Comm, – 2024, т. 18, №1, – с. 21-20.
47. Двайт, Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г.Б. Двайт. – Москва: Наука, – 1973. – 228 с.
48. Джакония, В. Е. Телевидение. Учебник. / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин [и др.] – М.: Горячая линия – Телеком. – 2007. – 616 с.
49. Евстратов, А.Г., Пустовойтов, Е.Л. Расчет влияния мешающего радиосигнала на приемник цифровой системы радиосвязи при известных законах распределения быстрых и медленных замираний полезного и мешающего радиосигналов // – Москва: Т-Comm, – 2014, №5, – с. 50-55.
50. Елисеев, С.Н. Оценка величины мощности межканальной помехи OFDM сигнала в канале с быстрыми замираниями // – Москва: Т-Comm, – 2017, v. 11, № 4, – с. 59-62.
51. Зубарев, Ю.Б., Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы // Ю.Б. Зубарев, М.И. Кривошеев, И.Н. Красносельский – Москва: НИИР, – 2001. – 568 с.
52. Зюко, А.Г. Теория передачи сигналов. Учебник./ А.Г. Зюко, Д. Д., Кловский, М.В. Назаров [и др.] – Москва: Связь, – 1980, – 288 с.
53. Карташевский, В.Г. Система OFDM для канала с памятью и быстрыми замираниями / В.Г. Карташевский, Е.С. Семенов, К.С. Слипенчук [и др.] // Радиотехника, – Москва: – 2018, №3.– с. 65-69.
54. Карякин, В.Л. Методика выявления зон интерференции и обработки эхо сигналов в сетях SFN // – Москва: Электросвязь, – 2019, № 6, – с. 56-58.
55. Карякин, В.Л. Оценка эффективности обработки цифрового телевизионного сигнала для коррекции интерференционных искажений в одночастотных сетях ТВ вещания // – Москва: Компьютерная оптика, – 2017, № 2, – с. 277-282.
56. Карякин, В.Л. Цифровое телевидение. Учебное пособие для вузов/ В.Л. Карякин. – Москва: СОЛОН-ПРЕСС. – 2019. – 460 с.

57. Кизима, С. В., Девяткин, Е. Е., Палцин, Д.А. Показатели, критерии и меры оценки эффективности использования радиочастотного спектра // – Москва: Электросвязь, – 2019, № 9, – с. 45-52.

58. Конатэ, С., Сорокин, А. С. Критерий и оценка эффективности технологии адаптивной модуляции в СРС // – Москва: Телекоммуникации и информационные технологии, – 2023. №2, – с. 52-59.

59. Корогодин, И.В. Применение OFDM-сигналов в навигационных системах // – Москва: Радиотехника, – 2018, №9, – с. 154-162.

60. Кухарская, О.В. Физический смысл синхронизации в одночастотных сетях цифрового ТВ вещания // – Москва: Электросвязь, – 2016. № 12, – с. 59-63.

61. Левин, Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. В 2-х кн. Книга первая // Б.Р. Левин. – Москва: Советское радио. – 1974. – 550 с.

62. Левин, Б.Р., Вероятностные модели и методы в системах связи и управления// Б.Р. Левин, В. Щварц – Москва: Радио и связь. – 1985. – 312 с.

63. Лемешко, Н.В., Захарова, С.С. Экспериментальная оценка защитных отношений для сигналов DVB-T2 при воздействии узкополосных нестационарных помех // – Москва: Электросвязь, – 2019. № 6, – с. 19-22.

64. Локшин, М.Г., Шур, А.А., Кокорев, А.В., Барановский, Б.К. Сети телевизионного и ОВЧ ЧМ вещания // М.Г. Локшин, А.А. Шур, А.В. Кокорев [и др.] – Москва: Радио и связь. – 1988. –144 с.

65. Макаров, С.Б. Оптимизация спектрально-эффективных многочастотных неортогональных сигналов // – Москва: Радиотехника, – 2016. №12, – с. 121-133.

66. Мамедов, И.Р., Агаев Г.А. Повышение помехоустойчивости системы ТВ вещания при блокировке слабых сосредоточенных по спектру помех в условиях некогерентного приема // – Баку: Известия АНАКА, – 2021. т.24, №2, – с. 43-48.

67. Мамедов, И.Р., Агаев, Г.А. Построение схемы цифрового ТВ приемника с адаптивной регулировкой его чувствительности // – Баку: Научные

Труды Азербайджанской Государственной Морской Академии, – 2021. №2, – с.191-196.

68. Мамедов, И.Р., Ахатов, И.Д. Расчет эффективности использования ресурсов канала ТВ вещания // – Москва: Электросвязь, – 2005. №2, – с.43-44.

69. Мамедов, И.Р. Цифровое телевидение: Формирование и передача сигнала (монография) / И.Р. Мамедов, И. Д. Ахатов, А.М. Шарифов [и др.] – Баку: Азернешр. –2010. – 150 с.

70. Мамедов, И.Р., Велиев, М.А. Повышение помехоустойчивости сотовой системы мобильной связи путем управления мощностью передатчика базовой станции // – Харьков: Прикладная радиоэлектроника, – 2010, том 9, № 2, – с.276-279.

71. Мамедов, И.Р. Выбор и управление мощностью абонентского передатчика в интерактивном телевидении с интеграцией служб // – Москва: Электросвязь, – 2008. №1, – с.17-19.

72. Мамедов, И.Р., Исмаилов, З.А. Предельно допустимое значение мощности перегрузки при аналого-цифровом преобразовании сигнала ТВ вещания // – Москва: Электросвязь, – 2015. №1, – с. 20-22.

73. Мамедов, И.Р., Исмаилов, З.А. Уменьшение шума ограничения при аналого-цифровом преобразовании сигнала яркости ТВ вещания // Международный НТС «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях: «Синхроинфо 2012», – Йошкар-Ола: – 2012, – с. 22-24.

74. Мамедов, И.Р., Исмаилов, З. А. Мурадзаде, Э.И. Компенсация шумов перегрузки при аналого-цифровом преобразовании сигнала яркости ТВ вещания // – Москва: Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов, – 2021. №3, – с. 20-25.

75. Мамедов, И.Р. Передача неподвижных и графических изображений / И.Р. Мамедов – Москва: Радио и связь – 1999 – 128 с.

76. Мамедов, И.Р. Разработка новых методов передачи неподвижных и графических изображений по каналам связи. Теория и техника: / Автореферат диссертации на соиск. уч. степени докт. техн. наук. / – Одесса, 2002. – 34 с.

77. Мамедов, И.Р., Эфендиев, И.Д. Адаптивный метод выбора вида модуляции в беспроводных системах широкополосного радиодоступа // – Москва: Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов, – 2016. №3, – с. 40-43.

78. Мамедов, И.Р., Эфендиев, И.Д. Многоканальное телевизионное вещание: Формирование, передача и описание сигнала // Труды 23-й Международной НТК «Современные телевидение и радиоэлектроника», – Москва: – 2015, – с. 37-40.

79. Мамедов, И.Р., Эфендиев, И.Д. Особенности применения многоканального ТВ в г. Баку и на Апшеронском полуострове // – Москва: Электросвязь, – 2016. №12, – с.55-59.

80. Мартиросов, В.Е., Рамирес, А.Х. Помехоустойчивость когерентного приема сигналов QAM // – Москва: Электросвязь, – 2007. №5. – с. 44-48.

81. Мазунин, А. Г., Попов, О.Б., Орлов, В. Г. Снижение искажений компандирования в каналах связи// – Москва: Телекоммуникации и информационные технологии, – 2023. №1, – с.126-134.

82. Набиев, Р.И., Мурадзаде, Э. И. Метод оценки отношения сигнал—шум в wcdma технологии для повышения качества канала связи //– Москва: Наука, техника и образование, – 2018. № 4 (45), – с. 21-25.

83. Немировский, М.С. Беспроводные технологии от последней мили до последнего дюйма. Учебное пособие. / М.С. Немировский, О.А. Шорин, А.И. Бабин [и др.] – Москва: Эко-Трендз, – 2010. – 400 с.

84. Поборчая, Н.Е. Анализ работы компенсатора искажений КАМ-сигнала, наблюдаемого на фоне аддитивного шума // – Москва: Электросвязь, – 2014. № 8, – с. 20-25.

85. Паршин, Ю.Н. Повышение энергетической эффективности передачи сигналов в нелинейном радиотракте // – Москва: Радиотехника, – 2018, №3, – с. 48-53.

86. Потапов, А.А. Определение порогов обнаружения радиосигналов для метода энергетического детектора // – Москва: Журнал радиоэлектроники, – 2021. №9, – с.3-9.

87. Сухоруков, А.С. Превышение пропускной способности канала без памяти в дискретно-непрерывном детерминированном канале с памятью и заданными ограничениями // – Москва: Т-Comm, – 2020. № 5, – с. 15-26.

88. Серов, А.В. Эфирное цифровое телевидение DVB-T/H // А.В. Серов. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург. – 2010. – 464 с.

89. Спектрально-энергетическая эффективность квадратурной амплитудно-инверсной модуляции сигналов в системах радиосвязи с кодовым разделением каналов / В.А. Сивов, В.А. Васильев, В.Ф. [и др.] // Электросвязь, – Москва: – 2015. № 2, – с.22–24.

90. Смирнов, А.В. Исследование эффекта АМ-РМ искажений при высокоэффективном усилении мощности // – Москва: Электросвязь, – 2016. № 4, – с.61–64.

91. Старицин, С.С. Методика оценивания параметров сигналов с OFDM модуляцией / С.С. Старицин, А.Н. Абакумов, А. В. Передрий [и др.] // Журнал радиоэлектроники, – Москва: – 2020, № 6, – с. 12-16.

92. Технологии беспроводного высокоскоростного распределения мультимедийной информации MMDS и MVDS. Банк лекций Siblec.Ru. / <https://siblec.ru/telekommunikatsii/mobilnye-sistemy-svyazi/16-tekhnologii-besprovodnogo-vysokoskorostnogo-raspredeleniya-multimedijnoj-informatsii-mmms-i-mvds>.

93. Тихвинский, В.О. Сети мобильной связи LTE технологии и архитектура / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук. – Москва: Эхо-Трендз. – 2010. – 284 с.

94. Тихонов, В.Ю., Шинаков, Ю. С. Оценка эффективности компенсации нелинейных искажений сигналов OFDM в нелинейных инерционных устройствах // – Москва: Радиотехника, – 2018. №3, – с. 54-59.

95. Фалько, А.И., Применение шумоподобных сигналов с нулевой зоной корреляции в мобильных системах MIMO / А.И. Фалько, В.И. Носов, А.А. Калачиков [и др.] // Телекоммуникации, – Москва: – 2011. № 2, – с. 38-48.

96. Хименко, В.И. Случайные данные: структура и анализ / В.И. Хименко. – Москва: Техносфера. – 2017. – 424 с.

97. Шарифов, А.М. Уменьшение внутрисистемных помех в системах цифрового ТВ вещания: / Диссертация доктора философии по технике / – Баку, 2016. – 149 с.

98. Шарифов, А.М. Уменьшение нелинейных искажений при передаче OFDM сигналов по частотно-селективным каналам // – Баку: Научные труды Азербайджанской Национальной Академии Авиации, – 2012. №1, – с. 141-150.

99. Шевгунов, Т.Я. Циклостационарные модели инфокоммуникационных сигналов с амплитудно-импульсной модуляцией / Т.Я. Шевгунов, В.А. Шевцов, А.М. Петряков [и др.] // Электросвязь, – Москва: – 2019. № 7, – с. 63-27.

100. Шелухин, О.И. Моделирование информационных систем. Учебное пособие для вузов / О.И. Шелухин. – Москва: Горячая линия – Телеком. – 2014. – 516 с.

101. Шолохов, И.Д. Исследование совместного влияния быстрых и медленных замираний полезного и мешающего сигналов в случае распределения Релея и Гамма-распределения на качество приема сигнала // – Москва: T-Comm, – 2016. v.10, №7, – с.13-22.

102. Шолохов, И.Д., Пустовойтова, Е.Л. Исследование совместного влияния замираний полезного и мешающего сигналов в случае логнормального распределения Релея и Гамма-распределения на качество приема полезного сигнала // – Москва: T-Comm, – 2016. v.10, №5, – с.50-55.

103. Шорин, О.А., Аверьянов, Р.С. Оценка оптимальных параметров OFDM-сигналов с учетом мобильности абонентов // – Москва: Электросвязь, – 2015, № 12, – с. 60-65.

104. Шорин, О.А., Аверьянов, Р.С. Оценка уровней интерференций для сигналов с OFDM модуляцией // – Москва: Электросвязь, – 2015. № 12, – с. 55-59.

105. Abeysekera, S. Efficient Frequency Estimation Using the Pulse-Pair Method at Various Lags // IEEE Transaction on Communication, – 2006, v.54, No 9, – p. 1542-1546.

106. Adionel, D. Hybrid Fusion of Pietra-Ricci Index Detector Information for Cooperative Spectrum Sensing Guimaraes/ <https://inatel.br/docentes/documents/dayan/Publications/24.pdf>.
107. Amhaimar, L., Ahyoud, S., Asselman, A. Peak-to-Average Power Ratio Reduction in MIMO-OFDM Systems // – Nevada: International Journal of Microwave and Optical Technology, – 2017, v.12, N0 1, – p.9-16.
108. Araújo, T., Dinis, R. On the Accuracy of the Gaussian Approximation for the Evaluation of Nonlinear Effects in OFDM Signals // IEEE Transactions on Communications, – 2012, vol. 60, NO. 2, – p.346-351.
109. Attenuation due to clouds and fog // ITU-R Recommendations. P.840-7. – Geneva: – 2017. – p. 4.
110. Chen, H., Chen, W., Chung, C. Spectrally Precoded OFDM and OFDMA with Cyclic Prefix and Unconstrained Guard Ratios // IEEE Transactions on Wireless Communications, – 2011, v. 10, May, N0 5, – p. 1211-1215.
111. Cho, K., Yoon, D. On the General BER Expression of One- and Two-Dimensional Amplitude Modulations // IEEE Trans. on Communications, – 2002, v.50, July, № 7, – p. 1074 - 1080.
112. Chow, C. W. Adaptive scheme for maintaining the performance of the in-home white-LED visible light wireless communications using OFDM / C. W. Chow, C.H. Yeh, Y.F. Liu [et al.] // Optics Communications, – 2013, Vol. 292, – p. 49-52.
113. Defining Local Multipoint Distribution Service/ <https://www.rsinc.com/defining-lmds.php/>.
114. Dunlop, J. Digital Mobile Communication and the TETRA System / J. Dunlop, D. Girma, J. Irvine. – Glasgow: – 1999. – 436 p.
115. El-Khatib, Z., MacEachern, L., Mahmoud, S.A. Distributed CMOS Bidirectional Amplifiers. Broadbanding and Linearization Techniques / Z. El-Khatib, L. MacEachern, S.A. Mahmoud // Springer: – 2012. – 134 p.
116. Ghadei, L., Sahoo, H.K. Performance Comparison of Neural Network-Based Equalizers for Wireless Communication Channels // Proceedings of 2020 IEEE Applied Signal Processing Conference (ASPCON), Kolkata, India, – 2020, – p. 75-79.

117. Harpuneet, S. G., Maninder, L. S. Performance evaluation of DVB-T image transmission over a MIMO OWC channel at 650 nm under varying turbulence regimes // *Wireless Networks*, – 2021. Vol. 27, – p. 1965-1979.
118. Hakegard, J.E. Coding and Modulation for LMDS and Analysis of the LMDS Channels // *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, – 2000, Vol. 105, №5, – p. 721-734.
119. Hakegard, J.E. Coding and Modulation for LMDS and Analysis of the LMDS Channel/ <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/105/5/j55hak.pdf>.
120. Hu, D., He, L., Wang, X. An Efficient Pilot Design Method for OFDM-Based Cognitive Radio Systems // *IEEE Transactions on Wireless Communications*, – 2011, v. 10, April, NO 4, – p. 1252-1259.
121. Jiménez, V. Reduction of the Envelope Fluctuations of Multi-Carrier Modulations using Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems / V. Jiménez, Y. Jabrane, A. Armada, [et al.] // *IEEE Transactions on Communications*, – 2011, v. 59, January, NO 1, – p. 19–25.
122. Jinho, L. Color Noise Reduction Method in Non-constant Luminance Signal for High Dynamic Range Video Service / L. Jinho, J. Dongsan, K. Jungwon [et al.] // *ETRI journal*, – 2016, Vol. 38(5), – p. 858-867
123. Iancu, A., Quantize and Forward Cooperative Communication: Channel Parameter Estimation / A. Iancu, A. Nico, B Herwig, [et al.] // *IEEE Transactions on Wireless Communications*, – 2012, Vol. 11, No. 3, – p. 1167-1179.
124. Interactive television systems with digital video recording and adjustable reminder / <https://patents.google.com/patent/CN101795371B/en>.
125. I. J. Islamov. Modeling of the Electromagnetic Field of a Rectangular Waveguide With Side Holes / I. J. Islamov, E.Q. Ismibayli, Y.G. Gaziyeu, S.R. Ahmadova [et al.] // *Progress In Electromagnetics Research*, – 2019, Vol. 81, – p. 127-132.
126. ISDB/<https://ru.wikipedia.org/wiki/ISDB>.
127. Kardaras, K., Lambrou, G. I., Koutsouris, D. Telematics Healthcare Through Digital Terrestrial Television Networks: Applications and Perspectives //

International Journal of Sensors Wireless Communications and Control, – 2021, Vol. 11, No5, – p. 560-576.

128. Kassan, K. Performance and spectral properties for single-sideband continuous phase modulation / K. Kassan, F. Haifa, D.G. Christian, D.G. [et al.] // IEEE transaction on Communication, – 2021, N0 69 (7). – p. 4402-4416.

129. Ksairi, N., Bianchi, P., Ciblat, P. Nearly Optimal Resource Allocation for Downlink OFDMA in 2-D Cellular Networks // IEEE Transactions on Wireless Communications, – 2011, v. 10, July, N0 7, – p. 2101-2115.

130. Ku, M., Chen, W., Huang, C. EM-Based Iterative Receivers for OFDM and BICM/OFDM Systems in Doubly Selective Channels // IEEE Transactions on Wireless Communications, – 2011, v. 10, May, N0 5, – p. 1405-1415.

131. Lopez-Martinez, F.J., Kurniawan, E., Goldsmith, A. Average Fade Duration for Amplify-and-Forward Relay Networks in Log-Normal Fading // Communication Theory Symposium Globecom, – 2013. – p.2051-2056.

132. Scucchia, L., Palomba, M., Ciccognani, W., Colangeli, S., Limiti E. RF Energy Harvesting for DVB-T Signals / L. Scucchia, M. Palomba, W. Ciccognani, W. [et al] // International Journal of Microwave and Optical Technology, – 2016, v.11, N0 6, – p.453-459.

133. Liu M., Xul L., Yu, Q. An improved algorithm to reduce nonlinear distortion by clipping reconstructing iteration method // Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference, – 2011, July 26-30, – p. 898-901.

134. LMDS and MMDS in Wireless | Architectures, Advantages, Disadvantages / <https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/LMDS-MMDS-architecture-tutorial.html>.

135. LMDS Systems and their Application/ https://www.researchgate.net/publication/3196243_

136. Local Multipoint Distribution system/ <http://old-eclass.uop.gr/modules/document/file.php/TST220/bibliography/LMDS-IEC-Tutorial.pdf>.

137. Maham, B., Tirkkonen, O., Hjørungnes, A. Impact of Transceiver I/Q Imbalance on Transmit Diversity of Beamforming OFDM Systems // IEEE Transactions on Communications, – 2012, v. 60, March, NO 3, – p. 643 – 648.
138. Mahonen, P., Jamin, A. Saarinen, T. Shelby Two-layer LMDS system architecture: DAVIC-based approach and analysis / <https://core.ac.uk/download/pdf/344894431.pdf>.
139. Malmirchegini, M., Mostofi, Y. On the Spatial Predictability of Communication Channels // IEEE Transactions on Wireless Communications, – 2012, vol. 11, NO. 3, March, – p. 964- 978.
140. Mammadov, I.R., Gaziyeu, Y.G., Najafov, S.S. A signals in digital TV broadcasting systems enhancement of frequency spectrum and energy efficiency // Ecoenergetics, – 2023, № 01, – p. 55-59.
141. Mammadov, I.R., Ismailov, Z.A., Muradzadeh, E.I. New Technology Compensation of Restriction Noise at the Analog-to-Digital Conversion of the TV Broadcasting Luminance Signal // Towards Industry 5.0: Selected Papers from ISPR, – 2022, – p. 325-332.
142. Minimum Viable Data Space/ <https://docs.international.dataspace.org/knowledge-base/mvds>.
143. Misra, V., Goyal, V. K., Varshney, L. R. Distributed Scalar Quantization for Computing: High-Resolution Analysis and Extensions // IEEE Transactions on Information Theory, – 2011, Vol. 57, No. 8, – p. 5298 -5325.
144. Muradzada, E.I. Determination of the allowable limit of the shift of tact moments of pulse sequence in digital transmission systems // – Baku: ECOENERGETICS, – 2022, NO 4, – p.33-36.
145. Muradzada, E.I. Transmission capacity of interactive television broadcast systems and increase their technical efficiency// – Baku: ECOENERGETICS, – 2023, NO 1, – p. 41-45.
146. Nasru, M., On the Performance of Video Resolution, Motion and Dynamism in Transmission Using Near-Capacity Transceiver for Wireless Communication / M. Nasru, U. Khadem, F. Jaroslav [et al.] // Journal Entropy, – 2021, Vol. 23, No. 5, – p. 562-586.

147. Ometov, A., Petrov, V., Bezzateev, S. Challenges of Multi-Factor Authentication for Securing Advanced IoT Applications // IEEE Network, – 2019, v. 33, No 2. – p. 82-88.
148. Ozerov, A., Bastiaan, W. K. Asymptotically Optimal Model Estimation for Quantization // IEEE Transactions on Communications, – 2011, Vol. 59, No. 4, – p. 1031-1042.
149. Paliwal S., Grover, D.K., Krayla, J. Comparison of Linear and Non-Linear Equalizer using the Maltlab // Communications on Applied Electronics (CAE), – 2016. Vol. 4. № 1, – p. 7-11.
150. Passerieux, J., Socheleau, F., Laot, C. Achievable Rates over Doubly Selective Rician-Fading Channels under Peak-Power Constraint // IEEE Transactions on Wireless Communications, – 2013, vol. 12, No. 2, – p.586-594.
151. Poynton, C., Stessen, J., Nijland, R. Deploying Wide Color Gamut and High Dynamic Range in HD and UHD // SMPTE Motion Image, – 2015, Vol. 124, No. 3, – p. 37-49.
152. Rabiei, P., Namgoong, W., Al-Dhahir, N. On the Performance of OFDM-Based Amplify-and-Forward Relay Networks in the Presence of Phase Noise // IEEE Transactions on Communications, – 2011, v. 59, May, N0 5, – p. 1458–1466.
153. Rakhlin, V.P., Sak, P.V. Improving the energy performance of a HF transmitter with single-sideband modulation of speech information when using automatic mode control // Radio Communication Technology, – 2021, N0 4, – p. 37-43.
154. Report and order and further notice of proposed rulemaking. Federal Communications Commission (FCC) 23-95 / <https://transition.fcc.gov/Bureaus/Wireless/Notices/1995/fcc95287.html>.
155. Seyedi, Y., Dehghani, M., Ali Moharrer, A., Safavi-Hamami, S. Simulation of Doppler Spectrum for Vehicle-to-Vehicle Communications Channels With Directive Antennas // International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking – 2012, – p.13-17.

156. Sharma, P. Performance Evaluation of OFDM System in terms of PAPR // Second International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies, – 2012, – p. 214-218.

157. Wang, B., Ho, P., Lin, C. OFDM PAPR Reduction by Shifting Null Subcarriers Among Data Subcarriers // IEEE Communications Letters, – 2012, – p. 389-392.

158. Wenjun, X., Kai, N., Zheqiang, H. A. Probabilistic Channel Quantization Scheme Based on Max-SNR Resource Allocation in Multiuser OFDM Systems // IEEE Communications Letters, – 2008, Vol. 12, No. 6, – p. 435-437.

ƏLAVƏLƏR

ƏLAVƏ 1

TV yayım parlaqlıq signalının normal paylanması üçün məhdudlama küylərinin gücünün orta qiymətinin təyini

TV yayım parlaqlıq signalının kvantlanması zamanı yaranan məhdudlanma küylərinin təbiəti, yaranma səbəbləri və hesablanma metodları 2.9 paragrafında ətraflı izah olunmuşdur. Burada TV yayım parlaqlıq signalı tərs mütənasib və eksponensial azalan qanunlarla ifadə olunduqda məhdudlanma küylərinin hesablanması üçün ifadələr çıxarılmış və bu gücün məhdudlama əmsalından asılılığı çıxarılmışdır.

Məlumdur ki, TV yayım təsvirlərinin bir qisminə parlaqlıq tərs mütənasib və ya eksponensial düşən qanunlarla paylandığı halda, müəyyən bir qisminə isə normal qanunla paylanır. Bu zaman “signal-ışığ” çeviricisinin qeyri-xətli amplitud xarakteristikası TV yayım parlaqlıq signalının birölçülü ehtimal sıxlığı aşağıdakı kimi ifadə olunur [69, s. 46]:

$$w(u_{gir}) = \frac{C\gamma_k u_{gir}^{\gamma_k-1}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(Cu_{gir}^{\gamma_k} - CU_{or}^{\gamma_k})^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (\Theta.1.1)$$

Burada σ^2 – paylanmanın dispersiyası, U_{or} – parlaqlıq signalı gərginliyinin orta qiyməti, yayım γ_k – kineskopun (və ya verici borunun) “qamma” əmsalıdır.

TV yayım parlaqlıq signalı normal qanunla paylandığı halda məhdudlanma küylərinin gücünün hesablanması üçün də oxşar ifadələr ədəbiyyatlarda çıxarılmışdır [3, s. 66]:

$$\begin{aligned} \overline{P_{mh}}(u_{gir}) = & \frac{\sigma\sqrt{2}}{C^2\sqrt{\pi}} \left\{ \frac{\sqrt{\pi}}{4} + \frac{1}{2} \left(\frac{CU_{kvmax} - CU_{or}}{\sigma\sqrt{2}} \right) \exp\left[-\frac{(CU_{kvmax} - CU_{or})^2}{2\sigma^2}\right] - \right. \\ & - \frac{\sqrt{\pi}}{4} \operatorname{erf}\left(-\frac{CU_{kvmax} - CU_{or}}{\sigma\sqrt{2}}\right) \left. \right\} + 2(U_{or} - U_{kvmax}) \frac{\sigma}{C\sqrt{2\pi}} \times \\ & \times \exp\left[-\frac{(CU_{kvmax} - CU_{or})^2}{2\sigma^2}\right] \\ & + (U_{or}^2 - 2U_{kvmax}U_{or} + U_{kvmax}^2) \operatorname{erf}\left(\frac{CU_{kvmax} - CU_{or}}{\sigma\sqrt{2}}\right) \end{aligned}$$

(Ə.1.2)

burada $U_{kv maks}$ – kvantlayıcının maksimal icazə verilən kvantlama səviyyəsidir.

Lakin bu ifadə çıxarılan zaman məhdudlama küylərinin gücünü hesablamaq üçün olan məlum ifadədə integrallamanın yuxarı sərhəddi sonsuzluq qəbul edilmişdir:

$$\overline{P_{mh}}(u_{gir}) = \frac{U_{maks}^2}{U_{kv maks}^2} \int_{U_{kv maks}}^{\infty} (u_{gir} - U_{kv maks})^2 w(u_{gir}) du_{gir}. \quad (\text{Ə.1.3})$$

Məhz bu səbəbdən (2.9.2) və (2.9.3) ifadələrindən fərqli olaraq məhdudlama küylərinin gücünü hesablamaq üçün alınmış (Ə.1.2) ifadəsində K_U məhdudlama əmsalı iştirak etmir.

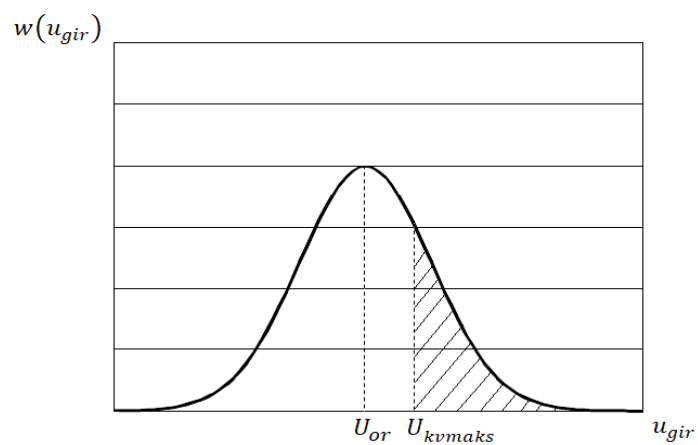
Şəkil Ə.1.1-də bu integrallama nəticəsində hesablanmış sahəni görmək mümkündür (ştrixlənmiş sahə). Lakin alınmış nəticə praktikada özünü doğrultmur. Çünki kvantlanan siqnalın müəyyən səviyyəsi olur. Ona görə də integrallamanın yuxarı sərhəddi olaraq (Ə.1.3) ifadəsində kvantlanan siqnalın U_{maks} maksimal qiyməti qoyulmalıdır:

$$\overline{P_{mh}}(u_{gir}) = \frac{U_{maks}^2}{U_{kv maks}^2} \int_{U_{kv maks}}^{U_{maks}} (u_{gir} - U_{maks})^2 w(u_{gir}) du_{gir}. \quad (\text{Ə.1.4})$$

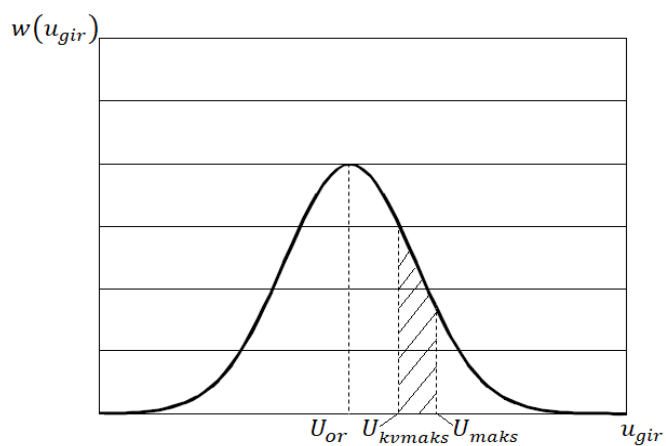
Bu zaman integrallama nəticəsində hesablanan sahə şəkl. Ə.1.2-də göstərilən ştrixlənmiş sahə olacaqdır.

(Ə.1.3) ifadəsinin artıq hesablanmış olduğunu nəzərə alaraq, əvvəlcə həmin integralın sərhədlərini U_{maks} -dan ∞ -a qədər qəbul edirik və (Ə.1.2) ifadəsində $U_{kv maks}$ əvəzinə U_{maks} yazırıq. Bu zaman integrallama nəticəsində hesablanan sahə şəkl. Ə.1.3-də ştrixlənmiş sahə olacaqdır.

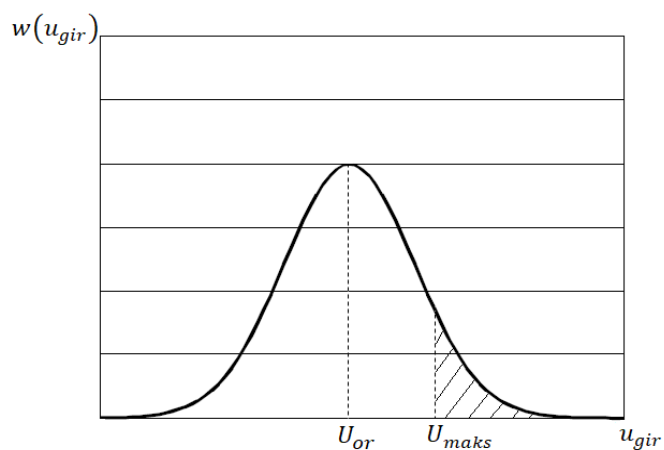
Alınmış bu nəticəni (Ə.1.2)-dən çıxsaq, onda maksimal qiyməti U_{maks} olan TV yayım parlaqlıq siqnalının kvantlanması zamanı yaranan məhdudlama küylərinin gücünün orta qiymətinin hesablanması üçün aşağıdakı ifadəni alırıq [47, s. 119]:



Şək. Ə.1.1. $U_{kv maks} \div \infty$ sərhədləri üzrə məhdudlama küylərinin gücünün hesablanmasına dair



Şək. Ə.1.2. $U_{kv maks} \div U_{maks}$ sərhədləri üzrə məhdudlama küylərinin gücünün hesablanmasına dair



Şək. Ə.1.3. $U_{maks} \div \infty$ sərhədləri üzrə məhdudlama küylərinin gücünün hesablanmasına dair

$$\begin{aligned}
\overline{P_{mh}}(u_{gir}) = & \frac{\sigma\sqrt{2}}{C^2\sqrt{\pi}} \left\{ \frac{\sqrt{\pi}}{4} + \frac{1}{2} \left(\frac{CU_{kv maks} - CU_{or}}{\sigma\sqrt{2}} \right) \exp \left[-\frac{(CU_{kv maks} - CU_{or})^2}{2\sigma^2} \right] - \right. \\
& - \frac{\sqrt{\pi}}{4} \operatorname{erf} \left(-\frac{CU_{kv maks} - CU_{or}}{\sigma\sqrt{2}} \right) \left. \right\} + 2(U_{or} - U_{kv maks}) \frac{\sigma}{C\sqrt{2\pi}} \times \\
& \times \exp \left[-\frac{(CU_{kv maks} - CU_{or})^2}{2\sigma^2} \right] \\
& + (U_{or}^2 - 2U_{kv maks}U_{or} + U_{kv maks}^2) \operatorname{erf} \left(\frac{CU_{kv maks} - CU_{or}}{\sigma\sqrt{2}} \right) - \\
& - \frac{\sigma\sqrt{2}}{C^2\sqrt{\pi}} \left\{ \frac{\sqrt{\pi}}{4} + \frac{1}{2} \left(\frac{CU_{maks} - CU_{or}}{\sigma\sqrt{2}} \right) \exp \left[-\frac{(CU_{maks} - CU_{or})^2}{2\sigma^2} \right] - \right. \\
& - \frac{\sqrt{\pi}}{4} \operatorname{erf} \left(-\frac{CU_{maks} - CU_{or}}{\sigma\sqrt{2}} \right) \left. \right\} - 2(U_{or} - U_{maks}) \frac{\sigma}{C\sqrt{2\pi}} \times \\
& \times \exp \left[-\frac{(CU_{maks} - CU_{or})^2}{2\sigma^2} \right] \\
& - (U_{or}^2 - 2U_{maks}U_{or} + U_{maks}^2) \operatorname{erf} \left(\frac{CU_{maks} - CU_{or}}{\sigma\sqrt{2}} \right)
\end{aligned} \tag{\Theta.1.5}$$

(\Theta.1.2) və (\Theta.1.5) ifadələrindən görünür ki, parlaqlıq signalının hətta belə sadə paylanma qanunda belə məhdudlama küylərinin gücü signalın maksimal qiyməti və kvantlayıcının maksimal icazə verilən kvantlama səviyyəsi ilə mürəkkəb asılılıqla bağlıdır. Ona görə də bu asılılıqların təhlili üçün məhdudlama küylərinin gücünün məhdudlama əmsalından K_u asılılığının qrafikini qurmaq məqsədəuyğundur.

ӨЛАҮӨ 2

- a_{ξ} – $\xi(t)$ təsadüfi prosesin riyazi gözləməsi;
 B – signalın bazası;
 C – rabitə kanalının buraxma qabiliyyəti;
 $C(\omega)$ – sistemin amplitud-tezlik xarakteristikası;
 C_b – bölücü tutumu;
 C_{kb} – tranzistorun kollektor-baza tutumu;
 C_0 – E_0 gərginliyi verildikdə varikapın nominal tutumu;
 C_{rab} – rabitə kondensatoru;
 E_b – bitin enerjisi;
 E_{φ} – varikapın kontakt potensiallar fərqi;
 $G_{\xi}(\omega)$ – $\xi(t)$ təsadüfi prosesinin gücünün energetiki spektri;
 G_{AQ} – qəbuledici antenanın gücləndirmə əmsalı;
 G_v – verici antenanın istiqamətlənmə əmsalı;
 $F_{1\xi}(x)$ – $\xi(t)$ təsadüfi prosesinin birölçülü inteqral paylanma funksiyası;
 $F(\theta, \varphi)$ – əsas şüalanma istiqaməti ilə müqayisədə digər istiqamətlər üzrə şüalanma gücünün azalmasını nəzərə alan əmsal;
 f – cari zaman tezliyi;
 h_{ef} – antenanın effektiv hündürlüyü;
 Δf_b – sistemin tezlik buraxma zolağı;
 $h(t, \tau)$ – sistemin impuls keçid funksiyası;
 h_b^2 – energetiki parametrlər;
 $I_k(x)$ – x arqumentindən k dərəcəli birinci cins Bessel funksiyası;
 $I_T(z', z)$ – tam məlumat miqdarı;
 K_n – kanal signalının pik faktoru;
 K_U – məhdudlama əmsalı;
 h_b^2 – energetiki kəmiyyət;
 k_f – qeyri-xətti təhrif əmsalı;
 $k(i\omega, t)$ – sistemin ötürmə funksiyası;
 L – təsvirdəki parlaqlığın cari qiyməti;
 L_{makc} – təsvirdəki parlaqlığın maksimal qiyməti;
 L_{tr} – signalın yayılma trassı üzrə sönməsi;
 $m_{\xi k}$ – $\xi(t)$ təsadüfi prosesinin paylanmasının k -cı başlanğıc momenti;
 $M_{\xi k}$ – $\xi(t)$ təsadüfi prosesinin paylanmasının k -cı mərkəzi momenti;
 M_y – icazə verilən kvantlama səviyyəsi;

- N_0 – küyün intensivliyi;
 P_d – siqnalın daşıyıcısının gücü;
 P_s – siqnalın gücü;
 P_k – küyün gücü;
 $P_{kv}(u_{gir})$ – kvantlama küylərinin gücünün orta qiyməti;
 $\overline{P_{mh}}(u_{gir})$ – ifrat yüklənmə küylərinin gücünün orta qiyməti;
 P_{ji} – j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının gücü;
 P_{ji0} – idarəetmə tətbiq olunmadığı halda j -cu BS-in i -ci kanal vericisinin gücü;
 P_{OA} – radioqəbuledicinin həssaslığı;
 ΔP – gücün artırılma addımı;
 p_s – səhvlər ehtimalı;
 $p_{ji,k}$ – j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının κ -cı səviyyədə olması ehtimalı;
 $p_{ji,M}$ – j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının maksimal güclə işləmə ehtimalı;
 $p_{jl,k0}$ – j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının κ -cı səviyyədə olması ehtimalının maksimal güclə işləmə ehtimalına nisbəti;
 $Q(\cdot)$ – səhvlər funksiyası;
 R – məlumatın verilmə sürəti;
 $R_x(\tau)$ – korrelyasiya funksiyası;
 R_{ji} – j -cu BS-lə i -ci abonent arasında olan məsafə;
 T_b – informasiya bitinin davamətmə müddəti;
 T_{eg} – elementar impulsun davamətmə müddəti;
 T_k – küy temperaturu;
 $y'(u_{gir})$ – kompressiya xarakteristikasının dikliyi;
 U_{maks} – təsvirlərdəki maksimal parlaqlığa uyğun olan gərginlik;
 $U_{kv maks}$ – kvantlayıcının maksimal icazə verilən kvantlama səviyyəsi;
 U_{or} – parlaqlıq siqnalı gərginliyinin orta qiyməti;
 ΔU_{bur} – parlaqlıq siqnalının insan gözü tərəfindən aşkar oluna bilən minimal buraxılan gərginlik;
 $w(x)$ – birölçülü ehtimal sıxlığı;
 $w_2(x, y)$ – ikiölçülü ehtimal sıxlığı;
 β_i – radiovericinin i -ci kanalı üzrə energetiki effektivlik;
 $\Phi(x)$ – Kramp funksiyası;
 α_1 – sönmə əmsali;
 $\varphi(\omega)$ – sistemin faz-tezlik xarakteristikası;

- τ_s – kanal signalının davamətmə müddəti;
 τ_u – təsvir elementinin müşahidə müddəti;
 $\lambda_{1\xi}(x_0)$ – x_0 səviyyəsinin $\xi(t)$ təsadüfi proses tərəfindən kəsib keçmələrin sayının orta qiyməti;
 $\theta(v)$ – xarakteristik funksiya;
 θ_s – insan gözünün ətalət müddəti;
 η_f – fiderin faydalı iş əmsalı;
 Δ – kvantlama addımı;
 ρ – konturun xarakteristik müqaviməti;
 v_f – fluktuasiya küylərinin effektiv qiyməti;
 v_s – insan gözünün məxsusi küylərinin effektiv qiyməti;
 σ_ξ^2 – normal paylanmış təsadüfi prosesin dispersiyası;
 $\mathcal{E}_{ef}$ – spektral (tezlik) effektivlik;
 $\mathcal{E}_{ef0}$ – potensial spektral (tezlik) effektivlik;
 $\bar{\chi}(u_{gir})$ – məhdudlama küylərinin gücünün orta qiymətinin kvantlama küylərinin gücünün orta qiymətinə nisbəti;
 γ_k – kineskopun «qamma» əmsalı;
 $\gamma_{jl,k}$ – k səviyyəli gücün maksimal gücə olan nisbəti;
 $\xi(t), \eta(t), \zeta(t)$ – təsadüfi proseslər;