

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI ALOQA, AXBOROTLASHTIRISH  
VA TELEKOMMUNIKATSIYA TEXNOLOGIYALARI DAVLAT  
QO'MITASI

TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

Kompyuter tizimlari Kafedrası

Audio Video signallarga raqamli ishlov berish fani bo'yicha

MUSTAQIL ISH

Mavzu: Vokoderlarning ishlash prinsipi.

TOSHKENT

# МУНДАРИЖА

I.	КИРИШ.....	3-5
II.	Асосий қисм.....	6-28
	I. ВОВ	
	1. ПОЛОСАЛИ КОДЛАШ. ВОКОДЕРЛАР.....	6
	2. Формант вокодери.....	14
	II. ВОВ	
	1. Гармоник вокодер.....	15
	2. Чизикли башоратловчи вокодерлар.....	16
	III. ВОВ	
	1. Ярим вокодерлар.....	18
	2. ДИФФЕРЕЦИАЛ ИМПУЛЬС-КОД МОДУЛЯЦИЯ.....	21
III.	ХУЛОСА.....	29
IV.	Адабиётлар.....	30-31

## КИРИШ

Инсоният жамият ривожланишининг ХХI-аср бошига келиб глобал ахборотлаштиришни амалга ошириш даврига кирди. Глобал ахборотлашган жамиятнинг келгуси ривожда ахборот технологиялари ва телекоммуникация тизимларининг ривожидан ўз навбатида иқтисодиёт, илм-фан ва маданиятнинг ривожланишининг янги поғонасини белгилайди. Глобал ахборотлашган жамиятнинг глобал ахборотлаштириш инфраструктурасига асосланган бўлиб, ҳозирги ва келажак электр алоқа, ахборот технологиялари ва маиший электрониканинг, шу жумладан аҳолига алоқа хизматларини кўрсатиш, радиоэшиттириш ва телекўрсатув, шу жумладан интерактив хизматлар кўрсатиш, радиоалоқа ва мобиль алоқа тизимларининг бир-бири билан яқинлашиб, бир вақтнинг ўзида турли ахборотларни узатиш ва қабуллаш тизимларининг бир-бирига яқинлашиб, қўшилиб, бир-бири билан ҳамжихатликда ахборотларни узатиш, қабуллаш ва сақлаш тизимларига талабларнинг умумлашиб боришига олиб келади. Ахборот алоқа каналлари орқали кўп ҳолларда электр алоқа сигналлари орқали амалга оширилади. Бунда сигналнинг параметрларидан бири узатилаётган хабарга мос равишда ўзгаради. Мисол учун, товуш орқали бериладиган хабар микрофон ёрдамида мос равишда ўзгарувчи кучланишга айлантирилади. Микрофон юкламасидаги ушбу кучланиш вақт бўйича узлуксиз шаклда ўзгариб туради. Шунинг учун бундай сигналлар узлуксиз сигналлар деб аталадилар. Бирламчи узлуксиз сигнални унинг маълум бир вақт оралиқларида олинган оний қийматлари орқали алоқа канали орқали узатиш ва қабуллаш томонида уни қайта тиклашни амалга ошириш мумкин.

Бу тур сигналлар дискрет (вақт бўйича дискрет) сигналлар деб аталади ва алоқа каналлари орқали дискрет сигналлар узатилганда каналдан фақат дискрет сигнал давомийлиги вақтидагина фойдаланилади, қолган вақт давомида канал бўш бўлади, фойдаланилмайди. Шунинг учун алоқа каналини вақт бўйича азичлаш асосида кўп каналли алоқа тизимини амалга ошириш мумкин. Бунда алоқа каналидан турли манбалардан олинган хабар сигналларини кетма-кет узатиш мумкин. Дискрет  $k\Delta t$  вақтларда сигналнинг оний қийматлари номаълум Тасодиқий қийматга эга бўлади. Оний қийматлари чексиз кўп бўлган сигнални сатҳ бўйича узлуксиз сигнал деб аталади. Вақт бўйича дискретланган сигналнинг оний қийматлари узатишдан аввал квантланади, яъни сатҳ бўйича дискретланади. Квантлаш натижасида узлуксиз сигнал оний қийматлари рўхсат этилган сигналлардан бири биланалмаштирилади. Квантланган сигнал сатҳларига сатҳ тартиб рақами бириктирилади. Энди сигналга рақамлар кетма-кетлиги сифатида қараш мумкин. Бу рақамларни “1” ва “0” лар комбинациясидан иборат бўлган кодлар комбинацияси ёрдамида алоқа канали орқали узатиш

мумкин. Бундай сигналлар рақамли сигналлар деб аталади. Улардан бири сифатида импульс код модуляцияси (ИКМ) сигналини келтириш мумкин. Аналог сигнал вақт ва сатҳ бўйича дискрет сигналлар кетма-кетлигига айлантирилади, сўнгра кодланади ва бу код символлари гармоник тебраниш шаклидаги ташувчининг асосий уч параметрларидан бирини модуляциялаш натижасидан импульс код модуляцияланган (ИКМ) сигнал шаклида алоқа канали орқали узатилади.

Сигналларни рақамли шаклда узатиш ва уларга рақамли ишлов бериш аналог шаклда узатиш ва ишлов беришга қараганда қуйидаги афзалликларга эга. Узатиладиган турли хабар сигналларини бир шаклга келтириш – унификациялаш орқали ахборотларни узатиш, қабуллаш ва хотиради сақлаш қурилмаларини бир хил асосга келтириш имкониятини беради. Электр алоқа – телекоммуникация жиҳозларини компьютерлаштириш имкониятини беради. Чунки ҳозирда катта ҳажмдаги ахборотлар юқори сифат билан узатиш ва унга ишлов беришни компьютерлаштиришларсиз тасаввур этиш мумкин эмас.

Ахборот узатиш ва коммутация тизимларини бир-бирига қўшилиб кетиши – интеграцияси тўлиқ рақамли телекоммуникация тизимини яратиш орқали амалга оширилади. Бундай алоқа тармоқларини юқори ишончлик ва самарадорликни оширади, чунки ахборот узатиш тармоғи маршрутини ўзгартириш, тармоқлар ахборот узатиш юқламасини бир меъёردа бўлишини таъминлайди.

Сигналларни рақамли шаклда узатиш уларни регенерация (қайта тиклаш – хатоликларни йўқотиш) имкониятини беради. Шу билан бирга халақитлар сатҳи юқори бўлган аналог шаклдаги сигналларни узатишга яроқсиз бўлган каналлар орқали сигналларни рақамли шаклда узатиш имконияти пайдо бўлади.

Сигналларни рақамли шаклда узатишдан фойдаланиш оптик алоқа линияларидан фойдаланиш самарадорлигини оширади, юқори тезликда сигнал узатиш ва регенерация пунктлари сонини камайтириш имкониятини беради.

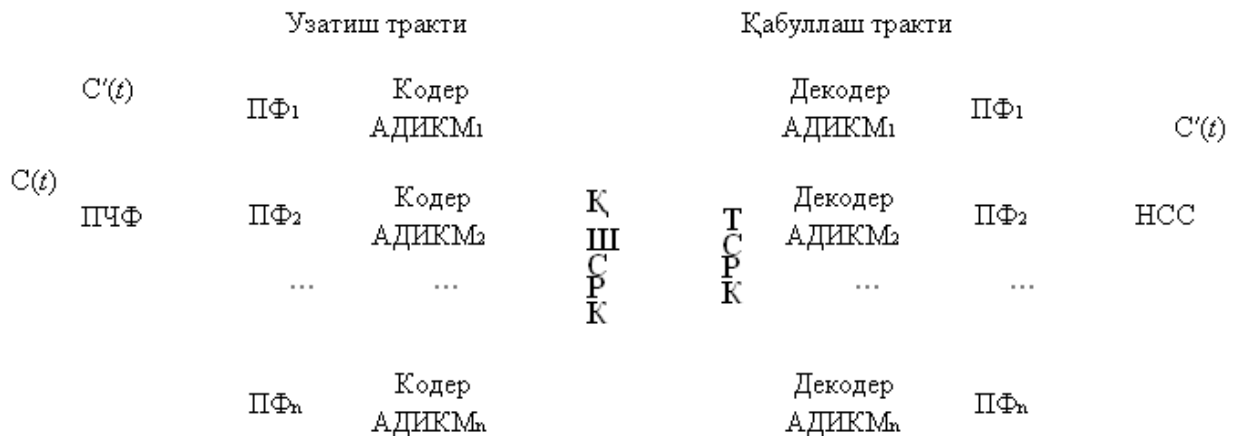
Алоқа каналлари асосий техник кўрсаткичлари (сўнишлар қолдиғи, частота ва амплитуда характеристикалари)нинг барқарор бўлишини таъминлайди. Бунинг натижасида алоқа каналлари орқали вақт бўйича зичлаштирилган каналлар (ВЗК)нинг амплитуда характеристикаларидаги нозичлиқликларни камайтиради.

Юқори техник иқтисодий кўрсаткичлар рақамли интеграл микросхемалардан коммутация тизимлари ва рақамли узатиш-қабуллаш қурилмаларини яратишда фойдаланиш уларнинг геометрик ўлчамларини кичиклаштириш, электр манбаидан фойдаланиш тежамкорлигини ошириш, тизимнинг барқарор ишлаш давомийлигини сезиларли даражада оширади. Ушбу битирув малакавий иши

рақамли сигналларнинг турларидан бири бўлган дифференциал импульс код модуляция сигналидан фойдаланиб хабар узатишга асосланган: дельта модуляция, инерцияли компандерли дельта модуляция, сигнал спектрини алоҳида қисмларга ажратишга асосланган кодлаш; вокодерлар ва ВЗКларга ва трактларга дискрет сигналларни киритиш, ажратиб олиш масалаларига бағишланган

# 1. ПОЛОСАЛИ КОДЛАШ. ВОКОДЕРЛАР

Рақамли узатиш тизимлари самарадорлигини полосали кодлашни қўллаш асосида ошириш мумкин. Полосали кодлашда узатилаётган бирламчи сигнал) ( $t$   $C$  ни берилган самарадор узатиладиган частоталар полосаси (СУПЧ) чегараларида ўтказувчи ПЧФ чиқишидаги сигнал) ( $t$   $C'$  ни ушбу СУЧП ни  $n$  та алоҳида-алоҳида нисбатан тор полосали субканал филтър (ПФ1...ПФ $n$ ) ларга бўлишга ва уларнинг чиқишидаги сигналларни АДИКМ1... АДИКМ $n$  лар ёрдамида кодлашдан фойдаланилади. Суб (кичик) каналлар (СК) сони 4...8 оралиғида бўлади.



1-расм. Полосаларга бўлишли кодек структуравий схемаси.

Узатиш трактида ҳар бир СКлар сигнали бир полосали модуляция натижасида (ёрдамида)  $0...F_{\text{макс}}$  диапазонида кўчирилади, сўнгра унга алоҳида ишлов берилади, мисол учун адаптив дифференциал импульс-код модуляция кодери (АДИКМ кодери) ёрдамида.

Ҳар бир СК учун дискретизациялаш ўзига мос частота  $f_d$  билан дискретизацияланади. Ҳар бир СКда квантлаш ва кодлаш турли аниқлик билан инсон кулоғининг хусусиятларини эътиборга олиб амалга оширилади, бунда ҳар бир СК чиқишидаги сигнал ўзининг статистик хусусиятлари билан, бирламчи нутқ сигнаliga қараганда бир турли (жинс)лиги эътиборга олинади. Агар кодлашда оний компандерлашдан фойдаланилса, у ҳолда ҳамма СКлар учун умумий кодеридан фойдаланиш мумкин. Аммо узатиш тезлигини камайтириш (минимумлаштириш)ни таъминлаш мақсадида ҳар бир СК учун адаптив кодеридан фойдаланилади.

Ҳар бир СКда сигнал кодлангандан сўнг, ҳамма рақамли оқимлар умумий канал орқали узатиш учун канал рақамли сигнаolini шакллантирувчи қурилма (КРСШК) ёрдамида бирлаштиради. Қабул қилишда тесқари ўзгартириш амалга оширилади: канал рақамли сигнали ёрдамида канал рақамли сигнаolini тақсимловчи (КРСТ)ларига бўлиб беради; сўнгра ҳар бир СК сигнали АДИКМ декодери ёрдамида декодланади ва нутқ сигнаolini синтезлаш (НСС) блокида бирламчи нутқ сигнали синтезланади (қайта тикланади).

Ҳар бир СКда алоҳида-алоҳида кодлаш қуйидаги афзалликларга эга.

1. Алоҳида адаптивлашдан фойдаланиб ҳар бир СКда унинг киришидаги сигнал энергиясига мос равишда квантлаш одимини танлаш мумкин. Нисбатан катта сатҳли сигналлар учун СКда квантлаш одимини катта қилиб амалга ошириш мумкин. Шундай қилиб, квантлаш шовқини

спектри СК сигнали оний спектрига яқинлаштирилади.

2. Ҳар бир суб полосалардаги сигналларнинг хабарни эшитиш сифатига таъсир даражасига қараб ҳар бир СКда сигнал узатиш тезлиги оптималлаштирилиши (мутаносиблаштирилиши) мумкин. Хусусан, нутқ сигнали паст частоталари оний қиймат(отсчет)лари учун нисбатан катта  $j$   $m$  разрядлдан фойдаланиш мумкин, бу усулдан нутқ асосий тони, унсизлилар фарманти ва жарангли унлилар структураси(таркиби)ни сақлаб қолиш керак бўлган ҳолларда фойдаланилади. Юқори частотали нутқ сигналлари оний қийматлари учун паст частоталарга қараганда кам разрядлардан фойдаланиш мумкин, чунки шовқинсимон жарангсиз (бўғик) товушлар қайта тикланишда (синтезлашда) юқори сифат талаб этилмайди.

СК частоталар полосасини субканалларга бўлиш умумий ва нисбатан оддий АДМ ва АДИКМ кодлаш алгоритмларига қараганда узатиш тезлигини сезиларли даражада камайтириш мумкин. Бундай кодлашда рақамли хабарни сиқиш коэффициентини қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$K_c = \left( N_{xc} + \sum_{j=1}^n F_{\epsilon j} \cdot m_j \right) / (F_{\partial 0} \cdot m_0)$$

бунда,  $x_c N$  – хизмат сигналлари сони, мисол учун 1 с даги синхронизация

сигналлари сони;

$F_{d0}$  ва  $M_0$  – оддий усулда рақамли узатишдаги дискретизациялаш частотаси ва кодлар комбинацияси разряди ( $8 = F_{d0}$  кГц ва  $8 = m_0$ ).

Тажрибалар натижаси шуни кўрсатадики, нутқ сигналлари спектрини субполосаларга бўлиб узатиш рақамли сигналларни 16...24 кбит/с тезлик ва сиқиш коэффициенти  $4 \dots 3 = c$  К билан узатилганда яхши сифатни таъминлайди.

Замонавий субполоса кодеклари амалга оширишнинг ҳамма босқичларида фақат сигналларга рақамли ишлов бериш усулидан ва микропроцессорлардан фойдаланиб канал рақамли сигнали

шакллантирилади.

Субполосаларни кодлаш усули частоталар полосаси 7 кГц гача бўлган нутқ сигналларини асосий рақамли канал (АРК) тезлигида амалга оширилади. Бунда нутқ сигнали частоталари полосаси икки полосага бўлинади, яъни икки субканал ҳосил қилинади. Биринчи субканал полосаси 0,1...4,0 кГц бўлиб, узатиш тезлиги 48 кбит/с бўлган АДИКМ ёрдамида бажарилади, иккинчи СКда эса 4,0...7,0 кГц частоталар полосаси 0...3,0 кГц полосага ўзгартирилади ва узатиш тезлиги 16 кбит/с бўлган АДИКМ усулида узатилади. Субполосаларни кодлаш алгоритмидан сигнал узатишда) (t C' кириш сигналини иложи борица максимал аниқлик билан қайта акс эттиришда фойдаланилади. Бу алгоритм сигнал ҳақида жуда оз ёки умуман маълумот бўлмаганда қўлланилиши мумкин, амалда ҳар қандай тонал частота канали орқали узатиладиган сигналга, мисол учун факс сигналларига (статик тасвир) қўллаш мумкин. 20 кбит/с ва ундан кам бўлган тезликда нутқ сигналини узатиш учун нутқ сигналнинг статистик хусусиятларини билиш ва махсус кодлаш методини қўллаш керак бўлади.

Узатиладиган бирламчи нутқ сигнали статистик хусусиятларини билишга асосланган кодлаш методига асосланган қурилма вокодер деб аталади (voice coders сўзларининг бирлашмаси бўлиб, нутқ сигнали кодерини англатади).

Вокодерлардан асосан нутқ сигнали параметрларининг фақат эшитиш учун зарурларини – символлари камайтирилган сигнални кодлашда фойдаланилади. Вокодерларни қуришда нутқ сигналларининг ўзига хос хусусиятларидан фойдаланилади.

Унли ва жарангли ундош товушлар спектри дискрет бўлиб, спектрининг ҳамма ташкил этувчилари асосий тон частотаси ат F га қарали бўлади ва ҳар бир гапирувчининг ўзига хос хусусияти бўлади. Бундай товушларни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$C(t) = \sum_{k=1}^M A_k c \cos 2\pi F_{am} t$$

бунда,  $k A$  – асосий тон ат  $F$  частотаси  $k$ -нчи гармоникаси амплитудаси:

$k A$  – параметр турли товушлар учун турлича, ат  $F$  – параметр ҳар бир гапирувчида бошқа-бошқа қийматга эга.

2. Жарангсиз товушлар (жарангсиз ундошлар) спектри амалда узлуксиз бўлади.

3. Ҳамма товушлар учун сигнал спектри энергияси нотекис тақсимланган ва асосан баъзи частоталар спектрида тўпланган бўлиш хусусияти хос. Ушбу товуш спектри асосий энергияси жойлашган қисми формант деб аталади. Формантлар сони ҳар бир товуш учун гапираётган шахс хос хусусиятларига боғлиқ бўлиб, 3...5 тагача (баъзан эса 7 тага ҳам етиши мумкин) бўлиши мумкин. Формантларнинг асосий параметрлари бу формант марказий частотаси  $f_i$

$F$  ва максимал амплитуда  $k A$  бўлиб, у турли товушлар учун турли қийматларга эга ва ҳар қайсиси гапираётган учун ҳам турлича бўлади, фарқланади.

4. Биринчи уч формантларнинг ўртача марказий частоталари куйидаги частоталар оралиғида бўлади: биринчи формантда 200...700 Гц ( $500 = F_{f1}$  Гц частотада шартли максимум); иккинчи формантда 1000...2000 Гц ( $1500 = F_{f2}$  Гц частотада шартли максимум); учинчи формантда 2000...4000 Гц ( $3500 = F_{f3}$  Гц частотада шартли максимум).

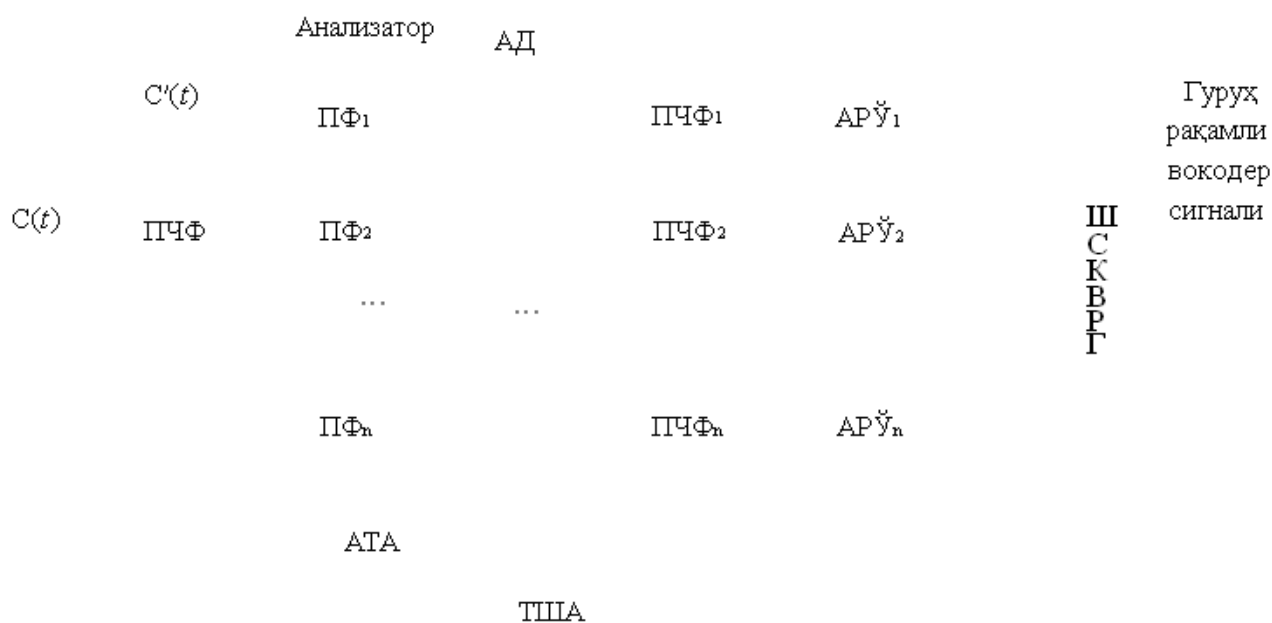
5. Нормал нутқ жараёнида алоҳида товуш ва сўз бўғинларининг такрорланиш частотаси 10 Гц дан катта бўлмайди, бунда энг қисқа ундошларнинг давомийлиги 30 мс дан кам эмас ва энг узун унлиларнинг давомийлиги 350 мс дан катта бўлмайди. 6. Нутқ спектри частоталарининг бошланғич фазалари орасидаги муносабатлар уларни эшитиш сифатига кам таъсир этади. Умуман олганда инсон қулоғи нутқнинг турли частоталардаги энергия сатҳига сезгир бўлиб,

спектрни ташкил этувчи частоталар орасидаги фазовий боғлиқликларга сезгирлиги йўқ.

Юқорида айтиб ўтилган нутқ сигналларининг қайси ўзига хос хусусиятларидан уни таҳлил этишда фойдаланилгани ва қабул қилиш томонида уни қайта синтезлашда танланганига қараб вокодерлар куйидаги турларга бўлинади:

полоса вокодери (ПВК); формант вокодерлари (ФВК); гармоник вокодерлар (ГВК); чизикли башоратловчи вокодерлар (ЧБВК).

Полоса вокодери биринчи марта 1928 йилда Г. Дадли томонидан ихтиро қилинган. Бу ПВКда нутқ сигнали спектрни компрессиялаш йўли билан 300 Гц полосали аналог сигналга ўзгартирилган. Сўнгра юқоридаги илмий асосда узатиш тезлиги 1 кбит/с дан 2 кбит/с гача бўлган рақамли полоса вокодери (РПВК) яратилди. Сигнал узатиш тракти рақамли полоса вокодерининг структуравий схемаси 2-расмда келтирилган.



2-расм. Сигнал узатиш тракти рақамли полоса вокодерининг структуравий схемаси.

Бирламчи нутқ сигнали) (t C частоталар полосаси, ПЧФ ёрдамида канал тонал частотаси эффектив узатиш частоталари полосасига мос қисми ажратиб олинади. ПЧФ чиқишидаги ) (t C'

сигнал ПФ1...ПФn полоса филтрлари ёрдамида бир неча субканалларга бўлинади. Ҳар бир СК таркибида АД бўлиб, унинг чиқишида СК сигнал ўровчиси частоталар ўтказиш полосаси 0 дан 25...35 Гц гача бўлган ПЧФ ёрдамида ажратиб олинади. Натижада ушбу филтрларнинг чиқишида n I t Si ,... 2, 1 ), ( = бўлган, ҳар бири СК частоталар полосасидаги нутқ сигнали спектри интенсивлиги ҳақидаги информацияни етказувчи паст частоталар сигнали шаклланади. Сўнгра СКларнинг чиқиш сигналлари) (t Si аналог-рақам ўзгартиргич (АРЎ)

блокида оддий ИКМ ёки унинг мураккаблашган турлари: ДИКМ ёки C(t) ПЧФ ПФ2 ПФ1 ПФn Г Р В К С Ш Анализатор C'(t) ... ... АД ПЧФ1 ПЧФ2 ПФn АРЎ1

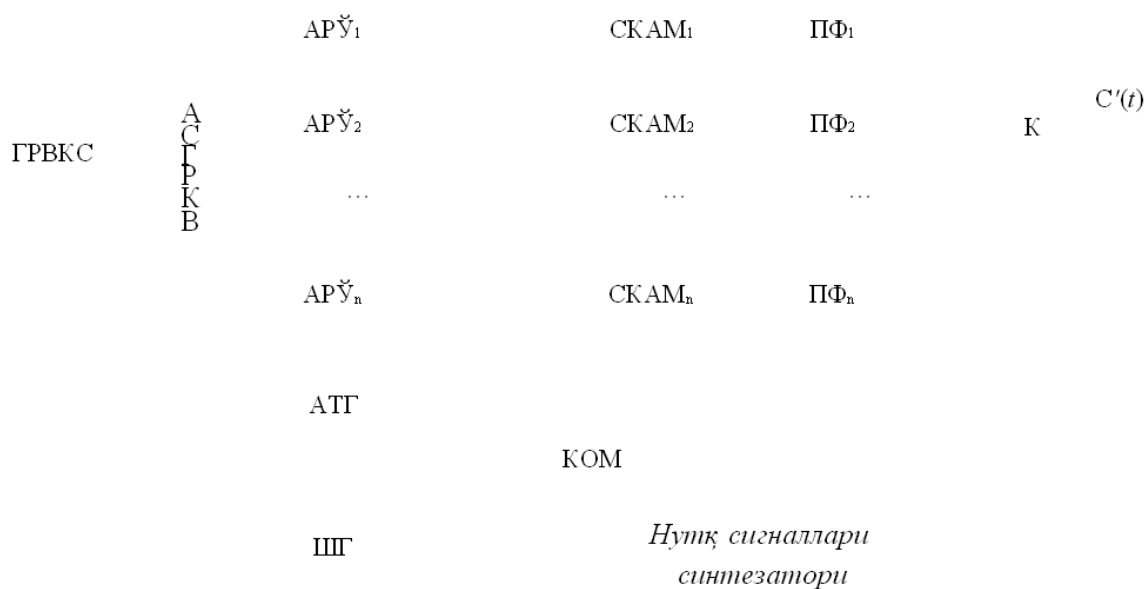
АРЎ2 АРЎn АТА ТША Гуруҳ рақамли вокодер сигнали АДИКМ асосида тегишли рақамли сигналлар шакллантиришнинг ҳамма жараёнларини ўтади.

Асосий тонни ажратувчи (АТА) блок ёрдамида асосий тон частотаси ат F аниқланади, тон-шовқин аниқловчи (ТША) ёрдамида товуш тури жарангли (тонал) ёки жарангсиз эканлиги аниқланади. АТА ва ТШАдаги ахборотни узатиш учун 100 Гц га яқин частоталар полосаси талаб этилади. Субканаллар шакллантирувчи, АТА ва ТША блокдан иборат қурилма анализатор (таҳлиллагич) деб аталади. Сўнгра СК, АТА ва ТША алоҳида рақамли сигналлари гуруҳ рақамли вокодер сигналини шакллантирувчи (ГРВКСШ)да бириктирилади ва гуруҳ рақамли вокодер сигнали (ГРВКС) ҳосил бўлади. Такт частотаси бўйича сиқиш коэффициенти куйидаги формула орқали аниқланади:

$$K_c = \frac{F_{ВКТЧ}}{F_{\partial 0} m_0} \cong \left( \sum_{i=1}^n m_i F_i + 600 \right) (F_{\partial 0} m_0)^{-1}$$

бунда, ВКТЧ F – вокодер РСГ (рақамли сигнал генератори) такт частотаси;  $F_i$  ва  $m_i$  – дискретизациялаш частотаси ва  $i$ -нчи СКдаги кодлаш разряди (одатда  $70 \dots 50 = i$  F Гц ва  $5 \dots 3 = m_i$ );  $F_{\partial 0}$  = Fд0 кГц ва  $m_0$  – асосий ИКМ-ВКА рақамли узатиш тизими (РУТ) дискретизациялаш частотаси ва кодлаш разряди.

АТА ва ТШАдан ахборотни узатиш ва синхронизациялаш сигналини узатиш учун 600 бит талаб этилади. СКлар сони  $n=6\dots 12$  бўлганда полоса вокодери сигнал узатиш тезлиги 1200...2400 бит/с ни ташкил этади, бу сиқиш коэффициентининг  $53 \dots 26 = c$  K бўлган қийматларига мос келади. Полосали вокодернинг қабул қилиш тракти умумлашган структуравий схемаси 3-расмда келтирилган. Бу трактда СК рақамли сигнални декодлаш, унга мос сигнал ўровчисини олиш ва ушбу ўровчи асосида нутқ сигналини, асосий тон ва тон-шовқин сигналини синтезлаш (қайта тиклаш) амалга оширилади.



3-расм. Полосали вокодернинг қабул қилиш тракти умумлашган структуравий схемаси.

Қабуллаш тракти киришига вокодер рақамли гуруҳ сигнали берилади. Бу сигнал вокодер рақамли гуруҳ сигнаlines ажратиш (ВКРГСА) блокада тегишли субканаллар сигнаliga ажратилади. Бунда узатиш тракти АТАдан ахборот асосий тон импульс генератори (АТИГ)га келиб тушади ва унинг частотасини бошқаради. Узатиш тизими ТШАсидан ахборот коммутатор (уловчи – У) (КОМ)га берилади, бу коммутатор тароксимон полосалар фильтрига субканаллар полоса фильтри (ПФ) ёки АТИГ ёки шовқин генератори (ШГ)ларни улайди. Шовқин генератори тасодифий давомийликка ва частотага эга бўлган қисқа импульсларни шакллантиради, бу эса частоталар бўйича бир хил энергия зичлигига эга бўлган шовқинга мос

келади.

Асосий тон генератори (АТГ) бу гармоникалар генератори бўлиб, асосий тон частотаси ат  $F$  частота билан даврий такрорланувчи импульсларни шакллантиради.

СК, РАЎ – рақам аналог ўзгартиргич, СКАМ – субканаллар амплитуда

модулятори; ПФ – субканаллар полоса фильтрлари, АТГ – асосий тон генератори, ШГ – шовқин генератори ва КОМ – коммутаторлари биргаликда нутқ сигналлари синтезатори – НССни ташкил этади.

Ҳар бир СКга тегишли РАЎ чиқишидаги  $(t) S$  сигнал ўровчиси СКАМга берилади, бу қурилмада АТГ ёки ШГ сигналларини амплитуда бўйича модуляциялайди. Натижада, одатда у ёки бу товушга хос бўлган частоталар

спектри деб аталадиган сигнал шакллантиралида. Тегишли СК сигнали)( $t$  S қийматига қараб полосадаги частоталар спектри интенсивлиги (жадаллиги) ўзгаради. ПФ полосалар филтрлари асосан модуляция натижасида ҳосил бўладиган кераксиз ён частоталар таъсирини йўқотиш учун хизмат қилади. Вокодер канали чиқишидаги кучайтиргич (К), қабул қилинган сигнал номинал сатҳда бўлишини таъминлайди.

Полоса вокодерлардан амалда фойдаланишда асосий тон, унли товушлар учун тон-шовқин ёки жарангли ундошлар параметрларини аниқ аниқлаш қийинчилик туғдиради. Бундан ташқари, баъзи товушларни тўла жарангдор ёки тўла (тоза) жарангсиз (шовқин) сканлигини аниқлаш қийин. Шунинг учун полоса вокодерларининг сифат кўрсаткичларини яхшилаш шовқин генераторлари (ШГ) ва уйғотиш генератори – таянч частота импульс генераторлари (ТЧИГ)нинг нисбатан аниқ характеристикаларини олишга боғлиқ. ушбу сигналлар ҳақида аниқ маълумот (ахборот)ларсиз вокодер чиқишидаги нутқ сифати ёмон бўлади ва гапирувчи ва товушларнинг қандай талаффуз этилишига боғлиқ.

Баъзи кўрсаткичлари нисбатан яхшиланган вокодерлар узатиш тезлиги 2400 бит/с бўлганда донатор нутқ яратади, аммо англаб олиш даражаси етарли бўлмайди ва нутқнинг сунъий (синтетик) эканлиги сезилиб туради. Аввал эслатиб ўтганимиздек нутқ сигнали энергетик спектри камдан- кам ҳолларда тонал частота канали полосасини тўлиқ эгаллайди. Нутқ энергияси ўз частоталар диапазонида 3 ёки 4 қисмида – формантларда нисбатан катта қийматга эга бўлади.

## 2. Формант вокодери

Формант вокодери (ФВК) нутқ сигнали спеткрида унинг энергияси жамланган қисмлари ва уларнинг амплитудаларини аниқлайди ва бу ахборотни жами спектр ўровчиси билан бирга узатади. Натижада ФВК нутқ сигналлари спеткри ташкил этувчилари оний қийматининг нисбатан ката қийматларини кодлаш ҳисобига нисбатан кичик узатиш тезлигига эга бўлган

рақамли сигнални шакллантиради. ФВК полоса вокодери (ПВК)дан анализатор (тахлиллагич) ва синтезатор (сунъий қайта тикловчи)ларнинг тузилиши билан фарқ қилади, бунда АТ командаларини ажратиш ва ТШ қурилмалари амалий жиҳатдан бир ҳил бўлади, аммо амалда яратиш учун кам сонли полосалар фильтри талаб этилади (одатда 3 тадан ортиқ эмас).

ФВК усулида қониқарли сифатдаги синтезланган нутқни олиш учун формантлар ўзгариши жараёнини аниқ кузатиш керак бўлади. Агар ушбу талаб бажарилса ФВК усулида 1000 бит/с билан сигнал узатиб етарли даражада донадор нутқни олиш мумкин.

## 1. Гармоник вокодер

Гармоник вокодер (ГВК) лаш фикри нутқ сигналини гармоник усулда кодлашга асосланган бўлиб, проф. А.А. Пирогов томонидан тавсия этилган. Бу усул нутқ энергетик спектри овчисининг маълум бир қисқа вақт оралиғидаги ўртача қийматини Фурье қаторига ёйиш ва унинг коэффицентларини узатишга асосланган. Нутқни қайта тиклашда талаб этиладиган аниқликка қараб Фурье қатори ташкил этувчилари турлича бўлади ва шунга мос равишда узатиладиган параметрлар сони ҳам турлича бўлади. Фурье қатори ҳар бир ташкил этувчиси иккита параметр орқали аниқлангани сабабли, уларнинг сони қатор ташкил этувчилари сонидан икки марта кўп бўлиши керак. Маълумки, Фурье қаторига ёйиш коэффицентларини аниқлаш учун нутқ сигнали ўровчиси ординаталарийқийматларига эга бўлиш етарли. Бу ординаталар сони  $2n-1$  га тенг этиб олинади, бунда  $n$  – қатор ташкил этувчилари сони. Демак, гармоник кодлаш учун нутқ сигнали спеткри сатҳини  $(2n-1)$  нуқтада, тегишли полосалар фильтри (ПФ) ажратган частоталарда ўлчаш керак. Ушбу сатҳлар қиймати ўровчи ординаталарига тенг бўлади, нутқ сигнали ўровчисини частоталар натурал масштаб (ўлчам)ида тасаввур этганда ПФ полосаси кенглиги оптимал мутаносиб) қиймати тахминан куйидагига тенг бўлади,

$$\Delta f \leq \frac{\Delta F}{2q},$$

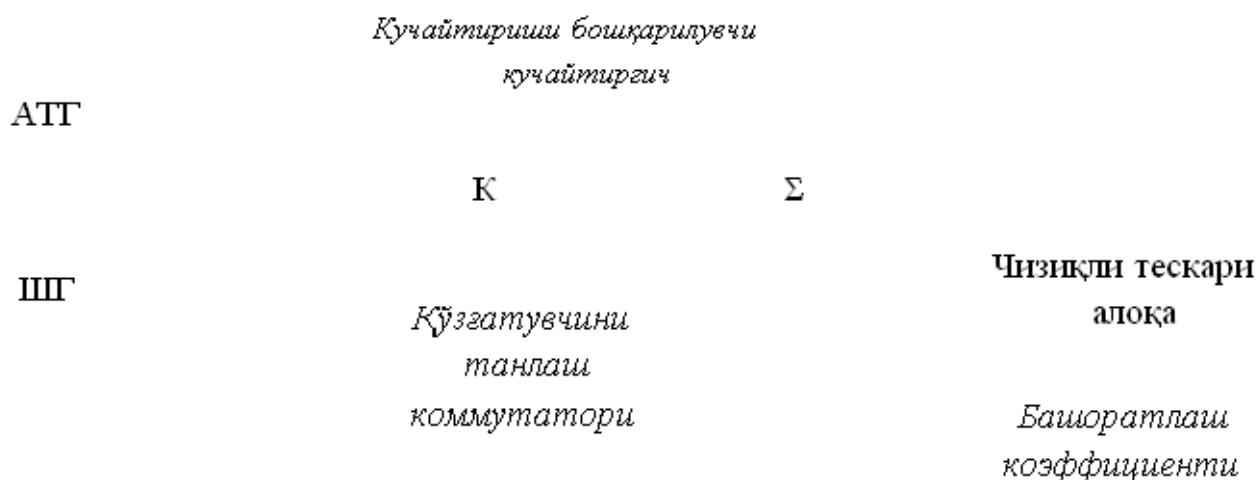
бунда,  $\Delta F$ – нутқ сигнали частоталар полосаси, одатда тонал частоталар канали эффектив полосасига тенг бўлади;  $q$  – формантлар сони. Кечиктириш линиялари (КЛ)дан фойдаланиб фильтрсиз спектрал анализни амалга ошириш мумкин, бунда фильтрлаш усулига хос камчиликлар йўқолади, аммо паст частоталарда кечиктириш линияларини амалга ошириш каби қийинчиликлар пайдо бўлади. Ординаталари орқали аниқланган ўровчини ташкил этувчиларга ёйиш коэффицентлари полоса вокодериде спектр сатҳи ўзгаришига тахминан тенг бўлган тезликда вақт бўйича ўзгаради, унинг ўзгариш частотаси 25...50 Гц га тенг. Нутқ янграши сифати ва табиийлигини сақлаб қолиш учун 3...4 тадан кам бўлмаган формантларни узатиш керак, бунинг учун нутқ сигнали ўровчиси спектри ординаталари 6...8 тадан кам бўлмаслиги керак, яъни Фурье қаторига ёйишда 3...5 ташкил этувчилар бўлиши етарли бўлади ва гармоник вокодер

75...250 Гц частоталар полосасини талаб этади. Рақамли гармоник вокодер структуравий схемаси полосали вокодер структуравий схемасига ўхшаш бўлиб, шу билан бирга ҳар бир ПФ чиқишида Фурье қаторига ёйиш коэффициентлари пайдо бўлади. Ушбу филтрлар чиқишидаги сигналлар гармоник функция кўринишида тавсия этилади, сўнгра бу сигналлар ИКМ, АДИКМ ва бошқа усуллардан бири алгоритми ёрдамида ўзгартирилади.

## 2. Чизиқли башоратловчи вокодерлар

Чизиқли башоратли вокодерлар (ЧБВК) анализчиси (тахлилчиси) керакли кўрсаткичларни вақт функцияси  $(t \in C)$  дан тўғридан-тўғри шакллантирилади. ЧБВКда нутқ сигнали ундан қабуллаш томонида АТГ ва ШГни уйғотиш учун керакли вақт моделини олиш ва тракт узатиш

функциясини ўзгартириш учун анализ (тахлил) қилади. АТГ ва ШГ сигналларни нутқ ҳосил қилувчи тракт моделига мос қурилма орқали қабул қилиш трактида нутқ сигнали синтезатори томонидан шакллантирилади. Синтезатор ўзининг параметрларини даврий равишда сигнал моделининг ва уйғотиш элементи параметрлари билан таққослаб, уларни бир-бирига мослаштириб боради. Бунда, ҳар қандай таққослаш вақти оралиғида нутқ ҳосил қилувчи тракт вақт бўйича ўзгармас параметрли чизиқли қурилма деб қаралади. Нутқни генерациялаш умумлашган моделининг структуравий схемаси 4-расмда келтирилган.



4-расм. Нутқни генерациялаш умумлашган моделининг структуравий схемаси.

Нутқ ҳосил қилувчи трактни ифодаловчи формула қуйидаги кўринишга эга

$$y(n) = \sum_{k=1}^p A_k y(n-k) + Kx(n)$$

бунда,  $y(n)$  – чиқишдаги сигнал  $n$ -нчи оний қиймати;  $k$   $A$  – башоратлаш  $k$ -нчи коэффиценти;  $K$  – бошқарилувчи кучайтиргич (БК) кучайтириш коэффиценти;  $x(n)$  –  $n$ -нчи дискретлаш вақтида кириш сигнали оний қиймати;  $p$  – модель таркиби, бунда чизиқли башоратлаш алгоритмини аниқлашдаги охирги оний қийматлар сони тушунилади.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки,  $y(n)$  формуласида чиқиш нутқ сигнали ушбу ондаги кириш сигнали қиймати ва нутқ ҳосил қилувчи трактнинг  $p$  та аввалги чиқиш сигналлари чизиқли комбинацияларининг йиғиндиси кўринишида ифодаланган. Бу модел адаптив (мослашувчи) модел ҳисобланади, чунки кодерда даврий равишда башоратлаш коэффицентларининг янги туркуми нутқ фрагментларига кетма-кетлигига мослаштириб аниқлаб, ўзгартирилиб боради. Шу нутқни назардан ЧБВК адаптив ДИКМ ёки адаптив башоратли кодлаш (АБК)га ўхшаш. Фарқ шундаки ЧБВКда башоратлаш коэффицентлари аниқланади, фарқланиш ёки хатолик сигнали аниқланмайди (ўлчанмайди) ва кодланмайди. Унинг ўрнига башоратлаш коэффицентларини аниқлашда уларнинг ўртача квадратик хатоликлари минимумлаштирилади (кичиклаштирилади, камайтирилади). Башоратлашдаги хатоликларни кодлашга йўл қўймаслик учун ЧБВКда реал (мавжуд) нутқ сигнали бўлақларидан олинган башоратлаш параметрларидан фойдаланилади, бу параметрлар тўғридан-тўғри баҳолайди.

Чизиқли башоратловчи ВК кодерда (анализ, таҳлил қилувчи)қуйидаги ахборотлар аниқланади ва декодер (синтезатор, қатъ тикловчи)лаш томонига юборилади:

- 1) уйғотиш ҳақида (унли ёки жарангли ундош товушлар, жарангсиз товушларга таққосланган ҳолда);
- 2) асосий тон даврийлиги (унли ва жарангдор ундошлар) ҳақида;
- 3) кучайтириш коэффиценти  $K$  ҳақида;

4) башоратлаш коэффициентлари (нутқ ҳосил қилиш тракти модели параметрлари) ҳақида.

Асосий тон частотаси нутқ сигнали даврийлигини ўлчаш натижасида (агар у даврий бўлса) аниқланади. Чизиқли башоратловчини вокодер кодери (анализатори, таҳлил этувчиси) асосий тонни бошқа тур вокодерларда фойдаланиладиган усуллар билан ўлчайди, бундан ташқари яна ўзига хос хусусиятларга эга бўлиб, улар асосий тон параметрларини аниқлашга кўмаклашади.

Башоратлаш коэффициентларини аниқлаш қуйидагича амалга оширилади: хошиш қилинадиган чиқиш сигналлари синтезаторида реал (мавжуд) сигналлар оний қийматлардан фойдаланилади, сўнгра  $p$  та номаълум коэффициентли  $p$  та чизиқли тенгламалардан фойдаланилади.

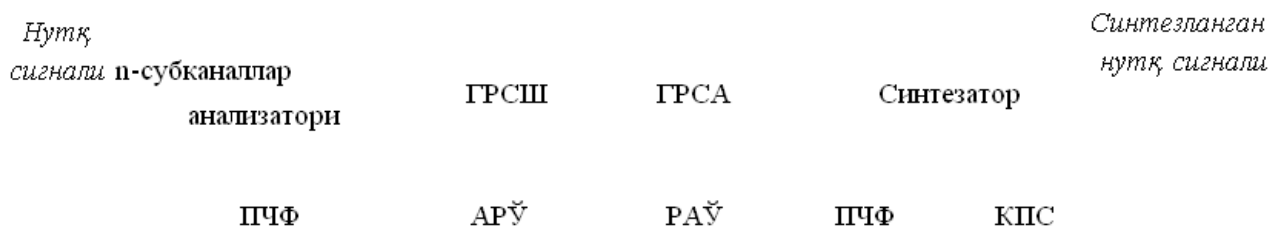
Натижада бу коэффициентлари  $p \times p$  ўлчамли матрицани ечиш орқали ушбу коэффициентлар аниқланади.  $p$  тартиби нутқ сигналинини синтезлаш сифатига бўлган талабга боғлиқ бўлганлиги учун, матрицани ечиш катта ҳажмдаги ҳисоблашларни талаб қилади. Аммо нутқ сигналинини синтезлаш учун баъзи чекланишларни тадбиқ этсак, матрицалар алоҳида ҳоссаларни олади ва уни ечишни сезиларли даражада соддалаштиради. Микропроцессорлардан фойдаланиш асосида мураккаб матрицаларни ечиш нисбатан осон.

ЧБВКда нутқ сигнаliga вақт бўйича ишлов беришлигига қарамадан, улар нутқ сигнали спектри чўққиларини яхши баҳолайди. Бундан ташқари ЧБВК нутқ сигнали спектри ўровчисининг аста-секин ўзгаришини самарали кузатиб боради. Хулоса қилиб шуни айтиш мумкин, ЧБВК 1,2...2,4 кбит/с тезликда полосали вокодерлар (ПВК) ва уларнинг модификацияларига қараганда анча табиий жарангловчи товушни беради.

## 1. Ярим вокодерлар

Кўриб чиқилган вокодерлар нутқни юқори даражада донадорлигини, нутқ сигнали спектрини ўн мартага сиққанда ҳам таъминлайди, аммо эшитишда табиийликни ва овоз кимга тегишли эканлигини аниқлаб олиш талабларини қаноатлантирмайди. Синтезлаш натижасида олинган нутқ машинаникилигини билдирувчи акцент (оҳанг)га эга. Бу асосий тони ўлчашда қўйилган хатоликлар, унли ва жарангли ундошларни ажрата билишдаги хатоликларга боғлиқ. Бу камчиликлар инсон қулоғи, овоз эшитиш аппаратининг тикланган нутқдаги жуда кичик ноаниқликларни ҳам аниқлаш хусусиятидан келиб чиқади.

Нутқ сигналларини анализ қилишдаги қийинчиликлар ва ноаниқликлар ва уни ўзгартиришлар параметрлари ёрдамида тиклашдаги – синтез қилишдаги камчиликларни ярим вокодерни қўллаш орқали камайтириш мумкин. Ярим вокодер (ЯВК) структуравий схемаси 5-рамда келтирилган.



5-расм. Ярим вокодер структуравий схемаси.

Бу қурилмада асосий тон ҳақидаги ахборот нутқ сигнали спектри паст частоталар полосасини ўзгартирмасдан узатилади, бу нолинчи субканални ташкил этади (ПЧФ), бу сигнал сўнгра аналог-рақам ўзгартиргич (АРЎ) блокида тегишли рақамли сигнал шаклига келтирилади.

Субканал ва нолинчи субканал анализаторлари сигналлари ярим вокодернинг гуруҳ рақамли сигналини шакллантирувчи (ГРСШ) қурилмада бирлаштирилади. Қабуллаш трактида гуруҳ рақамли сигналини ажратувчи (ГРСА) ёрдамида нолинчи субканал сигнали рақам-аналог ўзгартиргич (РАЎ)да тескари ўзгартиришдан сўнг, кенг полосали бир текис спектрли сигнал (КПС)ни шакллантирувчи нозикли қурилмага берилади. Бу текисланган (кўпайтирилган) спектрли сигнал полоса вокодери (ёки бошқача вокодер) синтезатори уйғотиш учун манба сифатида фойдаланилади. Бу синтезатор нольдан юқори субканаллар нутқ сигнали спектрини шакллантиради. Текисланган спектрли сигнал квазидаврий унли ва жарангли ундош товушлар ҳамда жарангсиз ва шипиллайдиган (шипящих) товушлар дискрет спектрини акс эттиради. У ўз вақтида бирламчи нутқ спектрдан олинганлиги учун у тон-шовқин ва асосий тон ҳақидаги

ахборотни ўзида сақлайди. Овоз уйғотишнинг вақт бўйича нозик структураси (таркиби) сигнал спектри текисланганда йўқолмайди (бу кўрсаткич нутқ табиийлигини таъминлаш учун зарур ҳисобланади). Баъзи йўқотишлар ҳисобига синтезланган нутқ сифати эффектив узатиладиган частоталар полосаси 0,3...3,4 кГц бўлган телефон канали орқали узатилган нутқ сифатига яқинлашади. Шундай қилиб, нисбатан юқори сифатли синтезланган нутқни узатиш ва тонал частота ва асосий рақамли канал ахборот ўтказиш имкониятини маълум даражада иқтисод қилишга (тежашга) эришилди. Ярим вокодернинг дастлабки

вариантларидан бирида ўзгартирилмаган частоталар полосаси (нолинчи субканал полосаси) 250...940 Гц қилиб олинган. 940 Гц дан 3650 Гц гача бўлган полоса 17 та субканалларга бўлинган. Улардан биринчи 14 таси частоталар полосаси 150 Гц дан, энг юқори полосалар бироз кенгроқ этиб белгиланган. Ярим вокодер частоталар полосаси умуман 1000...1200 Гц га тенг бўлиб, бу частота бўйича компрессия (сиқиш) уч мартани ташкил этади.

Тажрибавий тадқиқотлар шуни кўрсатадики, нолинчи субканал полосасини 800...1000 Гц ва 1000...3400 Гц частоталар полосасида 8...10 та полоса вокодерини қўллаш мумкинки, 82,0% эшитувчилар уни бирламчи тонал частота орқали узатилгандан фарқини билаолмайдилар.

Самарали кодеклардан фойдаланиш натижасида рақамли ярим вокодер сигналини 9,5 кбит/с тезлик билан узатиш мумкин. Микросхемотехника ва сигналларга рақамли ишлов беришдаги ҳозирда эришилган ютуқлар 16; 9,6; 8 ва 4,8 кбит/с тезликда ишловчи рақамли вокодерлар кодекларини яратиш имкониятини беради, бу асосий рақамли канал ахборот ўтказиш имкониятидан юқори самарадорлик билан фойдаланиш имкониятини беради. Рақамли узатиш тизимларининг саарадорлигини сезиларли даражада ошириш учун вокодерли рақамли каналларни рақамли тизим канал ва трактига киритиш мутаносиб усуллари яратиш керак. Бу муаммо рақамли узатиш тизимлари асосий типовой (бир типдаги) канали ва трактлари орқали турли маълумотлар узатиш каналларини ташкил этиш имкониятини беради.

## 2. ДИФФЕРЕНЦИАЛ ИМПУЛЬС-КОД МОДУЛЯЦИЯ

Рақамли сигнални узатишда классик ИКМдагига нисбатан частоталар полосасини кодлар комбинацияларидаги разрядларни камайтириш исобига эришиш мумкин, аммо бунда квантлаш қадами (одими) катталашади, натижада сигналнинг квантлаш шовқинидан ҳимояланганлиги камаяди. Ушбу камчиликни узлуксиз сигнални дискретлаш натижасида олинган икки қўшни оний қиймат (отсчет)лар орасидаги корреляцион боғлиқликдан фойдаланиш ва оний қийматларнинг абсолют қийматларини квантлаш ва кодлаш ўрнига бирламчи сигналнинг икки қўшни оний қийматлар фарқини квантлаш ва кодлаш керак.

Икки қўшни оний қийматлар фарқини кодлашга асосланган алоқа тизими рақамли фракларни узатиш тизими деб аталади. Икки қўшни оний қийматлар орасидаги фарқ диапозони ҳар бир оний қийматлардан кичик бўлгани учун квантлаш шовқинидан ҳимояланиш даражаси сақланиб қолган ҳолда кодлаш учун кам разрядлар сони керак бўлади, натижада классик ИКМга нисбатан талаб этиладиган частоталар полосаси камаяди. Ушбу принципдан фойдаланиб шакллантирилган рақамли сигнал дифференциал импульс-код модуляция (ДИКМ)ли сигнал ҳисобланади.

ДИКМ асосида рақамли сигнал шакллантирувчи қурилмалар тўплами

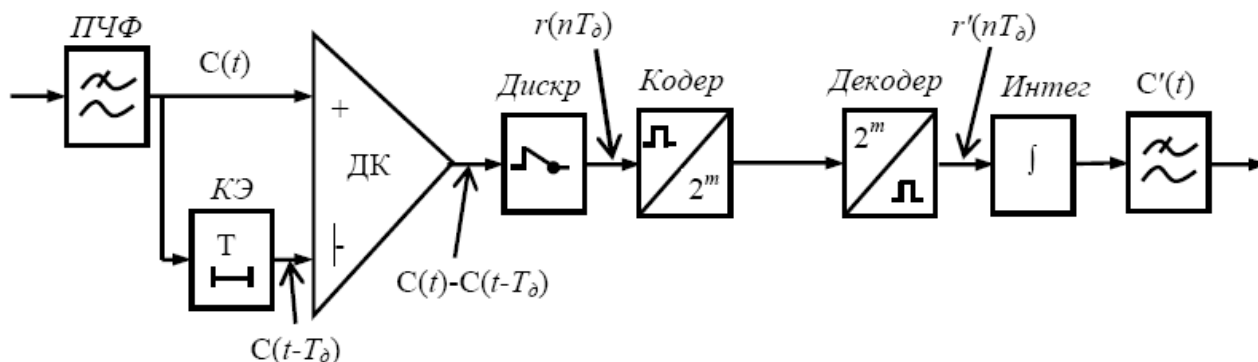
ДИКМ-кодер деб ва аксинча вазифани бажарувчи қурилмалар тўпламини

ДИКМ-декодер деб аталади. ДИКМ-кодер ва ДИКМ-декодерлар биргаликда

ДИКМ-кодек деб аталади.

ДИКМ-кодер учун оний қийматлар фарқини аниқлашнинг оддий усули бу – кириш сигнали аввалги оний қийматини аналог хотирада сақлаш ва аналог айирувчи қурилма ёрдамида уларнинг фарқини олиш, уни квантлаш ва кодлаш ҳисобланади. Қабуллаш томонида қабул қилинган рақамлар кетма-кетлиги дастлаб декодланади, натижада отсчет олиш вақтидаги сигналлар қиймати фарқланиш кетма-кетликлари тикланади, сўнгра интеграл ёрдамида квантланган оний қийматлар кетма-кетлиги шаклига келтирилади ва ниҳоят дастлабки бирламчи сигнал тикланади. ДИКМ-кодекни ушбу усулда амалга ошириш структуравий схемаси 1.1-расмда келтирилган бўлиб, бунда қуйидаги белгиланишлардан фойдаланилади:  $KЭ$  – сигнал  $(t c)$  ни дискретлаш даври  $\delta T$  га тенг бўлган  $T$  вақтга кечиктириш;  $KЭ$  чиқишида  $(\delta T t c \square)$  сигнал шаклланади;  $ДК$  – дифференциал кучайтиргич бўлиб,  $y(t c)$  сигналдан  $(\delta T t c \square)$  ни айириш амалини бажаради ва унинг чиқишида  $(\delta T t c t c \square \square)$  фарқланиш сигнали ҳосил бўлади;  $Дискр$  – дискретлаш қурилмаси бўлиб,  $ДК$  чиқишида  $\delta f$  частота

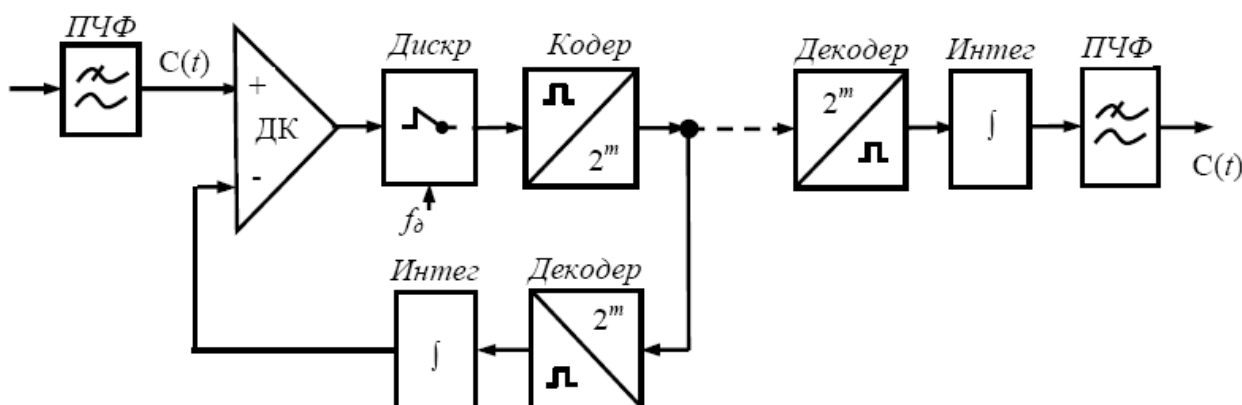
билан фаркланиш сигналини дискретлайди, унинг чиқишида  $\square \square \partial nT r$  сигнал ҳосил бўлади; Кодер – кодловчи қурилма бўлиб, қабул қилинган рақамли ДИКМ сигналини фаркланиш сигнали оний қийматларига ўзгартиради; Интег – интеграллаш қурилмаси, декодер чиқишидаги  $\square \square \partial nT r \square$  сигнални зинасимон сигналга ўзгартиради, сўнгра бу сигнал қабуллаш ПЧФ ёрдамида  $(t c$  сигналдан ДИКМга хос бўлган квантлаш шовқини ва бузилишлар таъсирида фарк қиладиган  $) (t c \square$  сигнали шаклида бўлади.



ДИКМ кодек структуравий схемаси.

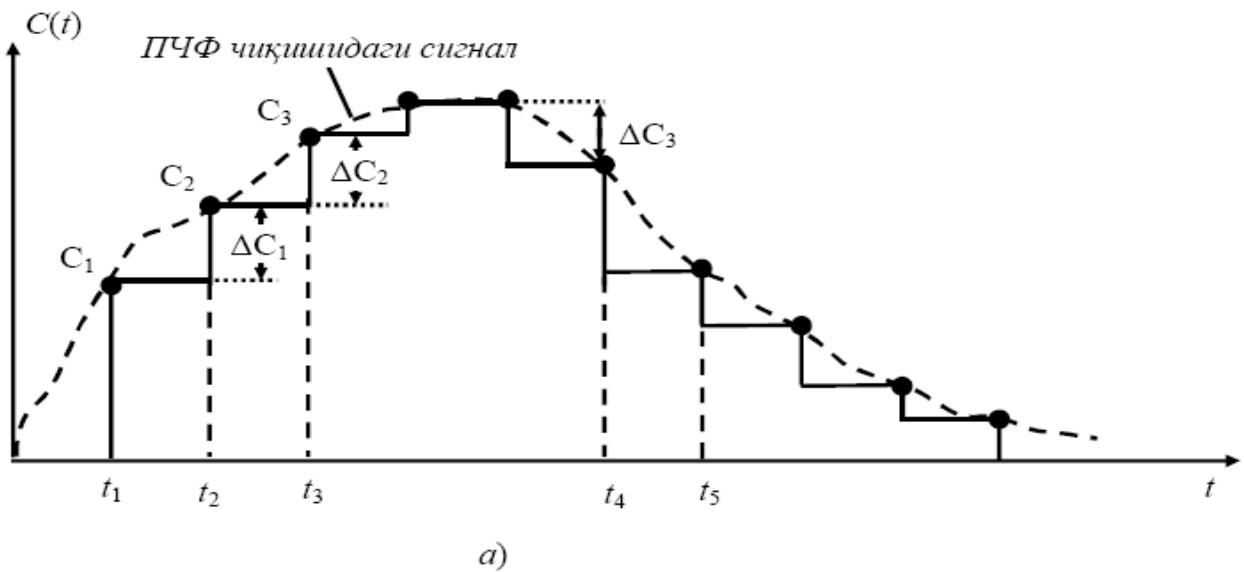
узатиш қисмида декодер ва интегратордан ташкил топган тескари боғлиниш занжири бўлган ДИКМ кодеки структуравий схемаси келтирилган.

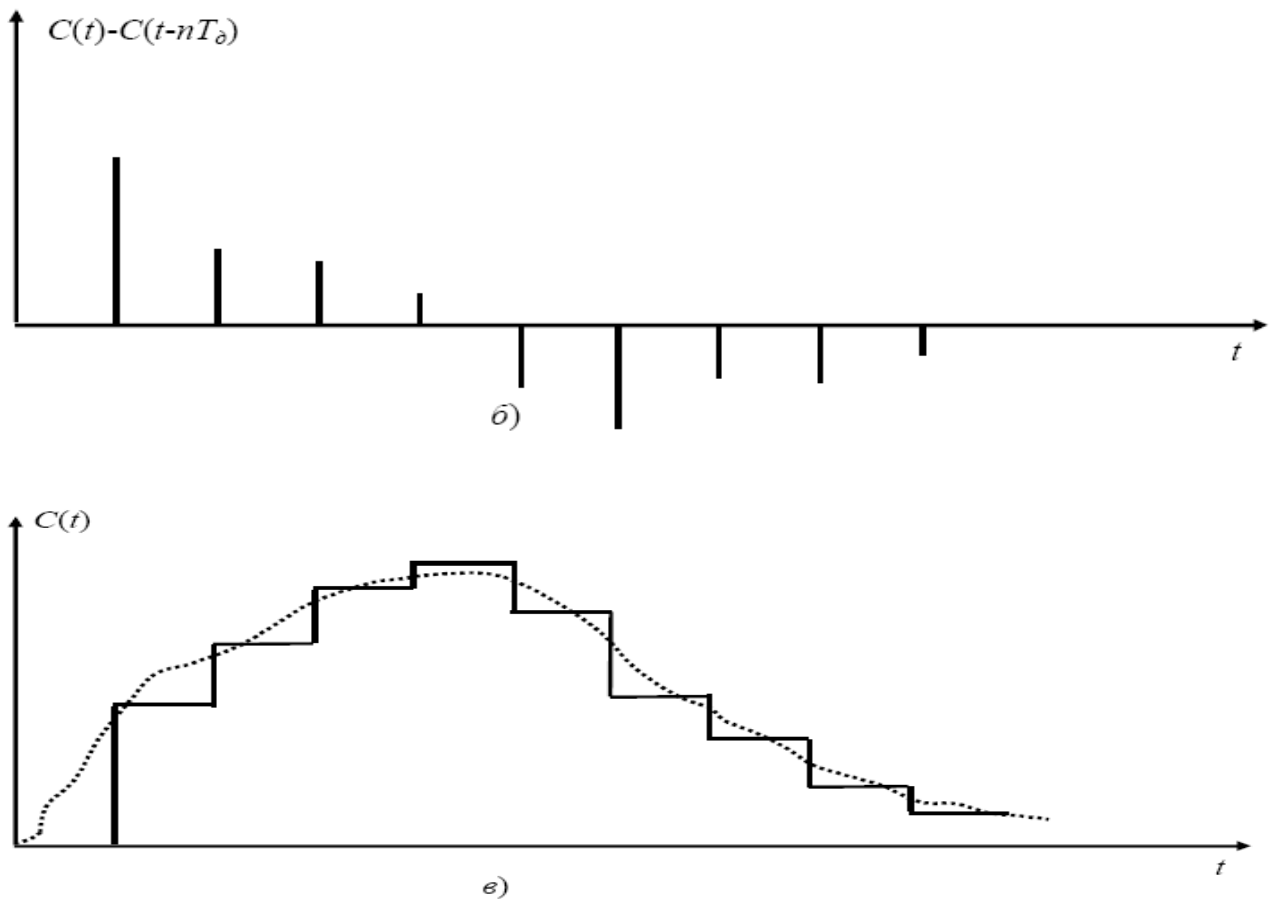
Тескари боғлинишли ДИКМ кодекнинг афзаллиги, унда квантлаш шовқинининг тўпланмаслигидадир. Агар квантлаш шовқини тўпланиши натижасида тескари боғлиниш занжирида кириш сигналига қараганда ўзгарса, у ҳолда фаркланиш сигналини навбатдаги кодлаш жараёни, бу фаркланиш автоматик равишда қопланади (йўқ бўлади). Агар тескари боғлиниш занжири бўлмаса алоқа линиясининг қарама-қарши охирида декодер шакллантирган чиқиш сигнали чекланмаган миқдорда квантлаш шовқинини тўплаши мумкин. 1-расмда ДИКМ кодек ишлаш жараёнини тушунтирувчи вақт диаграммалари келтирилган.



Тескари боғланишли ДИКМ кодек структуравий схемаси.

Бошланғич  $1 t$  вақтда интегратор чиқишида сигнал бўлмайди, дифференциал кучайтиргич (ДК) чиқишидаги сигнал узлуксиз сигналга мос бўлади.  $1 C$  амплитудали дискрет оний қиймат квантланади, кодерда кодланади, сўнгра декодер орқали интеграторга таъсир этади, интегратор бу қийматни дискретлаш даври  $\delta T$  га тенг бўлган  $2 t$  вақтгача хотирасида сақлайди. Вақт оний қиймати  $2 t$  да ДК(+) инвертламайдиган чиқишида  $2 C$  аналог сигналга тенг ва инвертловчи (-) чиқишида  $1 C$  га тенг бўлади. ДК чиқишида  $1 2 1 C C C \square \square \square$  фарқланиш сигналини оламир. Квантлаш ва кодлаш натижасида линияга икки оний қийматлар фарқланишига мос келадиган кодлар комбинацияси таъсир этади. Тескари боғланиш занжиридаги декодер орқали оний қиймат (отсчет)  $2 C$  интегратор киришига берилади ва унинг хотирасида  $3 t$  вақтгача сақланади. Шу онда фарқланиш  $2 C$  қиймати аниқланади, квантланади ва кодланади ва ҳ.к.. Интегратор чиқишида ( $4 t$  онда) сигнал киришидаги аналог сигнал қийматидан катта бўлса, ДК чиқишидаги фарқланиш сигнали манфий бўлади. квантлаш, кодлаш ва декодлаш натижасида интегратор чиқишида ушбу фарқланишга мос бўлган  $3 C \square$  га тенг сигнал сакраши юзага келади.





ДИКМ сигнални шакллантириш вақт диаграммалари.

*a* – фарқланиш сигналини аниқлаш; *б* – ДК чиқишидаги фарқланиш сигнали; *в* – декодер чиқишидаги сигналнинг шаклланиши.

кўринадикки икки қўшни оний қийматлар (отсчет) фарқи оний қийматлардан кичик, шунинг учун бир хил квантлаш одими ДИКМда кодлаш разрядлари сони, оддий ИКМга қараганда кам бўлади, кодлашдаги разрядлар сони бир хил бўлган тақдирда квантлаш шовқини камаяди. ДИКМ самарадорлигини қуйидаги мисол орали кўрсатиш мумкин. мисол тариқасида частотаси 800 Гц ва амплитудаси  $c U$  бўлган синусоидал сигнал  $t U t c c 800 2 \sin )$  (  $\square \square \square \square$  ни ДИКМ асосида ўзгартирилишини кўриб чиқамиз. Фарқланиш сигнали амплитудасини )  $(t c$  сигнални дифференциаллаш ва уни оний қийматлар оралиғи  $8000 / 1 / 1 \square \square \partial \partial f$   $T$  (бунда  $8000 \square \partial f$  Гц – дискретлаш частотаси)га кўпайтириш йўли билан оламиз, яъни

$$dc(t) / dt = U_c \cdot 2\pi \cdot 800 \cdot \cos 2\pi \cdot 800t;$$

$$|\Delta c(t)|_{\max} = U_c \cdot 2\pi \cdot 800 / 8000 = 0,628U_c.$$

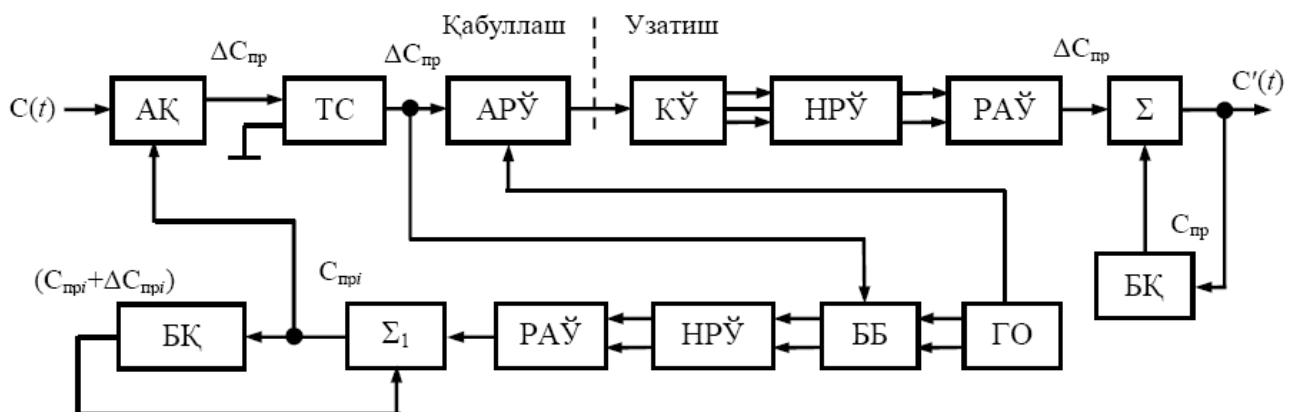
Иқтисод қилиб (тежаб) қолинган разрядлар сонини қуйидаги формула орқали аниқлаш мумкин

$$\log_2(1/0,628) = 0,67 \text{ разряд.}$$

Кўриб чиқилган мисолдан кўринадикки бир хил сифат кўрсаткичи сақланган ҳолда ДИКМ асосидаги узатиш тизими орқали оддий ИКМга қараганда 2/3 га кам разряддан фойдаланиш мумкин. Сигналларга аналог ва рақамли электр занжирларида ишлов беришнинг ўзаро тақсимланишига қараб ДИКМ кодерлар ва декодерлар турли усулларда бажарилган бўлиши мумкин. Биринчи ҳолатда сигнални дифференциаллаш (фарқланиш сигналини шакллантириш) ва интеграллаш амаллари аналог занжирлар ёрдамида амалга оширилиши мумкин, иккинчи ҳолатда сигналларга ишлов бериш тўлиқ рақамли усулда бажарилиши мумкин. Аналог дифференциаллаш ва интеграллашдан фойдаланишга асосланган ДИКМ тизимида фарқланиш сигнали устида аналог-рақамли ўзгартириш амалга оширилади, тескари алоқа занжирида фарқланиш сигналларига мос код комбинациялари рақам-аналог ўзгартириш амали бажарилади. Интеграллаш учун аналог йиғувчи (тўпловчи) ва хотирада сақловчи қурилмалардан фойдаланилади. Юқори интеграциялашган катта интеграл схема (КИС)ларнинг кенг қўлланилиши натижасида ДИКМ тизимларида сигналга ишлов бериш тўлиқ мантикий схемалар ёрдамида амалга оширилмоқда. Узлуксиз сигнал оний қийматларининг ўзгариш диапазонида тўлиқ мос келувчи (худди оддий ИКМдек) аналог-рақам ўзгартирувчи кодлар комбинациясини шакллантиради, сўнгра бу кодлар комбинацияси аввалги оний қийматга мос келувчи кодлар комбинацияси билан таққосланади, натижада рақамли фарқланиш сигнали ҳосил бўлади. Ҳамма кўриб чиқилган ҳолатларда декодлаш кодерлар тескари алоқа занжиридагидек амалга оширилади, чунки тескари алоқа занжирида кириш (бир дискретлаш оралиғидаги вақтга тенг кичиклаштирилган) сигналнинг аппроксимацияси шакллантирилади. Агар ДИКМ сигнали узатиш

тизимдаги хатоликларга йўл қўйилмаган бўлса, у ҳолда декодер чиқишидаги (филтрлашдан аввал) тескари алоқа занжиридагига мос бўлади. Секин ўзгарувчи сигналлар учун ДИКМ тизими оддий ИКМга нисбатан катта афзалликларга эга бўлмайди. Дискретизациялаш частотаси  $8 \square \partial f$  кГц бўлган телефон сигнали учун сигнал-шовқин ютуғи 2,5 мартани ёки 4 дБ га яқин бўлади, бу 0,67 разряд иқтисод этилганига мос келади. Телефон сигналларини узатишда бу ютуқ аппаратуранини мураккаблаштиришларни оқламайди. Радиоэшиттириш сигналларини узатишда дискретизациялаш частотаси  $32 \square \partial f$

кГц га тенг қилиб олинади. Ҳисобаш натижалари шуни кўрсатадики, бу сигнал учун фарқланиш усулини қўллаш 15 дБ дан катта бўлган ютуқни таъминлайди, натижада кодлар комбинациясидаги кодлаш разрядларини 2...3 га камайтириш мумкин бўлади. Видеосигналларни ушбу усулда узатиш уларнинг энергияси асосан нисбатан паст частоталар диапазонида тўпланганлиги учун янада кўпроқ ютуққа эришишни таъминлайди. Видеотасвирларни кўришдаги баъзи хусусиятларни эътиборга олганда телевизион сигналларни ДИКМ усулида узатиш унда фойдаланиладиган код комбинациялари разрядини етти-тўққизтадан тўрт-бештагача камайтириш имкониятини беради. ДИКМда энг катта квантлаш натижасида ҳосил бўладиган бузилишлар фарқланиш сигналининг кичик сатҳига тўғри келади. Бузилишларни камайтириш учун одимлаш оралиғи бир хил бўлмаган квантлашни қўллаш мумкин, бунда фарқланиш сигнали қиймати катталашига мос равишда квантлаш одими ҳам катталашиб боради. Бундай фарқланишларни кодлаш усули адаптив дифференциал импульс-код модуляцияси (АДИКМ) деб аталади, чунки бунда квантлаш одими катталиги кодланадиган фарқланиш сигнаliga мослашиб (адаптив) ўзгариб боради.



АДИКМ кодек функционал схемаси.

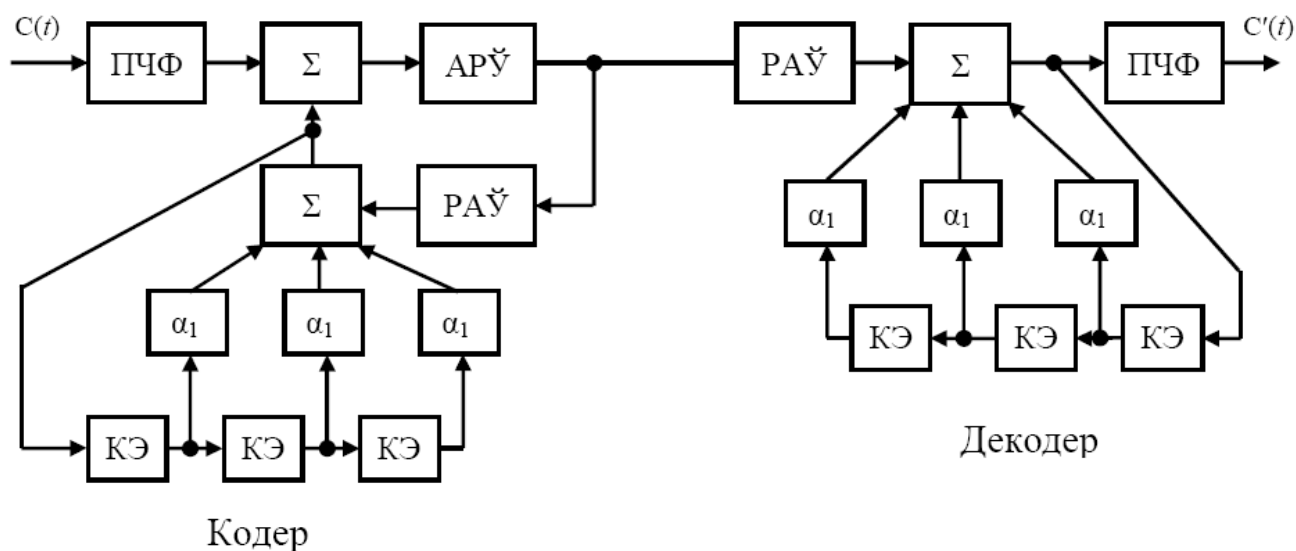
Айирувчи қурилма (АК) чиқишида кириш сигнали  $C(t)$  ва кодек шакллантирган фарқланиш сигнали йиғиндисининг айирмаси  $C_{пр}$  - фарқланиш сигнали шаклланади. АДИКМ кодеки тескари боғланиш занжири башоратлаш қурилмаси (БҚ) орқали бириктирилган ёпиқ тизимни ташкил қилади. Узатиш томонида сигналнинг башорат қилинган қиймати  $C_{пр}$  йиғувчи қурилма – сумматор ( $\Sigma$ ) кириш сигналининг аввалги оний қийматларидан шакллантирилади. Сумматор  $\Sigma$  иккинчи киришига таққослаш схемаси (ТС) шакллантирган  $C_{пр}$  сигнали, бошқариш блоки (ББ) чиқиш сигналлари таъсирида экспандерлаш коэффиценти ўзгарувчи нозизиқли рақамли ўзгартиргич (НРЎ) да шакллантирилган ва РАЎдан ўтган сигнал берилади. Натижада кириш сигнали

қиялигига мос равишда квантлаш одими ўзгаради ва адаптация жараёни юз беради. Сумматор чиқишида квантлаш хатолигига катталиги ва белгиси (плюс ёки минус)га мос бўлган  $n \cdot C$  шакллантирилади, натижада  $0$  ( $\square \square \square n \cdot i$   $C \ C \ C \square$  шарти бажарилиши таъминланади. Сигналларни таққослаш схемаси (ТС)да амалга оширилади, ТСнинг иккинчи кириши потенциали нольга тенг қилиб олинади. Кодни шакллантириш қурилмаси – АРЎ фарқланиш сигнали  $n \cdot i$   $C \square$  га мос код комбинациясини шакллантиради. Сигнални қабуллаш томонида

ўзгартиришлар узатиш томонидагига тескари кетма-кетликда амалга оширилади, фақат қабуллаш томонида кодни ўзгартиргич (КЎ) параллел коддаги  $n \cdot i$   $C \square$  га мос келувчи рақамли комбинацияни шакллантиради. Умуман, ДИКМни ўзига хос чизиқли башоратли кодлаш ва башоратлаш хатолигини узатишга асосланган тизим деб қараш мумкин.

ДИКМ тизими тескари боғланиш занжири чиқишидаги сигнал, сигнал келгуси оний қийматини башоратлашнинг биринчи тартиблиси деб ва оний қийматлар орасидаги фарқ башоратлаш хатолиги деб ҳисобланади. ДИКМни аалга ошириш нуқтаи назаридан унинг имкониятини янада кенгайтириб, унинг башоратлаш занжирига биттадан кўп башоратни киритиш мумкин (аввалги бир неча оний қийматларни киритиш мумкин). Аввалги бир неча оний қийматларни эътиборга олиш натижасида келиб чиқадиган ортиқчалик, таққослаш ва йиғилиши асосида кейинги оний хатоликни баҳолаш хатолигини камайтириш мумкин. башоратлаш хатолиги диапазонининг камайиши разрядлари сони кам коддан фойдаланиш имкониятини беради. Башоратлаш коэффиценти ўзгармас бўлган тизимда фақат учта оний қийматлардан фойдаланиш ютуғи катта қисмини таъминлайди. Охирги уч оний қийматлардан фойдаланишга асосланган чизиқли башоратловчи кодер (ЧБК)нинг энг кўп тарқалган тури 1.5-расмда келтирилган (бунда,  $\square$  - улуш коэффиценти). Охирги уч оний қийматлардан фойдаланишга асосланган ДИКМ тизими. Оддий ИКМ тизими сифат кўрсаткичи сақланган ҳолда ДИКМ ва

АДИКМ биринчи тартибли башоратлашдан фойдаланиш фойдаланиладиган кодлаш комбинацияси разрядини камайтириш имкониятини беради. Учинчи тартибли башоратли ДИКМда кодлаш разрядининг 1,5...2 разрядга камайиш имконини беради. Шундай қилиб, башоратли ДИКМ узатиш тезлиги 48 кбит/с бўлганда оддий ИКМ сифатини таъминлаши мумкин. Кўриб чиқилган ДИКМ турлари рақамли сигналларни узатиш тезлигини сезиларли камайтириши мумкин, аммо бу усулдан кам фойдаланилади, чунки дельта модуляция нисбатан осон амалга оширилади ва ДИКМ сигнал узатиш тизими сифатини таъминлайди.



Охирги уч оний қийматлардан фойдаланишга асосланган

ДИКМ тизими.

Оддий ИКМ тизими сифат кўрсаткичи сақланган ҳолда ДИКМ ва АДИКМ биринчи тартибли башоратлашдан фойдаланиш фойдаланиладиган кодлаш комбинацияси разрядини камайтириш имкониятини беради. Учинчи тартибли башоратли ДИКМда кодлаш разрядининг 1,5...2 разрядга камайиш имконини беради. Шундай қилиб, башоратли ДИКМ узатиш тезлиги 48 кбит/с бўлганда оддий ИКМ сифатини таъминлаши мумкин. Кўриб чиқилган ДИКМ турлари рақамли сигналларни узатиш тезлигини сезиларли камайтириши мумкин, аммо бу усулдан кам фойдаланилади, чунки дельта модуляция нисбатан осон амалга оширилади ва ДИКМ сигнал узатиш тизими сифатини таъминлайди.

## Xulosa

Рақамли узатиш тизимлари самарадорлигини полосали кодлашни қўллаш асосида ошириш мумкин.

Ҳар бир СК(Суб каналлар)да сигнал кодлангандан сўнг, ҳамма рақамли оқимлар умумий канал орқали узатиш учун канал рақамли сигнаolini шакллантирувчи қурилма.

Ҳар бир СКда алоҳида-алоҳида кодлаш қуйидаги афзалликларга эга.

1. Алоҳида адаптивлашдан фойдаланиб ҳар бир СКда унинг киришидаги сигнал энергиясига мос равишда квантлаш одимини танлаш мумкин. Нисбатан катта сатҳли сигналлар учун СКда квантлаш одимини катта қилиб амалга ошириш мумкин.

2. Ҳар бир суб полосалардаги сигналларнинг хабарни эшитиш сифатига таъсир даражасига қараб ҳар бир СКда сигнал узатиш тезлиги оптималлаштирилиши (мутаносиблаштирилиши) мумкин.

Субполосаларни кодлаш усули частоталар полосаси 7 кГц гача бўлган нутқ сигналларини асосий рақамли канал (АРК) тезлигида амалга оширилади. Бунда нутқ сигнали частоталари полосаси икки полосага бўлинади, яъни икки субканал ҳосил қилинади. Биринчи субканал полосаси 0,1...4,0 кГц бўлиб, узатиш тезлиги 48 кбит/с бўлган АДИКМ ёрдамида бажарилади, иккинчи СКда эса 4,0...7,0 кГц частоталар полосаси 0...3,0 кГц полосага ўзгартирилади ва узатиш тезлиги 16 кбит/с бўлган АДИКМ усулида узатилади.

Самарали кодеклардан фойдаланиш натижасида рақамли ярим вокодер сигналини 9,5 кбит/с тезлик билан узатиш мумкин. Микросхемотехника ва сигналларга рақамли ишлов беришдаги ҳозирда эришилган ютуқлар 16; 9,6; 8 ва 4,8 кбит/с тезликда ишловчи рақамли вокодерлар кодекларини яратиш имкониятини беради, бу асосий рақамли канал ахборот ўтказиш имкониятидан юқори самарадорлик билан фойдаланиш имкониятини беради.

## Адабиётлар

1. Ўзбекистон республикаси Президенти И.А.Каримовнинг 2011 йилнинг асосий қарорлари ва 2012 йилда Ўзбекистонни ижтимоий-иқтисодий ривожлантиришнинг устувор йўналишларига бағишланган Вазирлар Маҳкамасининг мажлисидаги маърузаси. 2012 йил 19 январь.
2. Величкин А.И. Теория дискретной передачи непрерывных сигналов. – М.: Связь, 1970.
3. Дельта-модуляция. Теория и применения / Венедиктов М.Д., Женецкий Ю.П., Марков В.П. и др. – М.: Связь, 1976.
4. Стил Р. Принципы дельта-модуляции. – М.: Связь, 1979.
5. Хараташвили Н.Г., Мурджикнели Г.Г. Методы линейного предсказания в системах цифрового кодирования ТВ сигнала. – В кн.: Вопросы цифрового кодирования телевизионных сигналов. Труды ГПИ им. В.И. Ленина, 1974.
6. Гуревич В.Э., Лопушнян Ю.Г., Рабинович Г.В. ИКМ в многоканальной телефонной связи. – М.: Связь, 1973.
7. Хараташвили Н.Г. Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция в системах связи. – М.: Радио и связь, 1982.
8. Многоканальные системы передачи: Учебник для вузов / Н.Н. Бабаева, В.Н. Гордиенко, С.А. Курицын и др.; Под ред. Н.Н. Баевой и В.Н. Гордиенко. – М.: Радио и связь, 1997.
9. Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи: учебное пособие для вузов / В.В. Крухмалей, В.Н. Гордиенко, В.И. Иванов и др.; Под ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалева. – М.: Радио и связь, 1996.
10. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н. и др.; Под ред. Иванова В.И. – М.: Радио и связь, 1995.
11. Крук Б.И., Попандопуло В.И., Шувалов В.П. телекоммуникационные системы и сети. Т.1: учебное пособие / изд. 2-е, испр. и доп. – Новосибирск: Сиб. Предприятие “Наука” РАН, 1998.
12. Беллами Дж. Цифровая телефония / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986.

13. Скалин Ю.В., Бернштейн А.Г., Финкевич А.Д. Цифровые системы передачи. – М.: Радио и связь, 1988.
14. Шмытинский В.В., Котов В.К., Здоровцев И.А. Цифровые системы передачи информации на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1995.
15. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия- Телеком, 2005.
16. Синхронизация цифровая иерархия / Пер. с итальянского Ю.К. Строгановой; Под общ. ред. проф. Б.И. Круга. – Новосибирск, СибГАТИ, 1998.
17. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000.
18. Кулева Н.Н., Федорова Е.Л. Телекоммуникационные сети синхронной цифровой иерархии. СПбГУТ, - СПб, 2001.
19. Цифровые и аналоговые системы передачи / В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003.
20. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей / В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов и др.; под ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалева. – М.: Горячая линия-Телком, 2004.
21. Давыдкин Н.Н., Колтунв М.Н., Рыжков А.В. Тактовая сетевая синхронизация под ред. М.Н. Колтунова. – М.: Эко-Трендз, 2004.
22. Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи: Учебное пособие для вузов / под ред. А.Д. Моченова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007.