

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар
кафедрасы

Каримбекова Симбат Урустембекқызы

«Көп арналы жоғары жылдамдықты аналогты-сандық түрлендіруші
құрылғыны әзірлеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5В071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация
мамандығы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. канд.

 Е.Таштай

«14» 05 2019 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы : «Көп арналы жоғары жылдамдықты аналогты-сандық түрлендіруші құрылғыны әзірлеу»

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы

Орындаған:



С.Каримбекова

Пікір беруші

PhD докторы

Энергия үнемдеу және автоматика

каф.ассистент-профессоры

 Н.Әлібек

Ғылыми жетекші

лектор



М.Б.Тирижанова

« 13 » 05 2019 ж.

« 13 » 05 2019 ж.

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ақпараттық және телекоммуникациялық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

5B071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникация

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі,

техн.ғыл.канд.

Е.Таштай

« 08 » « 02 » 2018 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Каримбекова Симбат Уриستمбекқызы

Тақырыбы «Көпарналы жоғары жылдамдықты аналогты-сандық түрлендіруші құрылғыны әзірлеу»

Университет ректорының «16» қазан 2018 ж. № 1162-б бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі “25” сәуір 2019 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) Аналогты-сандық түрлендіруші құрылғысы жайлы мәліметтер 2) Құрылғылар тізімі 3) есептеу тәсілдері

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

А) Аналогты-сандық түрлендіруші құрылғысының түрлері;

Ә) Құрылғысының атқаратын қызметтері, сұлбалары;

Б) Аналогты-сандық түрлендіртің интерфейстері;

В) Көпарналы жоғары жылдамдықты аналогты-сандық түрлендіруші құрылғысының моделін жасау;

Сызбалық материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс)

Сызба материалдары 15 слайдта көрсетілген.

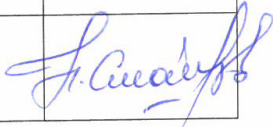
Ұсынылатын негізгі әдебиет 30 атау

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге және кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Негізгі бөлім	20.01.2019 - 01.03.2019	орындалды
Экономикалық бөлім	02.03.2019 - 02.04.2019	орындалды
Еңбек қорғау бөлімі	01.04.2019 – 15.04.2019	орындалды

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа(жобаға) қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер (аты, әкесінің аты, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма Бақылау	PhD докторы, ЭТЖҒТ каф.сениор-лекторы Смайлов Н.К.	14.05.19	

Ғылыми жетекшісі _____ М.Б.Тирижанова
(қолы)

Тапсырманы орындауға алған білім алуш _____ С.У.Каримбекова

Күні _____ “13” 05 _____ 2019 ж

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста көп арналы жоғары жылдамдықты аналогты-сандық түрлендірушінің қазіргі уақыттағы қолданысы, түрлері және әзірлеудің қарапайым түрлері қарастырылды. Бітіру жұмысында заманауи құрылғылар мен программалар жүйесі таңдалды. Дипломдық жұмыста аналогты-сандық түрлендіргіштің моделі жасалып, «Workbench» программасы арқылы электрондық моделіне есептеу жүргізілді. АСТ құрылғысының ең негізгі параметрлерінің қасиеттерін: түрлендіру жылдамдығын, арна санын арттыру, сенімділік көрсеткіштері, шудан қорғанудың шектік мәнін жақсарту практика жүзінде қарастырылып, зерттелді.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассмотрены современное использование, виды и простые виды разработки многоканальных высокоскоростных аналогово-цифровых преобразователей. В дипломной работе была выбрана система современных устройств и программ. В дипломной работе разработана модель аналогово-цифрового преобразователя, проведены расчеты на электронную модель с помощью программы Workbench. На практике рассмотрены и изучены свойства основных параметров устройства АСТ: скорость преобразования, увеличение числа каналов, показатели надежности, улучшение предельных значений защиты от шума.

ANNOTATION

In this diploma thesis, the modern use, types and simple types of development of multichannel high-speed analog-digital converters are considered. In the diploma thesis work was selected a system of modern devices and programs. In the diploma thesis work developed a model of analog-to-digital converter, carried out calculations on the electronic model using the program Workbench. In practice, the properties of the basic parameters of the AST device are examined and studied: the conversion rate, the increase in the number of channels, the reliability indicators, and the improvement of the noise protection limits.

ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР

АСТ (АЦП) – Аналогтық-сандық түрлендіргіштер
САТ (ЦАП) – Сандық -аналогтық түрлендіргіштер
БКҚ (УПК) – Бойлық компенсация құрылғылары
ТСҚ (УВХ) – Таңдау сақтау құрылғысы
ТСҚ (ОЗУ) – Есте сақтау құрылғысы
ТЖР (РПП) – Тізбектей жақындау регистрі

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	10
1 Ақпараттық шолу	11
1.1. Аналогты-сандық түрлендіргіштің жіктелуі	11
1.2 Аналогты-сандық түрлендіргіштің базалық схемасы	15
1.3 АСТ-тың динамикалық құрылымдық сұлбасы	16
1.4 Параллель АСТ	17
1.5 Тізбекті-параллель АСТ	20
1.5.1 Көп сатылы АСТ	20
1.5.2 Көп активті тізбекті-параллель АСТ	21
1.5.3 Конвеерлік АСТ	22
1.6 Тізбекті АСТ	23
1.6.1 Тізбекті есептік АСТ	23
1.6.2 Тізбектей жақындаудың АСТ	25
1.6.3 Интеграцияланған АСТ	27
1.6.4 Кернеу-жиілік түрлендіргіштер	27
1.7 Сигма-дельта АСТ	29
1.8 Деректерді жинау жүйелері және микроконверторлар	30
1.9 АСТ интерфейстері	31
1.10 Сигма-дельта АСТ тізбекті интерфейсі	33
1.11 АЦП-дағы шулар	36
1.12 АСТ параметрлері мен сипаттамалары	39
2 Қажетті құралдар	41
2.1 Bluetooth HC-05	41
3 Есептеу бөлімі	43
3.1 АСТ-ның параметрлерін есептеу	43
3.2 АСТ-ның моделін электрондық программа арқылы жасау	45
3.3 Модульдік көпарналық АСТ-тің жасалу жолы	50
ҚОРЫТЫНДЫ	55

КІРІСПЕ

Қазіргі ақпараттық-өлшеуіш жүйесі микропроцессорлар мен микроконтроллерден тұрады. Микропроцессорлар объектімен жұмыс жасау үшін аналогты-сандық түрлендіргіш өте маңызды рөл атқарады. Түрлендіргішті аналогты электрлік шамадағы код (ток, кернеу, кедергі, жиілік, уақыттық интервал және т.с.с), техникалық әдебиеттерде АСТ деп аталатын және аналогты механикалық шама (сызықтық және бұрыштық қосындысы) кодтық шамасы АСТҚ.

АСТ-ның электрлік шамасының универсалды мінездемесі бар, микроэлектроникалық технологиялармен орындалатын және кез келген электрлік шамадағы біріншілік датчиктермен жұмыс жасай алады. АСТҚ керісінше көп жағдайда белгілі бір механикалық шамадағы біріншілік датчиктермен ғана (көп деңгейлі машиналар, индукционды терімдік орамдарда және басқада жағдайларда), біріншілік ақпаратты ерекше өңдеу түрлері құрылымдық аяқталуы болып табылады. АСТҚ және АСТ-ның екеуі де өлшегіш құралдар, басқарушы контур және АҚЖ-дың техникалық мінездемесіне тікелей байланысты.

Күрделі техникалық АҚЖ және АЖ жағдайында АСТ/САТ әртүрлі мінездемесін қолданамыз (төменгі жиіліктегі, салыстырмалы ақырыннан тез жұмыс жасайтынға дейін). Мысалға, «Фемтоскан» модульдің құрамына қорғаушы микрокоширмені сканерлейтін жылдамдығы 1 секундна 64 кадр кіреді;

- 4 арна САТ-тің түзу сызықты 20 бит және жылдамдығы 1 мкс;
- 4 арна САТ-тің түзу сызықты 16 бит және жылдамдығы 10 мкс;
- 2 арна дифференциалдық АСТ 1 МГц дискретизация жиілігімен және сызықты 18 бит;

- 8 арна АСТ 1 МГц дискретизация жиілігімен және сызықты 18 бит

Аналогты-сандық түрлендіргіш – бұл аналогты сигналды сандық сигналға түрлендіретін құрылғы. Түрлендіру процесін орындау үшін алдымен аналогты сигналды кванттау, осы сигналдың лездік мәні белгілі бір деңгейге дейін шектеледі де кванттау деңгейі деп аталады.

1.1 Аналогты-сандық түрлендіргіштің жіктелуі

Аналогтық-сандық түрлендіргіштер (АСТ) кіріс аналогтық сигналдарды қабылдайтын, микропроцессорлармен және басқа да сандық құрылғылармен өңдеу үшін сигналдарды шығаратын құрылғылар болып табылады.

Әр түрлі физикалық шамаларды сандық нысанға тікелей түрлендіру мүмкін емес, бірақ түрлендіргіштердің күрделілігіне байланысты кей жағдайларда шешілуі мүмкін. Сондықтан қазіргі уақытта физикалық әр түрлі шамаларды алдымен олармен функционалды байланысты электр түрлендіргіштерінің, содан кейін кернеу-код түрлендіргіштерінің көмегімен - сандық шамаларға түрлендіру тәсілі ұтымды болып табылады. Дәл осы түрлендіргіштер, кәдімгі АСТ туралы айтады [1].

АСТ көмегімен жүзеге асырылатын үздіксіз сигналдардың аналогты-сандық түрлендіру процедурасы бастапқы сигналды сипаттайтын $u(t)$ уақыт функциясының үзіліссіз функциясын $\{U'(t_j)\}$, $j=0,1,2,..$, кейбір тіркелген уақыт сәттеріне жатқызылған сандар тізбегіне түрлендіруді білдіреді. Бұл процедураны екі дербес операцияға бөлуге болады. Олардың біріншісі дискреттеу деп аталады және $U(t)$ үздіксіз уақыт функциясын $\{U'(t_j)\}$ үздіксіз бірізділікке түрлендіруден тұрады. Екінші кванттау деп аталады және үздіксіз тізбекті дискретті етіп түрлендіруден тұрады.

Үздіксіз сигналдардың дискретизациясының негізінде оларды өлшенген сома түрінде ұсынудың принципті мүмкіндігі жатыр

$$U(t) = \sum_j a_j f_j(t) \quad (1)$$

мұнда a_j - уақыттың дискретті бастапқы сигналды сипаттайтын кейбір коэффициенттер немесе есептемелер; $f_j(t)$ - оның есептеулері бойынша сигналды қалпына келтіру кезінде пайдаланылатын элементарлық функциялардың жиынтығы.

Дискретизацияның ең көп тараған түрі біркелкі болып табылады, оның негізінде есептеу теоремасы жатыр. Осы теоремаға сәйкес a_j коэффициенттері ретінде $U(t_j)$ сигналының лездік мәндерін уақыт дискреттік моменттеріне $t_j = j\Delta t$, ал дискретизация кезеңін шарттан таңдау керек:

$$\Delta t = \frac{1}{2} F_m, \quad (2)$$

мұндағы F_m - түрлендірілетін сигнал спектрінің максималды жиілігі. Бұл ретте (1) өрнекте есептеу теоремасының белгілі өрнегіне өтеді:

$$U(t) = \sum_{jm \rightarrow \infty}^{\infty} U(j\Delta t) \frac{\sin[2\pi F_m(t - j\Delta t)]}{2\pi F_m(t - j\Delta t)} \quad (3)$$

Қатаң шектеулі спектрі бар сигналдар үшін бұл өрнек бірдей болады. Алайда, нақты сигналдардың спектрлері нөлге тек асимптотикалық түрде ұмтылады. Мұндай сигналдарға біркелкі дискретизацияны қолдану Ақпаратты өңдеу жүйелерінде іріктеумен байланысты ерекше жоғары жиілікті бұрмалаулардың пайда болуына әкеледі. Бұл бұрмалауларды азайту үшін дискреттеу жиілігін арттыру немесе АСТ алдында бастапқы сигналдың спектрін шектейтін төменгі жиіліктердің қосымша сүзгісін қолдану қажет [2].

Жалпы жағдайда дискретизация жиілігін таңдау (1) $f_j(t)$ функциясының қолданылатын түріне және бастапқы сигналды қайта қалпына келтіру кезінде туындайтын қателіктердің рұқсат етілген деңгейіне байланысты болады. Осының бәрін АСТ-ның талап етілетін жылдам әрекетін анықтайтын дискретизация жиілігін таңдау кезінде ескеру қажет. Бұл параметр АСТ әзірлеушісіне жиі беріледі [3].

Дискретизация операциясын орындау кезінде АСТ орнын толығырақ қарастырайық.

Жеткілікті тар жолақты сигналдар үшін дискреттеу операциясы АСТ-ны қолданып, оларды кванттау операциясымен біріктіруге болады. Мұндай дискретизацияның негізгі заңдылығы бір түрлендірудің соңғы уақыты және жалпы жағдайда кіріс сигналының параметрлеріне байланысты оның аяқталу сәтінің белгісіздігі есебінен есептеу мәндері болып табылады, яғни, бір мәнді сәйкестікке қол жеткізе алмауы болып табылады. Нәтижесінде уақыт өзгеретін сигналдармен жұмыс істеу кезінде өзінің табиғаты бойынша динамикалық

ауытқулар пайда болады, оларды бағалау үшін апертуралық уақытпен сипатталатын *апертуралық белгісіздік* ұғымын енгізеді.

Апертуралық уақыт t_a деп таңдалған мән мен уақыт арасындағы белгісіздік сақталатын уақыт деп аталады. Апертуралық белгісіздіктің әсері өлшеудің берілген сәттері кезінде сигналдың лезде мәнінің қателігі ретінде немесе сигналдың берілген сәттік мәні кезінде өлшеу жүргізілетін уақыт моментінің қателігі ретінде көрінеді. Бірқалыпты дискреттеу кезінде апертуралық белгісіздіктің салдарынан апертуралық деп аталатын амплитудалық қателіктердің пайда болуы болып табылады және апертуралық уақыт ішіндегі сигналдың өсуіне сан жағынан тең.

Егер апертуралық белгісіздік әсерінің басқа интерпретациясын қолданса, онда оның болуы уақыт осіндегі тең сәттерге қатысты сигнал есебі алынатын уақыттың шынайы сәттерінің «діріліне» әкеледі. Нәтижесінде қатаң тұрақты кезеңмен бірқалыпты дискретизацияның орнына қайталаудың флюктуирлеуші кезеңімен дискретизация жүзеге асырылады, бұл есептеу теоремасының шарттарын бұзуға және ақпаратты сандық өңдеу жүйелерінде қарастырылған апертуралық қателіктердің пайда болуына әкеп соғады.

Апертуралық қателіктің мұндай мәнін бастапқы сигналға арналған өрнекті j -ші нүкте үшін көрінетін санақ нүктелерінің төңірегіндегі Тейлор қатарына таратып анықтауға болады.

$$U(t) = U(t_f) + t_a U'(t_f) + \frac{t_a^2}{2} U''(t_f) + \dots$$

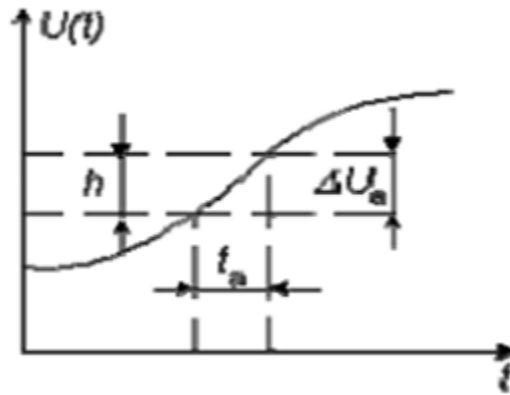
Және бірінші жақындағанда апертуралық қателік береді

$$\Delta U_a(t_f) \approx t_a U'(t_f) \quad (4)$$

мұнда t_a - апертуралық уақыт, ол қарастырылып отырған жағдай үшін АСТ түрлендіру уақытының бірінші жақындауы болып табылады.

Әдетте апертуралық қателіктерді бағалау үшін $U(t) = U_m \sin \omega t$ синусоидалы сынақ сигналы қолданылады, ол үшін апертуралық қателіктің максималды салыстырмалы мәні төмендегі формулаға сәйкес келеді:

$$\Delta U_a / U_m = \omega t_a$$



Сурет 1.1- Апертуралық қателіктің кванттау қадамына тең болған жағдайдағы түзілуі

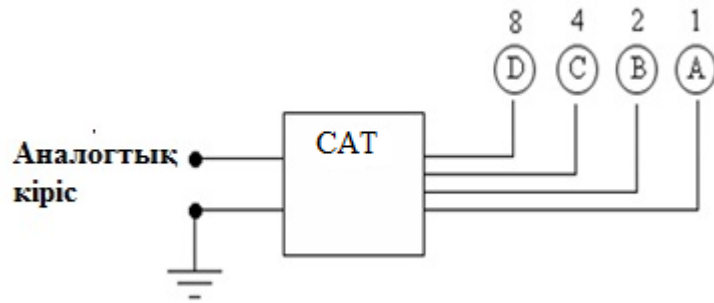
Егер 2^{-N} рұқсаты бар N -разрядты АСТ қабылдауы үшін апертуралық қателік кванттау қадамынан аспауы тиіс (1 сурет), онда ω сигнал жиілігі, t_a апертуралық уақыты мен салыстырмалы апертуралық қателіктің арасындағы ара қатынасы орын алады:

$$1 / 2^N = \omega t_a$$

1% қателігі бар 100 кГц жиіліктегі синусоидалды сигналдың дискретизациясын қамтамасыз ету үшін АСТ түрлендіру уақыты 25 нс тең болуы тиіс. Сонымен қатар, осындай тез әрекет ететін АСТ көмегімен 20 МГц спектрінің ені бар сигналдарды дискретизациялауға болады. Осылайша, АСТ көмегімен дискреттеу АСТ жылдамдығы мен дискреттеу кезеңі арасындағы талаптардың елеулі айырмашылығына әкеледі. Бұл айырмашылық 2...3-ке жетеді, ретті және қатты күрделендіреді де, дискреттеу процесін қымбаттатады, өйткені салыстырмалы түрде тар жолақты сигналдар үшін өте жылдам әсер ететін АСТ талап етеді. Бұл мәселені тез өзгертін сигналдардың жеткілікті кең класы үшін аз апертуралық уақыты бар *таңдау-сақтау құрылғыларының* көмегімен шешеді [2-3]

1.2 Аналогты-сандық түрлендіргіштің базалық схемасы

АСТ – бұл шифратордың арнайы схемасы деп аталады. 2 суретте АСТ-ның базалық сұлбасы берілген. Кірісіндегі сигнал өзгермелі аналогты сигнал, ал шығысында екілік сигналға түрленіп шығады [4].



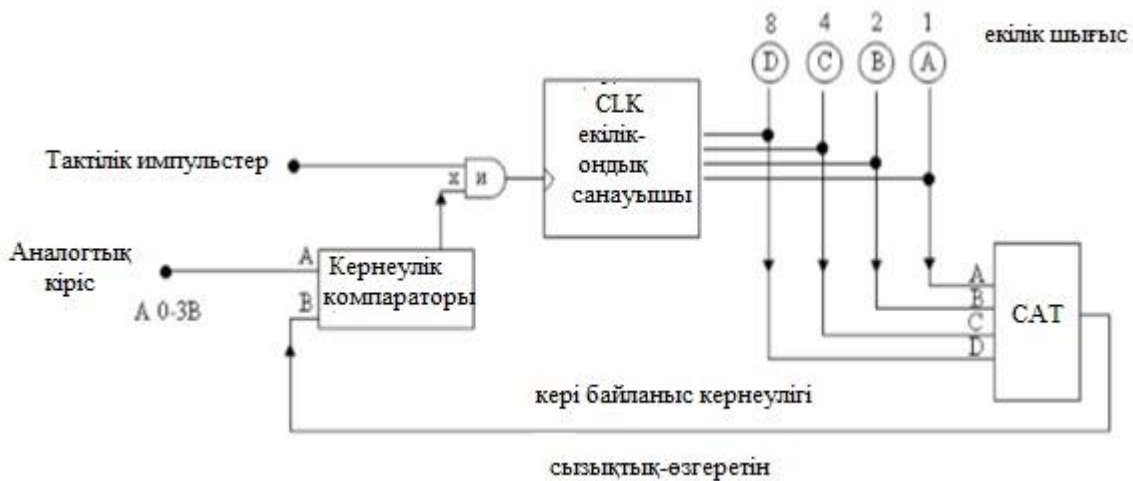
Сурет 1.2 - АСТ-дің базалық сұлбасы

Кесте 1.1 – АСТ шамасы

	Аналогты кіріс	Екілік шығыс			
	Вольтпен	8	4	2	1
		D	C	B	A
Қатар 1	0	0	0	0	0
Қатар 2	0,2	0	0	0	1
Қатар 3	0,4	0	0	1	0
Қатар 4	0,6	0	0	1	1
Қатар 5	0,8	0	1	0	0
Қатар 6	1,0	0	1	0	1
Қатар 7	1,2	0	1	1	0
Қатар 8	1,4	0	1	1	1
Қатар 9	1,6	1	0	0	0
Қатар 10	1,8	1	0	0	1
Қатар 11	2,0	1	0	1	0
Қатар 12	2,2	1	0	1	1
Қатар 13	2,4	1	1	0	0
Қатар 14	2,6	1	1	0	1
Қатар 15	2,8	1	1	1	0
Қатар 16	3,0	1	1	1	1

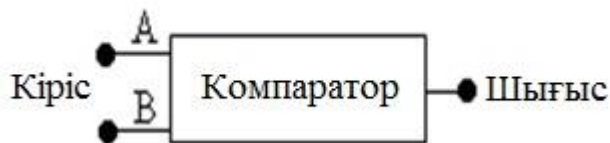
1 – кестеге назар аударатын болсақ, кірісінде 0.2 В-қа артқан сайын шығысындағы екілік бірлік жүйесіне 1-ге артып отырады.

1.3 АСТ-тың динамикалық құрылымдық сұлбасы

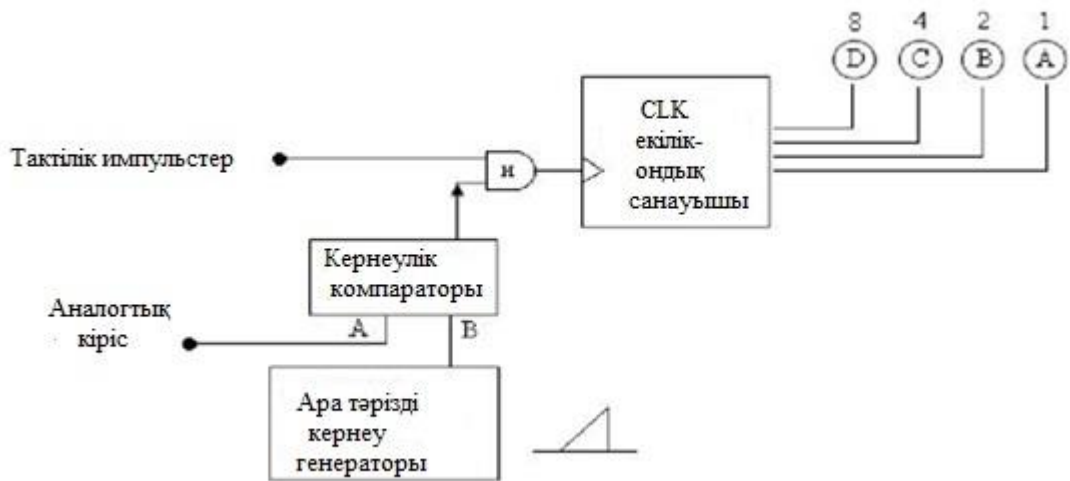


Сурет 1.3 - АСТ-тың динамикалық құрылымдық сұлбасы

АСТ-ның кірісіне аналогты кернеу қосыла беріледі. САТ-тен берілген кернеудің шамасын компаратор тексереді. Егер кірісіндегі А кернеу В кернеуінен асып кетсе, тактлық импульстердің санауыштың кірісіне өтуіне рұқсат беріледі. Санауыш әрбір жаңа импульстарды екілік деңгейдегі шығысына қосады. Санауыш кірісіндегі В-ның аналогты кернеуінің мәні А-ның мәнінен артқанға дейін кері байланыс жүргізіле береді. Осы нүктесінде компаратор санауышты тоқтатады [4].

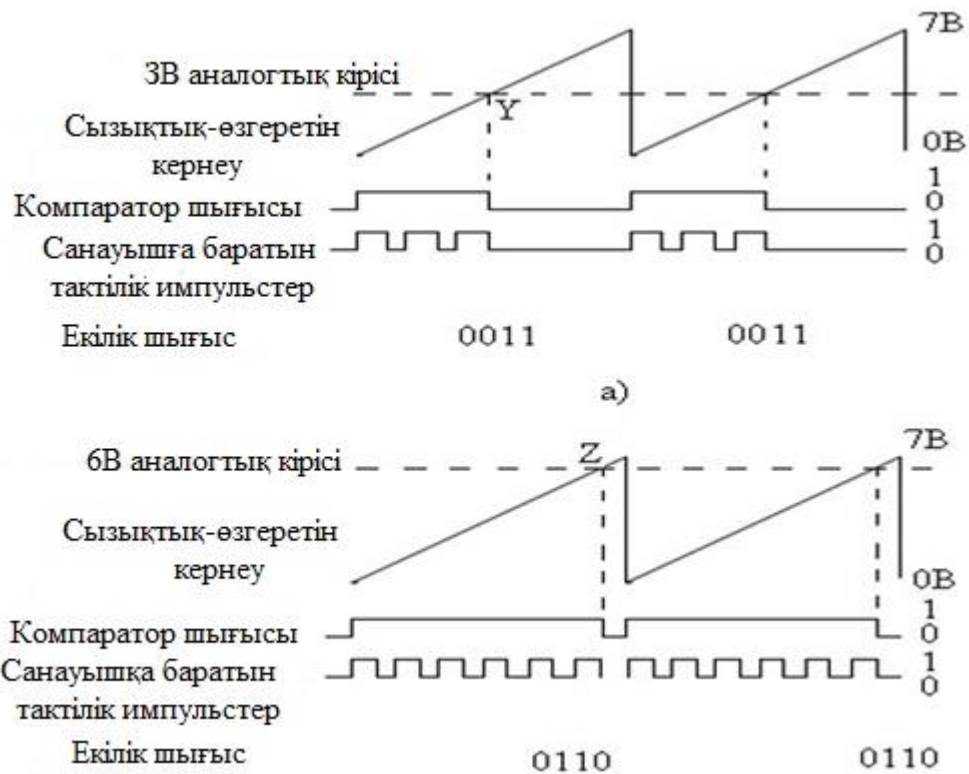


Компаратордың негізі – операциялық күшейткіш болып табылады. Оның жұмыс істеуі: егер А В-дан үлкен болса, онда шығысында логикалық 1 болады, ал егер А В-дан кіші болса, онда шығысында логикалық 0 болады. ТТЛ-логикасында 1 мен 0 деңгейі тең дәрежеде беріледі. Компаратордың В кірісіне шығысындағы САТ-ке тізбектегі кері байланыс сызықты өспелі кернеу беріледі, процесстің жаңа циклі басталмай тұрғандағы сәтте кернеу деңгейінің САТ-ның шығысында 0-ден басталады [5].



Сурет 1.4 - Интегралдаушы АСТ-ның жұмыс жасау сұлбасы

АСТ-тің жұмысы 5-сұлбасында көрсетілген:



АСТ-тің кірісіндегі аналогты кернеуді 3В деп болжаммен алатын болсақ а/, Сызықты өзгермелі кернеу 0В-тан бастап өседі, У нүктесіне

жеткенге дейін, ол кірісінен төмен және компаратордың шығысынан логикалық 1 әрекет жасайды [4-5].



Сурет 1.6 - АСТ-дің жіктелуі

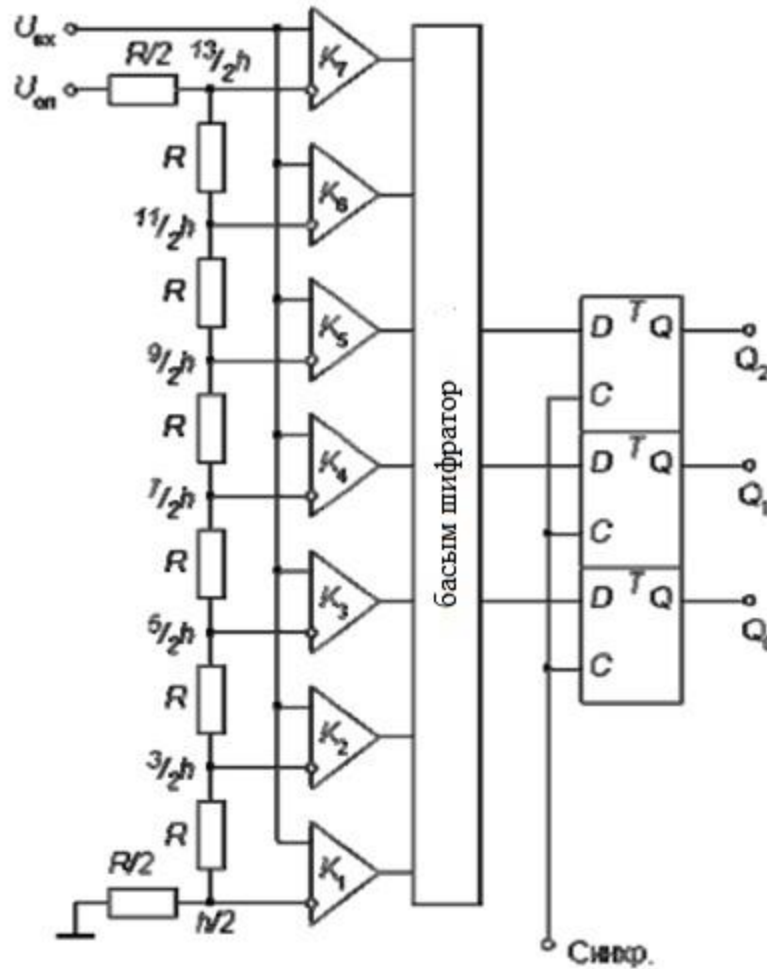
Қазіргі уақытта кернеу-код түрлендірудің көптеген әдістері белгілі. Бұл әдістер бір-бірінен потенциалды дәлдікпен, түрлендіру жылдамдығымен және аппараттық іске асыру күрделілігімен ерекшеленеді. 2-суретте АСТ түрлендіру әдістері бойынша классификациясы берілген.

АСТ классификациясының негізіне аналогтық шаманы сандық шамаға өзгерту процесі уақыт бойынша қалай бұрылатынын көруге болады. Сигналдың таңдау мәндерін сандық эквиваленттерге түрлендіру негізінде кванттау және кодтау операциялары жатады. Олар сандық эквивалентті түрлендірілетін шамаға жақындаудың тізбекті, немесе параллель, немесе тізбекті-параллель рәсімдерінің көмегімен жүзеге асырылуы мүмкін [1-3].

1.4 Параллель АСТ

Бұл типті АСТ кіріс сигналының көзіне параллель қосылған компараторлар жиынтығының көмегімен бір мезгілде сигналды кванттауды жүзеге асырады. -

Сур. 3 3-разрядты Сан үшін АЦ-түрлендірудің параллельді әдісін іске асыру көрсетілген.



Сурет 1.7 - Параллель АСТ

Үш екілік разрядтардың көмегімен сегіз түрлі сандарды, соның ішінде нольді ұсынуға болады. Демек, жеті компаратор қажет. 7 тиісті эквидистантты тірек кернеу резистивті бөлгіш арқылы қалыптасады.

Егер қоса берілген кіріс кернеуі $5/2h$ -ден $7/2h$ дейінгі диапазон шегінен шықпаса, онда $h=U_{\text{оп}}/7$ АСТ кіші разрядының бірлігіне сәйкес келетін кіріс кернеуінің кванты, онда 1-ден 3-ке дейінгі компараторлар 1-күйге, ал 4-тен 7 - ге дейінгі компараторлар 0-күйге орнатылады. Бұл кодтар тобын үш таңбалы екілік санға түрлендіруді негізгі шифрлаушы деп аталатын логикалық құрылғыны орындайды, оның күй диаграммасы 1-кестеде келтірілген.

1.2 –кесте. Логикалық құрылғының күй диаграммасы

Шығыс кернеу	Компаратор жағдайы							шығыстары		
U _{вх} /h	K ₇	K ₆	K ₅	K ₄	K ₃	K ₂	K ₁	Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0
3	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
4	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
5	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Басты шифраторды АСТ шығуына қосу шығыс кодын оқу кезінде қате нәтиже беруі мүмкін. Мысалы, үштен төртке немесе 011-ден 100 екілік кодқа ауысуды қарастырайық. Егер кідіріс уақытының аз болуы салдарынан үлкен разряд басқа разрядтардан бұрын өз жағдайын өзгертсе, онда шығуда уақытша 111, яғни жеті сан пайда болады. Бұл жағдайда қатенің шамасы өлшенетін диапазонның жартысын құрайды [7].

АТ-түрлендірудің нәтижелері, әдетте есте сақтау құрылғысына жазылады, толық дұрыс емес шаманы алу мүмкіндігі болады. Бұл мәселені, таңдау-сақтау құрылғысы арқылы шешуге болады. Кейбір интегралды микросхемалар (ИМС) параллель АСТ, MAX100, шамамен 0,1 нс таңдау уақыты бар аса жылдамдықты ТСҚ жабдықталады. Басқа жол өзіне тән ерекшелігі бір кодтық мәннен екіншісіне ауысқан кезде тек бір кодтық позицияны өзгерту болып табылатын кодты пайдалану болып табылады. Ақыр соңында, кейбір АСТ-да (мысалы, MAX1151) параллельді АТ-түрлендіруде іркілістердің ықтималдығын төмендету үшін екі актілі цикл қолданылады, алдымен компараторлардың шығу жағдайы тіркеледі, содан кейін басым шифратордың жағдайы анықталғаннан кейін, белсенді фронтты шығыс регистрінің синхрокірісіне берумен оған АСТ шығу сөзі жазылады.

1-кестеде көрсетілгендей, кіріс сигналы ұлғайған кезде компараторлар 1 - күйге кезек бойынша-төменнен жоғары қарай орнатылады. Мұндай кезектілікке кіріс сигналының тез өсуі кезінде кепілдік берілмейді, өйткені кідіріс кезіндегі айырмашылыққа байланысты компараторлар басқа тәртіппен ауыса алады.

Басымдылық кодтау кіші разрядтардағы бірліктерді басым шифрлаушы назарға алмауының арқасында бұл жағдайда мүмкін болатын қателерді болдырмауға мүмкіндік береді [5].

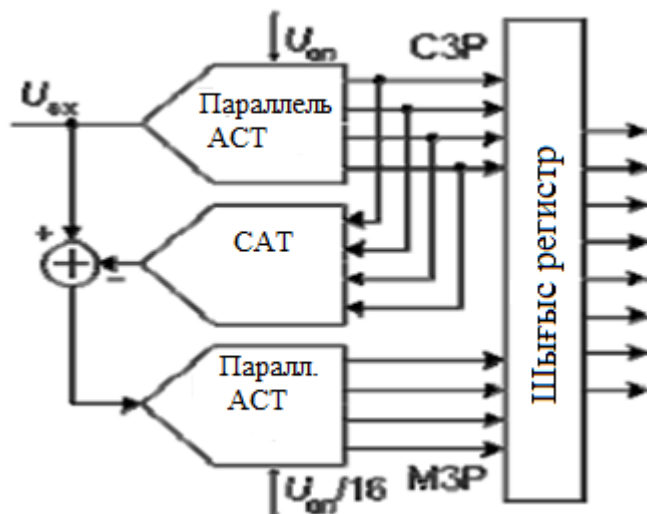
Параллельді АСТ өте жылдам болуы, компараторлардың бір мезгілдегі жұмыс жасауының арқасында болып табылады. Мысалы, MAX104 типті сегіз разрядты түрлендіргіш сигналдың өту уақыты 1,2 нс артық емес болғанда секундына 1 млрд есептеулерді алуға мүмкіндік береді. Бұл схеманың кемшілігі - қиындықтар өте көп. Шын мәнінде, N-разрядты параллель АСТ $2n-1$ компаратор және $2n$ келісілген резисторларды тежейді. Осының салдары қымбат (жүздеген АҚШ доллары) және едәуір тұтынылатын қуат болып табылады. Мысалы MAX104, 4 Вт тұтынады.

1.5 Тізбекті-параллель АСТ

Тізбекті-параллель АСТ-бұл жоғары жылдамдық пен оны мүмкіндігінше аз бағамен жасауды көздейді. Тізбекті-параллельді АСТ параллельді АСТ және тізбекті жақындаудың АСТ арасындағы жылдам әрекет ету және рұқсат ету қабілеті бойынша аралық орын алады. Тізбекті-параллель АСТ көп сатылы, көп активті және конверлік болып бөлінеді.

1.5.1 Көп сатылы АСТ

Көпсатылы АСТ-да кіріс сигналын түрлендіру процесі кеңістікте бөлінген. Мысал ретінде 4 суретте екі сатылы 8-разрядты АСТ сұлбасы берілген.



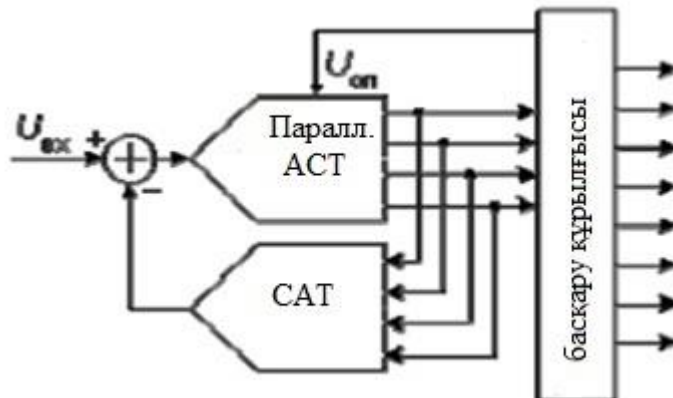
Сурет 1.8 - Екісатылы АСТ-дің құрылымдық сызбасы

АСТ сұлбасы бойынша жоғарғы сигнал шығыс кодының төрт жоғары разрядына қатты түрлендіруді жүзеге асырады. АСТ шығысынан сандық сигналдар шығыс регистріне және бір уақытта 4-разрядты жылдам әрекет ететін САТ кірісіне түседі. Көптеген ИМС-көп сатылы АСТ (AD9042, AD9070 және т. б.) САТ орындайтын схемасы бойынша қосу тоқ дифференциалымен кері қосу керек болады, бірақ САТ жинақтаумен кернеулерін (AD775, AD9040A және т. б.) қамтиды. САТ шығыс кернеуін шегеруден қалған қалдық схеманың кіріс кернеуінен АСТ 2 кіруіне түседі, оның тірек кернеуі АСТ 1-ге қарағанда 16 есе аз. Соның салдарынан, АСТ 2 кванты АСТ 1 квантынан 16 есе аз. Бұл қалдық түрлендірілген АСТ 2 сандық формада шығу кодының төрт кіші разряды болып табылады. АСТ 1 және АСТ 2 арасындағы айырмашылығына қойылатын талапта: АСТ 1 дәлдігі 8-разрядты түрлендіргіш сияқты болуы тиіс, ал АСТ 2 дәлдігі 4 разрядты болуы керек.

Өте жақын және дәл шамалар, $U_{вх}(t_j)$ бір кіріс кернеуіне сәйкес келуі тиіс. Бірінші сатыда сигналдың кідіріс болуына байланысты уақытша кешігуі туындайды. Сондықтан осы тәсілді қолданғанда кіріс кернеуін таңдау-сақтау құрылғысының көмегімен барлық сан алынғанша тұрақты ұстап тұру қажет [1-2].

1.5.2 Көп активті тізбекті-параллель АСТ

8-разрядты тізбекті-параллель АСТ үлгісін қарастырайық, ол көп активті типке жатады (5-суретте көрсетілгендей). Мұнда түрлендіру процесі уақытпен бөлінген.



Сурет 1.9 - Екітакттілік АСТ-дің құрылымдық сызбанұсқасы

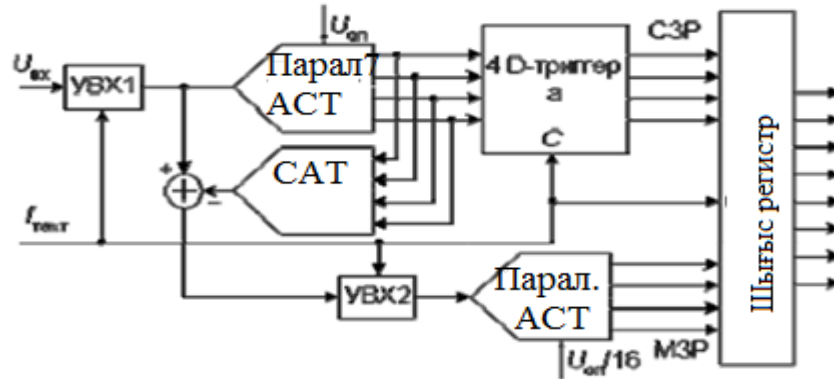
Түрлендіргіш 4-разрядты параллель АСТ-тан тұрады, оның кванты h тірек кернеуінің шамасымен, 4-разрядты САТ және басқару құрылғысымен анықталады. Егер максималды кіріс сигналы 2,56 В тең болса, онда түрлендіргіш бірінші тактіде кванттау $h_1=0,16$ В қадамымен жұмыс істейді. Басқару құрылғысы АСТ-дан алынған сөзді бірінші тактіде шығу регистрінің төрт үлкен разрядына жібереді, бұл сөзді САТ кіруіне береді және АСТ тірек кернеуін 16 есе азайтады. Осылайша, екінші тактіде кванттау қадамы $h_2=0,01$ В және кіріс кернеуінен САТ шығу кернеуінің схемасын азайту кезінде пайда болған қалдық шығыс сөзінің кіші жарты минутына айналады [1].

Бұл схемада қолданылатын 4-разрядты АСТ және САТ 8разрядтық дәлдікке ие болуы тиіс, ие болмаған жағдайда кодтарды өткіп алуы мүмкін, яғни кіріс кернеуінің монотондық өсуі кезінде АСТ шығыс коды өзінің шкаласының кейбір мәндерін қабылдамайды. Алдыңғы түрлендіргіштегі сияқты, түрлендіру кезінде көп активті АСТ кіріс кернеуі өзгеріссіз болуы тиіс, ол үшін оның кірісі мен кіріс сигналының көзі арасында таңдау-сақтау құрылғысын қосу керек.

Қарастырылған көп активті АСТ-ның жылдамдығы 4-разрядты АСТ-ны түрлендірудің толық уақытымен, сандық басқару сұлбаларының іске қосылу уақытымен, 0,2-ден аспайтын қателікпен САТ орнату уақытымен анықталады. 8-разрядты АСТ 0,3 квант, бұл ретте АСТ қайта құру уақыты екі рет қайта құрудың жалпы уақытына кіреді. Нәтижесінде басқа жағдайларда осындай типті түрлендіргіш жоғарыда қарастырылған екі сатылы түрлендіргіштен баяу болады. Алайда, ол оңай және арзан. Көп сатылы АСТ және тізбектелген АСТ арасындағы аралық орын алады. Көп актілі АСТ-ның мысалдары үш актілі 12-разрядты AD7886 түрлендіру уақыты 1 мкс немесе 2 мкс түрлендіру уақыты бар үш актілі 16-разрядты AD1382 болып табылады [3].

1.5.3 Конвеерлік АСТ

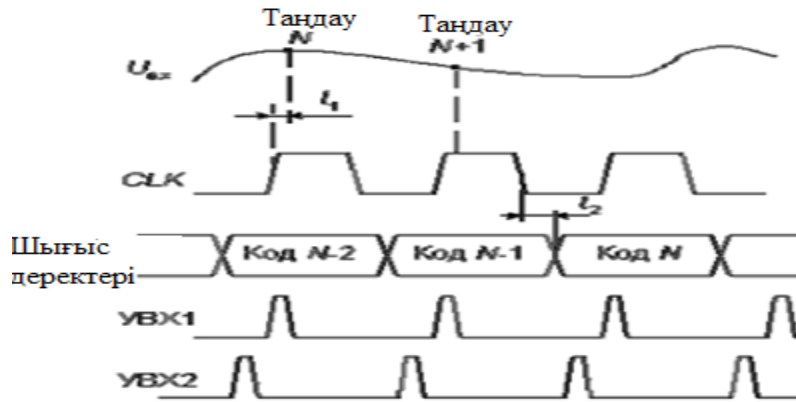
Көпсатылы АСТ-ның жылдам әрекет етуін кіріс сигналын көпсатылы өңдеудің конвеерлік принципін қолдана отырып арттыруға болады. Қарапайым көпсатылы АСТ-да (4-суретте көрсетілген) алдымен АСТ1 түрлендіргішімен шығатын сөздің жоғары разрядтарын қалыптастыру жүргізіледі, содан кейін САТ шығыс сигналын орнату кезеңіне өтеді. Бұл интервалда АСТ2 қарапайым болады. Екінші кезеңде қалдықты түрлендіру кезінде АСТ2 түрлендіргіші жұмыс істеп, АСТ1 жұмысын тоқтатады. Түрлендіргіш сатылары арасында аналогтық және сандық сигналдардың кідіріс элементтерін енгізгенде, 8-разрядты нұсқасының сұлбасы 6-суретте көрсетілген конвеерлік АСТ аламыз.



Сурет 1.10 - Конвеерлік АСТ-дің құрылымдық сызбасы

Аналогтық кідіріс элементінің рөлін таңдау құрылғысы-ТСК2, ал сандық - төрт D-триггер орындайды. Триггерлер CLK тактикалық сигналының бір кезеңіне шығу регистріне үлкен жартыбайтты беруді кідіртеді.

Тактілік сигналдан қалыптасатын таңдау сигналдары уақыттың әр түрлі сәттерінде ТСК1 және ТСК2 түседі (7суретте көрсетілген). ТСК2 сақтау режиміне ТСК1-ден АСТ1 және САТ бойынша сигнал таратудың жиынтық кідірісіне тең уақытқа кейінірек ауыстырылады. Тактикалық сигналдың артқы фронты d-триггерлерге кодтардың жазбасын және шығыс регистрін басқарады. Кіріс сигналын толық өңдеуде CLK екі кезеңін алады, бірақ шығыс кодының жаңа мәндерінің пайда болу жиілігі тактілік сигнал жиілігіне тең болады.



Сурет 1.11 - Конвеерлік АСТ жұмысының диаграммасы

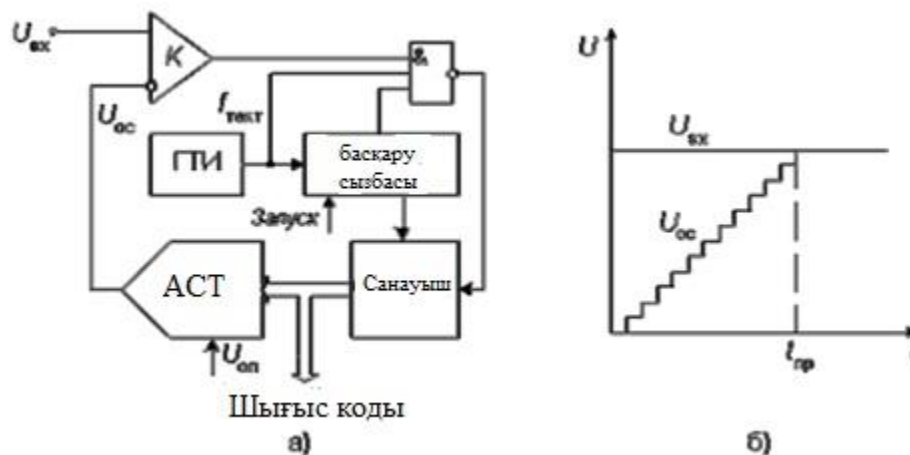
Осылайша, конвеерлік архитектура көпсатылы АСТ іріктемелерінің ең жоғары жиілігін (бірнеше есе) арттыруға мүмкіндік береді. Бұл ретте сатылар саны тең қарапайым көп сатылы АСТ-қа сәйкес келетін сигналдың өтуінің жиынтық кідірісі сақталатыны елеулі мәнге ие емес, өйткені осы сигналдарды кейіннен сандық өңдеу уақыты осы кідірістен көп есе асып түседі. Осының арқасында тез әрекетте ұтылусыз АСТ сатыларының санын көбейтіп, әрбір сатының разрядтылығын төмендетіп, көбейтуге болады. Өз кезегінде, түрлендіру

сатылары санының артуы АСТ күрделілігін азайтады. Шын мәнінде, төрт 3-разрядты 12-разрядты АСТ құру үшін 28 компаратор қажет, ал оны екі 6-разрядты АСТ-пен іске асыру үшін 126 компараторкерекболады [1-3].

Конвеерлік архитектурада қазіргі уақытта шығарылатын көпсатылы АСТ көптүрі бар. Атап айтқанда, 2-сатылы 10-разрядты AD9040A, секундына 40 млн. дейін түрлендіруді (МПс) орындайды, 4-сатылы 12-разрядты AD9220 (10 МПс), барлығы 250 мВт тұтынатын және т. б. Конвеерлік АСТ таңдау кезінде олардың көбісі таңдаудың төмен жиілігімен жұмыс істеуге жол бермейтінін ескеру қажет. Мысалы, ИМС AD9040A жұмысын 10 МПс-тан кем емес түрлендіру жиілігімен, 3-сатылы AD9022 2 МПс және т. б. жиілігімен жұмыс істейді. Бұл ішкі ТСҚ сақтау конденсаторларының өте жоғары жылдамдығы бар болғандықтан, үлкен тактикалық кезеңмен жұмыс түрлендіру барысында түрлендірілетін сигналдың өзгеруіне әкеледі.

1.6.1 Тізбекті АСТ. Тізбекті есетпiк АСТ

Бұл түрлендіргіш бір-бірімен жақындатылған тізбекті АСТ-ның типтік үлгісі болып табылады және компаратордан, есептеуіштен және САТ-тан тұрады (8суретте көрсетілген). Компаратордың бір кіруіне кіріс сигналы, ал екіншісіне - САТ кері байланыс сигналына түседі.



Сурет 1.12 - Тізбекті санағы бар АСТ-дің құрылымдық сызбасы

Түрлендіргіштің жұмысы ГТИ-дің тактикалық импульстерінің генераторынан түсетін импульстердің жиынтық санын қосатын есептеуішті қосатын іске қосу импульсі кірісінен басталады. Есептеуіштің шығыс коды оны $U_{ос}$ кері байланыс кернеуін түрлендіруді жүзеге асыратын САТ беріледі. Қайта құру процесі кері байланыс кернеуі кіріс кернеуімен салыстырылып, өзінің шығу сигналымен тактілік импульстердің есептеуішке түсуін тоқтататын компаратор

ауысқанға дейін жалғасады. Компаратордың 1-ден 0-ге ауысуы түрлендіру процесін аяқтауды білдіреді. Түрлендіруді аяқтау сәтіндегі кіріс кернеуіне пропорционалды шығыс коды есептеуіштің шығуынан есептеледі.

Бұл типті АСТ-ның түрлендіру уақыты айнымалы болып табылады және кіріс кернеуімен анықталады. Оның максималды мәні максималды кіріс кернеуіне сәйкес келеді және N екілік есептеуіштің разрядтылығы және $f_{\text{такт}}$ тактілік импульстердің жиілігі бірдей болады.

$$t_{\text{пр.макс}} = (2N - 1) / f_{\text{макс}} \quad (5)$$

Мысалы, $N=10$ кезінде $f_{\text{такт}}=1$ МГц және $t_{\text{пр.макс}}=1024$ мкс, бұл шамамен 1 кГц іріктеме жиілігін қамтамасыз етеді.

Түрлендірудің статикалық қателігі пайдаланылатын САТ және компаратордың жиынтық статикалық қателігімен анықталады. Есептеу импульстерінің жиілігін ондағы өтпелі процестердің аяқталуын ескере отырып таңдау қажет [1-3].

Таңдау-сақтау құрылғысыз жұмыс істеген кезде апертуралық уақыт түрлендіру уақытымен сәйкес келеді. Нәтижесінде, түрлендіру нәтижесі кіріс кернеуінің пульсациясына өте тәуелді. Жоғары жиілікті пульсация болған кезде шығыс кодының орташа мәні кіріс кернеуінің орташа мәніне байланысты болады. Бұл таңдау-сақтау құрылғысыз осы типті АСТ тұрақты немесе баяу өзгеретін кернеулермен жұмыс істеу үшін жарамды екенін білдіреді, олар қайта құру кезінде түрлендіру квантының мәнінен артық емес өзгереді.

Осылайша, тізбекті есептегі АСТ ерекшелігі бірнеше килогерцке жететін дискретизацияның шағын жиілігі болып табылады. Бұл кластағы АСТ-ның артықшылығы түрлендірудің үрдісінің жүйелі түрде орындалуының сипаттамасымен анықталатын салыстырмалы қарапайымдылығы болып табылады.

1.6.2 Тізбектей жақындаудың АСТ

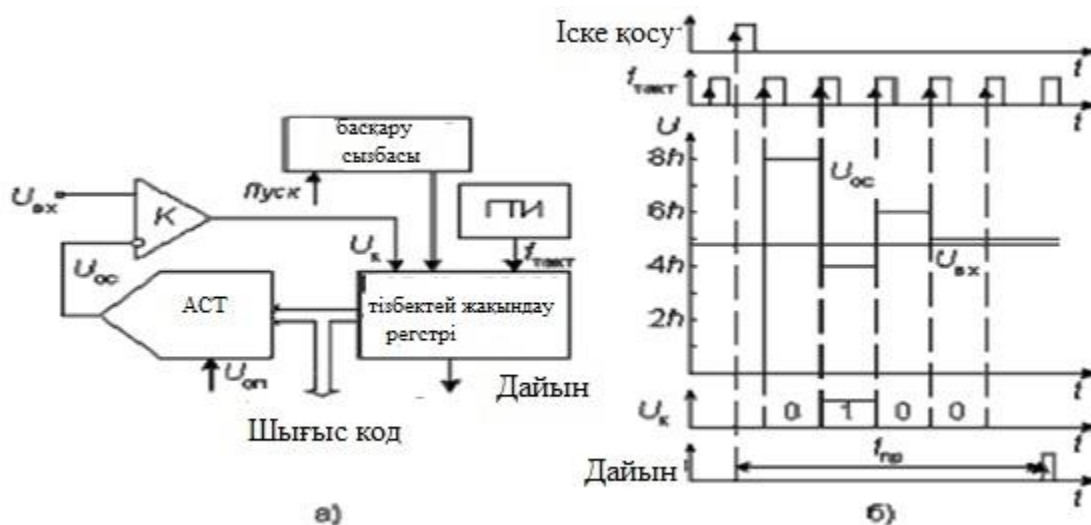
Әдебиетте деп аталатын бұл түрді түрлендіргіш, сондай-ақ таңқаларлық теңдеуі бар АСТ тізбекті АСТ-ның ең көп таралған нұсқасы болып табылады.

Түрлендіргіштердің осы класының жұмысының негізінде дихотомия принципі жатыр, яғни өлшенетін шаманың $1/2$, $1/4$, $1/8$ және т.б. мүмкін болатын ең жоғары мәнінен дәйекті салыстыру. Бұл тізбектей жақындаудың N -биттік АСТ үшін тізбекті есепті пайдалану кезінде 2^N-1 орнына тізбекті қадам (Итерация)

үшін барлық түрлендіру процесін орындауға және жылдам әрекетте Елеулі ұтысты алуға мүмкіндік береді. Осылайша, $N = 10$ кезінде бұл ұтыс 100 есе жетеді және осындай АСТ көмегімен $10^5 \dots 10^6$ секундқа дейін алуға мүмкіндік береді. Сонымен бірге, түрлендіргіштердің осы түрінің статикалық қателігі, онда негізінен қолданылатын САТ-та анықталатын өте аз болуы мүмкін, бұл 200 кГц-ке дейінгі іріктеу жиілігі кезінде 18 екілік разрядтарға дейінгі рұқсат ету қабілетін іске асыруға мүмкіндік береді (мысалы, Vug-Brown фирмасының DSP101).

Классикалық құрылым мысалында тізбектей жақындаудың АСТ құру және жұмыс істеу принциптерін қарастырайық (сурет. 9а) үш негізгі тораптан тұратын 4-разрядты түрлендіргіш: компаратордан, тізбекті жақындау тіркелімінен (ТЖР) және сат.

«Іске қосу» командасын бергеннен кейін, бірінші тактілік импульс келген кезде ӨКП-ның кірісіне оның шкаласының жартысына тең (4-разрядты сат үшін бұл $1000_2 = 8_{10}$) кодты мәжбүрлеп қояды. Осының арқасында САТ шығысындағы U_{oc} кернеуі (сурет. 9б)



Сурет 1.13 - Тізбектей жақындаудың АСТ-нің құрылымдық сызбасы мен уақытша диаграммалары

$U_{1р} = 23h$.

мұнда h - кіші разряд бірлігіне (ЕМР) сәйкес келетін сат шығу кернеуінің кванты. Бұл шама түрлендірілетін сигналдардың ықтимал диапазонының жартысын құрайды. Егер кіріс кернеуі осы мөлшерден артық болса, онда компаратордың шығуында 1, Егер аз болса, онда 0 орнатылады. Бұл соңғы жағдайда басқару схемасы D3 үлкен разряды нөлдің күйіне кері ауыстырылуы тиіс. Одан кейін тікелей қалдық

Ушығ. - d3 23 h

Тізбектей жақындау тіркелімінде төрт ұқсас теңестіру қадамынан кейін екілік сан көрсетіледі, одан сандық-аналогтық түрлендіруден кейін $U_{вх}$ сәйкес кернеу 1 ЕМР дейінгі дәлдікпен алынады. Шығыс саны N желісі бойынша параллель екілік код түрінде ТЖР-дан есептелуі мүмкін. Сонымен қатар, компаратордың шығысындағы түрлендіру процесінде 96 суреттен көрініп тұрғандай, реттік код түрінде шығу саны үлкен разрядтармен алға шығады.

Осы типті АСТ-ның тез әрекет етуі 0,5 ЕМР-дан аспайтын қателігі бар белгіленген мәнге дейін $t_{уст}$ САП орнату уақытының, t_k компараторын ауыстырып қосу уақытының және t_3 тізбектей жақындау тіркелімінде сигналдың таралуын кідіртудің сомасымен анықталады. $t_k + t_3$ сомасы тұрақты шамада болып табылады, ал $t_{уст}$ разряд салмағының азаюымен азаяды. Демек, төменгі разрядтарды анықтау үшін жоғары тактикалық жиілік қолданылуы мүмкін. $f_{такт}$ күтпеген вариация кезінде $t_{пр}$ түрлендіру уақытының 40% - ға азаюы мүмкін. Ол үшін АСТ құрамына контроллер қосылуы мүмкін.

Таңдау-сақтау құрылғысының жұмыс істеу кезінде апертуралық уақыт түрлендірудің басталуы мен нақты аяқталуы арасындағы уақытқа тең, ол тізбекті есептегі АСТ сияқты, мәні кіріс сигналына байланысты, яғни айнымалы болып табылады. Бұл ретте пайда болатын апертуралық қателіктер де сызықсыз сипатқа ие. Сондықтан тізбектей жақындаудың АСТ-ын тиімді пайдалану үшін, оның кірісі мен түрлендірілетін сигналдың көзі арасында ТСҚ қосу керек. Қазіргі уақытта шығарылатын АСТ-ның (мысалы, 12-биттік MAX191, 16-биттік AD7882 және т.б.), АСТ-ны іске қосу сигналымен басқарылатын таңдау-сақтау құрылғысының немесе жиі қадағалаудың құрылғысы (track-hold) болады. Таңдау-сақтау құрылғысы тек сигналды түрлендіру кезінде ғана сақтау режиміне ауысып, үнемі таңдау режимінде орналасқандығымен ерекшеленеді [8].

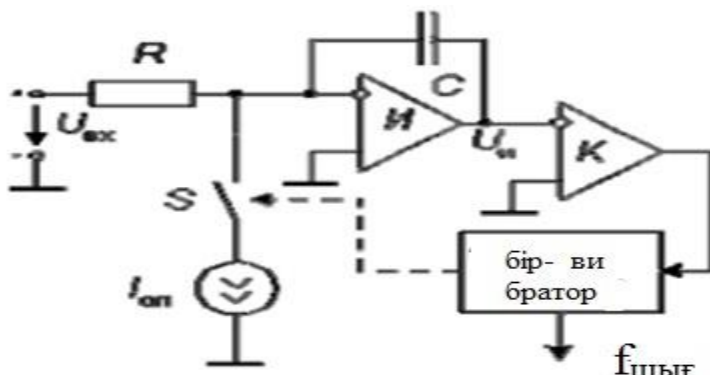
1.6.3 Интеграцияланған АСТ

Жоғарыда қарастырылған тізбектелген АСТ-ның кемшілігі түрлендіру нәтижелерінің бөгеуілге төзімділігінің төмендігі болып табылады. Шынында да, кіріс кернеуінің жылдам мәнін таңдау, бөгеуілдердің жылдам мәні түрінде қосылатын болады. Кейін таңдаулардың реттілігін сандық өңдеу кезінде бұл құрамдауыш басылуы мүмкін, алайда бұл уақыт пен есептеу ресурстары талап етіледі. Төменде қарастырылған АСТ-да кіріс сигналы үздіксіз немесе белгілі бір уақыт аралығында интегралданады, оның ұзақтығы әдетте бөгеуілдің еселік кезеңіне таңдалады. Бұл көптеген жағдайларда қайта құру кезеңінде бөгеуілді басуға мүмкіндік береді. Бұл үшін интегралдаушы АСТ-ның төмен жылдамдығын байқауға болады [9].

1.6.4 Кернеу-жиілік түрлендіргіштер

Кернеу-жиілік түрлендіргіштерінің негізінде (КЖТ) арзан түрлендірудің салыстырмалы жоғары дәлдігін қамтамасыз ететін интегралдаушы АСТ салынуы мүмкін. КЖТ бірнеше түрі бар. Ең көп қолдану берілген шығу импульс ұзақтығымен КЖТ тапты. Мұндай КЖТ-нің құрылымдық сұлбасы 17-суретте келтірілген. Осы сұлба бойынша VFC-32 ИМС салынды (отандық аналогы - 1108ПП1).

КЖТ келесі түрде жұмыс істейді. Оң кіріс сигналының әсерінен И интегратор шығысындағы кернеу азаяды. Бұл жағдайда кілт бұзылған болып табылады. Кернеу нөлге дейін төмендеген кезде, компаратор ауысады. Бір дірілдеткіш кілтті басқаратын тұрақты ұзақтығы импульсін қалыптастырады. Бұл импульстердің жүйелілігі КЖТ шығу сигналы болып табылады. Кілттер тұйықталады және T_i интегратордың шығыс кернеуінің ұлғаюын тудыра отырып, интегратордың кірсіне түседі. Бұдан әрі сипатталған процесс қайта қайталанады.



Сурет 1.16 - КЖТ-дің құрылымдық сызбасы

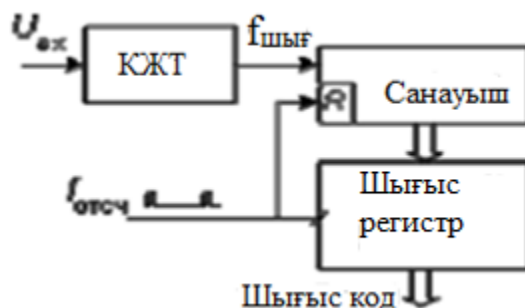
$I_{он}$ ток импульстері $U_{вх}$ кіріс кернеуінен туындайтын токты теңестіреді. Белгіленген режимде

$$-\frac{1}{RC} \int_0^T U_{вх} t(dt) + \frac{1}{C} I_{он} dt = 0 \quad (13)$$

Осылай сипатталады

$$f = \frac{1}{T} = \frac{U_{ВХСР}}{RI_{он}T_N} \quad (14)$$

мұнда - Тпериодтегі кіріс кернеуінің орташа мәні. (14) өрнегі түрлендірудің дәлдігі $I_{оп}$ тірек тогын орнату дәлдігімен, $Tи$ бірлік вибраторының импульс ұзақтығын ұстау дәлдігімен, сондай-ақ R резисторының дәлдігімен анықталатынын көрсетеді. Интегратор конденсаторының сыйымдылығы КЖТ жиілігіне әсер етпейді [3].



Сурет 1.17- КЖТ негізіндегі АСТ-тің блок-сызбасы

Осылайша, КЖТ кіріс кернеуін біртұтас кодқа түрлендіреді. Оны екілік позицияға түрлендіру үшін есептеуішті пайдалануға болады. КЖТ базасындағы интегралдаушы АСТ сұлбасы 18 - суретте келтірілген. Екілік есептеуіш $T_{отсч} = 1/f_{отсч}$ кезеңінде КЖТ-дан келіп түскен импульстер санын есептейді, есептегіштің ішіндегісін шығыс регистрлеуші енгізеді. Осыдан кейін есептегіштің нөлге айналады. $T_{отсч}$ уақытында есептегішпен есептелген n импульстер саны,

$$n = \frac{T_{отсч}}{T_N} \frac{U_{ВХСР}}{RI_{он}} \quad (15)$$

Мұнда $U_{ВХ.ср} - T_{отсч}$ барықпериодтегі кіріс кернеуінің орташа мәні.

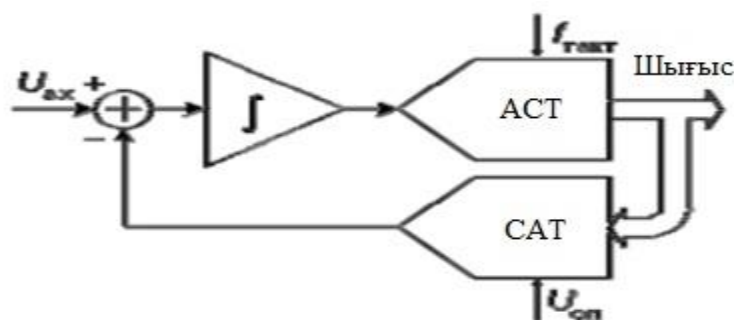
Егер D-триггер жиілігінің тұрақты импульстерімен такталатын импульстерді қосса, КЖТ дәлдігін айтарлықтай жоғарылатуға болады. Бұған көз жеткізу қиын емес, (17 суретте көрсетілгендей) бұл жағдайда КЖТ бір биттік сигма-дельта модуляторға айналады.

1.7 Сигма-дельта АСТ

Көп активті интегралдаудың АСТ бірқатар кемшіліктері бар. Біріншіден, интегратор орындайтын операциялық күшейткіштің өтпелі статикалық сипаттамасының сызықтығы жоғары шешімді АСТ түрлендіру сипаттамасының интегралды сызықтығына елеулі әсер етеді. Бұл фактордың әсерін азайту үшін

АСТ көп актілі дайындайды. Мысалы, 13 биттік AD7550 төрт тактіге түрлендіруді орындайды. Бұл АСТ-ның басқа кемшілігі кіріс сигналын интегралдау түрлендіру циклінде шамамен үшінші бөлікті ғана алатын жағдай болып табылады. Циклдің үштен екісі түрлендіргіш кіріс сигналын қабылдамайды. Бұл интегралдаушы АСТ бөгеуілге келтіретін қасиеттерін нашарлатады. Үшіншіден, көп активті интегралдаудың АСТ жоғары сапалы диэлектригі бар сыртқы резисторлар мен конденсаторлардың өте көп санымен жабдықталуы тиіс, бұл платада түрлендіргіш атқаратын орынды едәуір арттырады және соның салдарынан бөгеуілдердің әсерін күшейтеді [10].

Бұл кемшіліктер көбіне АСТ сигма-дельта конструкциясында жойылды (бұрынғы әдебиетте бұл түрлендіргіштер теңдестірілген немесе зарядтардың балансы бар АСТ деп аталды). Бұл түрлендіргіштер өз атымен екі блоктың: сумматордың (операцияның белгіленуі - Σ) және интегратордың (операцияның белгіленуі - Δ) болуы міндетті. Принциптерінің бірі салынған мұндай түрлендіргіштерде азайтуға мүмкіндік беретін қателік, ал ұлғайтуға рұқсат беретін қабілеті - бұл орташаландыру өлшеу нәтижелерін үлкен уақыт интервалында.



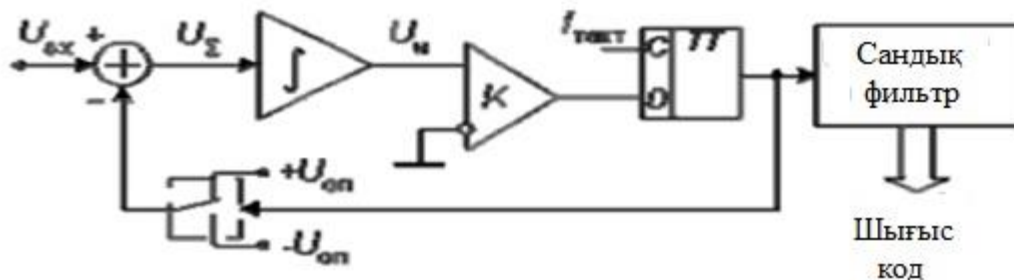
Сурет 1.14 - Сигма-модулятордың құрылымдық сызбасы

АСТ негізгі түйіндері-сигма-дельта модулятор және сандық сүзгі. Бірінші ретті модулятордың n-разрядты сигма-дельта схемасы 14-суретте келтірілген. Бұл схеманың жұмысы $U_{вх}(t)$ кіріс сигналынан схема жұмысының алдыңғы тактісінде алынған сат шығысындағы сигналдың шамасын азайтуға негізделген. Алынған айырмашылық интегралданады, содан кейін жоғары емес разрядтық параллель АСТ кодына айналады. Кодтардың тізбегі төменгі жиіліктердің сандық сүзгісіне түседі.

Модулятор тәртібі оның схемасындағы интеграторлар мен сумматорлардың санымен анықталады [11-15].

N-ретті Сигма-дельта модуляторларында сумматор N мен интегратор N болады және бірінші ретті модуляторларға қарағанда есептеу жиілігі кезінде сигнал/шудың қатынасын қамтамасыз етеді. Жоғары ретті сигма-дельта

модуляторларының мысалдары-жетінші ретті бір арналы AD7720 және бесінші ретті екі арналы ADMOD79 көрсетілген.

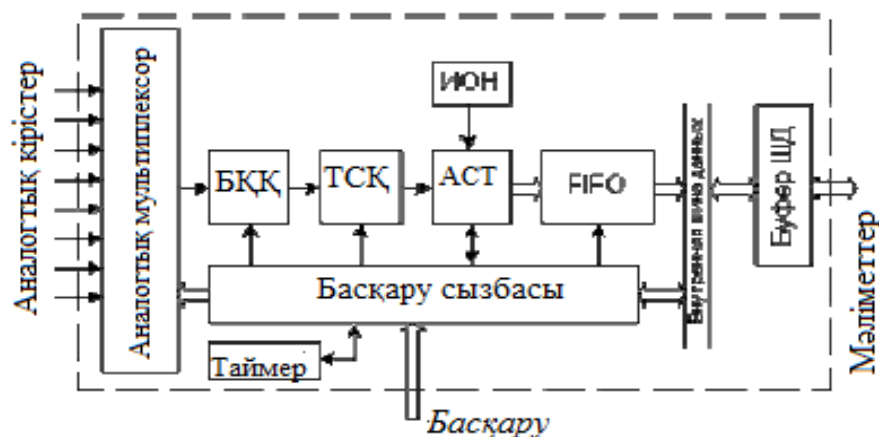


Сурет 1.15 - Сигма-дельта АСТ-дің құрылымдық сызбасы

ИМС құрамында ең кең таралған бірбитті сигма-дельта модуляторлар қолданылады, онда АСТ ретінде компаратор, ал САТ ретінде Аналогты комутатор қолданылады (15сурет) [20].

1.8 Деректерді жинау жүйелері және микроконверторлар

АСТ біртіндеп күрделенуі, көп арналы АСТ, іріктеме-сақтау құрылғысымен салынған АСТ, күрделі сандық бөлігі бар АСТ-тің пайда болуы қазір көптеген датчиктерден түсетін сигналдардың сандық кодына түрлендіруді және оларды микроЭВМға беруді қамтамасыз ететін деректерді жинаудың аяқталған бір кристалды жүйесінің болуына әкелді. Деректерді жинаудың дамыған жүйесінің блок-сызбасы 18 - суретте көрсетілген.



Сурет 1.18 - Деректерді жинау жүйесінің блок-сызбасы

Жүйенің негізін АСТ, әдетте тізбектей жақындаудың АСТ құрайды. Деректерді жинау жүйесін құру үшін қажетті ИМС корпустарының санын азайту үшін схемаға ТСҚ және тірек кернеуінің көзі кіріктірілген. Кіріс аналогтық сигналдардың бірнеше көздеріне қосылу үшін аналогтық мультиплексор қолданылады. Басты процессордың үзілу жиілігін қысқарту үшін кейбір деректер жинау жүйелері FIFO-first input-first output (бірінші кірген-бірінші шыққан) кері дүкенді есте сақтау құрылғысымен қамтамасыз етіледі. Жүйеге кіретін БҚҚ өлшеуіш күшейткіші басқару схемасынан команда бойынша өзінің күшейту коэффициентін өзгертеді. Бұл түрлі кірістерден аналогтық сигналдардың ауқымын теңестіруге мүмкіндік береді [10].

Басқару схемасы басты процессордан жұмыс командаларының блогы жүктелетін жедел есте сақтау құрылғысын (ЕСҚ) қамтуы мүмкін. Бұл командалар қандай операциялық режимдерді пайдалану, қандай кіріс арналарының бірі бір сымды болуы тиіс, ал дифференциалды жұптардың пайда болуымен бірігуі, әр арна үшін іріктеуді қаншалықты жиі және қандай тәртіппен жүргізу қажет екендігі туралы мәліметтерден тұрады. Деректерді жинау жүйесіне енгізілген сандық таймер АСТ түрлендіру қарқынын анықтайды.

1.9 АСТ интерфейстері

Аналогты-сандық түрлендіргіштің маңызды бөлігі сандық интерфейс, яғни АСТ сандық сигналдарды қабылдағыштармен байланысын қамтамасыз ететін сұлбаларды құрайды. Сандық интерфейсстің құрылымы АСТ шығыс кодының қабылдағышына, микропроцессорға, микроконтроллерге немесе сигналдардың сандық процессорына қосылу тәсілін анықтайды. Сандық интерфейсстің

қасиеттері АСТ түрлендіру жиілігінің жоғарғы шегінің деңгейіне тікелей әсер етеді [17].

АСТ процессор үшін жад ұяшықтарының бірі болып табылатын АСТ процессормен байланыс әдісін жиі қолданады. Бұл ретте АСТ адрестік кірулердің қажетті саны, адресті дешифраторы болады, тікелей адрестік шинаға және процессор деректерінің шинасына қосылады. Ол үшін міндетті түрде үш күйдегі демалыс каскадтары болуы керек.

Бағдарламалық түйіндесу деп аталатын микропроцессорлары бар АСТ-ның бірлескен жұмысының басқа талабы ЭЕМ және АСТ кіретін кез келген жүйелер үшін ортақ болып табылады. АСТ-ны процессорлармен бағдарламалық ұштастырудың бірнеше жолы бар. Олардың негізгілерін қарастырайық.

Түрлендіру сигналын тексеру. Бұл әдіс «іске қосу» түрлендіруді бастау командасы таймерден АСТ-ға беріледі. Процессор АСТ-дан «дайын» сигналын күту циклінде болады, содан кейін циклден шығады, АСТ-мен деректерді оқиды және оларға сәйкес келесі түрлендіруге немесе негізгі бағдарламаны орындауға кіріседі, содан кейін тағы да күту цикліне кіреді. Мұнда АСТ (master) жетекші құрылғы, (slave) жетекші процессор рөлінде болады. Бұл әдіс қосымша аппаратураны талап етпейді, бірақ процессор тым жүктелмеген жүйелерде ғана жарамды, яғни АСТ-дан деректерді өңдеу ұзақтығы АСТ түрлендіру уақытынан аз. Көрсетілген әдіс АСТ өнімділігін пайдалануға мүмкіндік береді.

Егер АСТ-дан деректерді өңдеу ұзақтығы АСТ түрлендіру уақытынан көп болса, «іске қосу» сигналы процессордан түсуімен ерекшеленетін осы тәсілдің нұсқасын қолдануға болады. Процессор деректерді өңдеудің негізгі бағдарламасын орындайды, содан кейін АСТ-мен деректерді оқиды және оны қайтадан іске қосады. Бұл жағдайда процессор жетекші құрылғы, АСТ - жетекші рөлінде әрекет етеді.

Қарапайым үзіліс. «Бастау» командасын беріп, процессор негізгі бағдарлама бойынша жұмысын жалғастырады. Түрлендіруді аяқтағаннан кейін үзіліс сигналы қалыптасады, ол есептеу процессорында үзіледі және ұзу сигналын жіберген шеткі аспапты іздеу процедурасын қамтиды. Бұл процедура барлық перифериялық құрылғыларды қажет болғанша іріктеуден өтеді. Бұл тәсілдің артықшылығы алдыңғысымен салыстырғанда, пайдаланылатын АСТ баяу жұмыс істесе, сол уақытта көп түрлендірулерде көрінеді. Егер АСТ тез әрекет ететін болса, онда бұл жұмыс алдыңғы әдіс баяу болуы мүмкін, өйткені үзуді өңдеу айтарлықтай уақыт талап етіледі.

Векторлық үзу. Бұл әдіс алдыңғы қатардан ерекшеленеді, үзу сигналымен бірге осы АСТ-қа жүгіну бағдарламасының мекенжайы де жіберіледі. Демек, барлық перифериялық құралдарды қайта терудің қажеті жоқ [18].

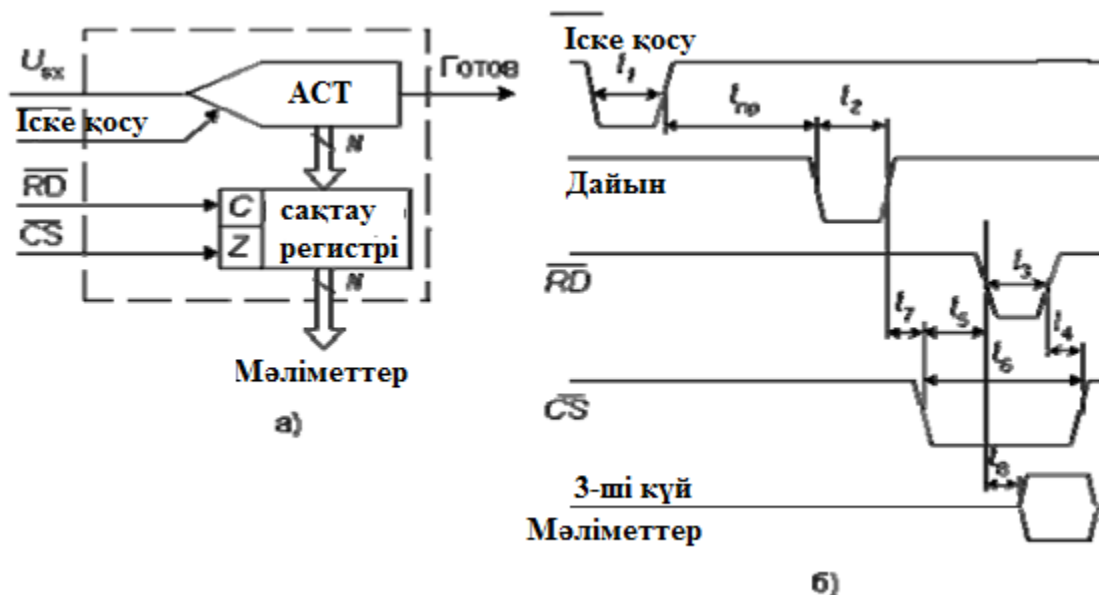
Жадқа тікелей кіру. Бұл жерде үзу қолданылады, бірақ алдыңғы екі тәсілге қарағанда, үзу жүйесі бойынша басқару процессордың регистрлерін айналып өтіп, жадқа түрлендіру деректерін қайта жазуды жүргізетін арнайы интерфейске беріледі. Бұл үзу ұзақтығын бір тактіге дейін қысқартуға мүмкіндік береді. Жад

ұяшықтарының нөмірлері интерфейстің адрестік тіркелімінде сақталады. Бұл үшін ИМС тікелей жады контроллерлерін шығарады.

АСТ-дан сандық қабылдағышқа шығу сөзін жіберу тәсіліне байланысты шығу деректерінің тізбекті және параллельді интерфейстері бар түрлендіргіштер ажыратылады. Тізбекті интерфейстер параллельге қарағанда жәй жұмыс жасайды, бірақ ол сандық қабылдағышпен байланысты желінің едәуір аз санымен және шығару санын бірнеше есе қысқартуға мүмкіндік береді. Сондықтан, параллель интерфейс параллельді және тізбекті-параллель АСТ - да, ал тізбекті-интегралдаушы АСТ-да қолданылады. Тізбекті жақындаудың АСТ-да параллель (мысалы, 1108ПВ2), сондай-ақ тізбекті (мысалы, AD7893) интерфейстер қолданылады. Кейбір тізбекті жақындаудың АСТ (мысалы, AD7892) екі типті интерфейстері болады [19].

- Шығыс деректерінің параллель интерфейсі бар АСТ. Параллель АСТ және бастапқы модельдердің түрлендіргіштеріне тән қарапайым жағдайларда интерфейс N-биттік сақтау регистрінің көмегімен жүзеге асырылады. Мұнда N-АСТ разрядтылығы. АСТ уақытша диаграммалар жұмыс интерфейс және функционалдық схемасы 20 суретте ұсынылған.
- «Іске қосу» сигналының өспелі фронтында түрлендіргіштің ТСК сақтау режиміне өтеді және түрлендіру процесі басталады. Қайта құру аяқталған кезде, «дайын» шығыс сызығына импульс шығарылады, бұл АСТ шығыс тіркелімінде жаңа нәтиже болатынын көрсетеді. «CS» (кристалды таңдау) және «RD» (оқу) сигналдары қабылдағышқа жіберу үшін деректер шығаруды басқарады [21].
- Көпразрядты АСТ ($N > 8$) байланысын жеңілдету үшін 8-разрядты микропроцессоры немесе кейбір ИМС-да микроконтроллері (мысалы, MAX167) шығатын сөзді байт бойынша беру іске асырылды. Егер шығару режимін басқаратын NBEN сигналы төмен деңгейде болса, онда шығыстық сөздің үлкен биттері оларға сәйкес тұжырымдарға түседі (DO8...DO11 12-разрядты АСТ үшін). Олай болмаған жағдайда олар кіші байтқа (DO0...DO3 12-разрядтық АСТ үшін) сәйкес келетін қорытындыларға беріледі.

Шығыс деректерінің тізбекті интерфейсі бар АСТ. 12 биттік MAX176 немесе 14 биттік MAX121 сияқты қарапайым сандық бөлікпен жабдықталған тізбектей жақындаудың АСТ-да шығу шамасы 4.1 көрсетілгендей компаратордан немесе тізбектей жақындау тіркелімінен (ТЖР) тікелей тізбекті код түрінде есептелуі мүмкін. - 21 суретте (а) интерфейстің функционалдық сұлбасы және (б) оның жұмысының уақытша диаграммалары ұсынылған.



Сурет 1.19 - Параллельді интерфейсі бар АСТ

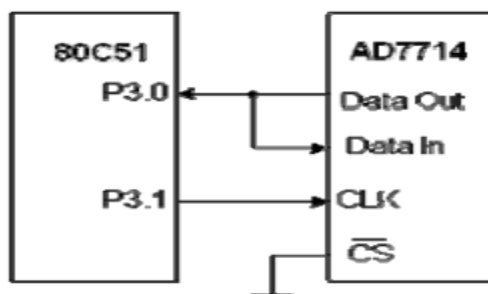
Мұнда SPI-интерфейсті іске асыратын схема келтірілген. Жетекші процессор (master). Ол қиықты АСТ-ның «іске қосу» кіруіне беру арқылы түрлендіру процесін бастауға бастамашылық етеді. Процессордың тактілік шығысынан АСТ синхрокірісіне тактілік импульстер тізбегі келіп түседі. Екінші тактіден бастап, іске қосқаннан кейін осы АСТ шығуында үлкен биттер мен алға шығатын сөздің тізбекті коды қалыптасады. Бұл сигнал MISO (master - input, slave - output) процессордың кірісіне түседі [23].

Қарапайым интерфейс «түрлендіру – деректерді беру» циклінің ең аз уақытын қамтамасыз етеді. Алайда, ол екі кемшілікке ие. Біріншіден, АСТ шығыс каскадтарын түрлендіру кезінде ауыстырып қосу импульстік кедергіні түрлендіргіштің аналогтық бөлігіне әкеледі, бұл сигнал/шу қатынасының азаюын туғызады (мысалы, АСТ AD7893 үшін түрлендіргіш кезінде деректерді беру кезіндегі шудың орташа квадраттық мәні түрлендіруден кейін деректерді оқығаннан үш есе көп). Екіншіден, егер АСТ түрлендірудің көп уақыты болса, онда процессордан ақпаратты қабылдаумен есептеу циклінің елеулі бөлігін алады. Осы себептер бойынша шығыс деректерін жүйелі түрде беретін АСТ-ның қазіргі заманғы модельдері ТЖР-дан түрлендіру нәтижесі жүктелетін шығыстық жылжу регистрімен жаракталады. Мұндай интерфейсстің уақытша диаграммалары 22 суретте көрсетілген. «Іске қосу» сигналының артқы фронты бойынша ТСК сақтау режиміне өтеді және түрлендіру басталады. Бұл ретте АСТ тиісті шықпасында «бос емес» сигналы қойылады. Түрлендіру аяқталғаннан кейін деректерді беру басталады. Процессор АСТ синхроводына CLK синхроимпульс тізбегін береді. Егер $8 < N \leq 16$ болса, онда синхроимпульс саны әдетте 16 құрайды. $N < 16$ кезінде басында жоқ үлкен биттердің орнына нөлдер беріледі, содан кейін шығу сөзі үлкен биттермен алға қарай беріледі. Деректер

берілгенге дейін және берілгеннен кейін АСТ шығыс желісі жоғары импедансты күйде болады. «Түрлендіру – деректерді беру» циклының ұзақтығы қарапайым интерфейспен салыстырғанда айтарлықтай емес, себебі синхро импульстер үлкен жиілікке ие болуы мүмкін. Мысалы, AD7896 тізбекті жақындаудың 12-разрядты АСТ үшін санауыштар арасындағы ең аз интервал 10 мкс құрайды. Оның ішінде деректерді жүйелі түрде оқу тек 1,6 мкс синхросигнал жиілігі 10 МГц болғандағанаалады.

1.10 Сигма-дельта АСТ тізбекті интерфейсi

Процессорлары бар АСТ сигма-дельта интерфейсi аппараттық түрде өте қарапайым. Мысалы, 80C51 микроконтроллері бар 24-разрядты үш арналы АСТ AD7714 байланысы үшін қарапайым жағдайда тек екі сызық қажет (23 сурет) [25].



Сурет 1.20 - MCSSІ микроконтроллеріне сигма-дельта АСТ-дің қосылуы

АСТ бірнеше ішкі регистрлердің көмегімен басқарылады. Бұл: алмасу регистрі, режим регистрі, екі сүзгі регистрі, үш шкала нөл калибрлеу регистрі, үш толық шкала калибрлеу регистрі және деректер регистрі. Бұл регистрлерге деректер тізбекті интерфейс арқылы жазылады; осы интерфейс сондай-ақ көрсетілген регистрлердің деректерін оқуға мүмкіндік береді [27]. Кез келген тіркелімге кез келген жүгіну алмасу тіркеліміне жазу операциясынан басталуы тиіс. Қоректендіруді қосқаннан немесе АСТ тастағаннан кейін алмасу тіркеліміне жазбаларды күтеді. Осы тіркелімге жазылған деректер келесі операцияның түрін (оқу немесе жазу), сондай-ақ қай тіркелімге баратынын анықтайды. АСТ-мен микроконтроллердің өзара іс-қимыл бағдарламасы операциялардың келесі кезектілігін қамтиды:

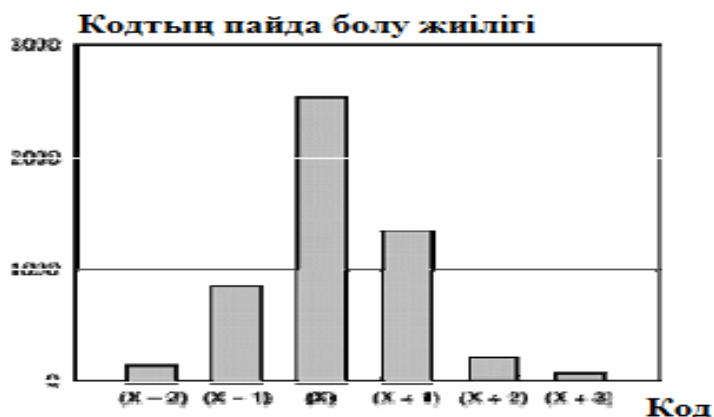
- Алмасу регистріне жазу: кіріс арнасы қойылады.
- Сүзгінің жоғарғы регистріне жазу: 4 үлкен бит сүзгі сөзі орнатылады, сондай-ақ биполярлы/униполярлы режим және шығу сөзінің ұзындығы орнатылады.

- Сүзгінің төменгі регистріне жазу: 8 кіші бит сүзгі сөздері орнатылады.
- Режим регистріне жазу: күшейту коэффициенті белгіленеді, автокалибрлеу басталады.
- Деректер тіркелімінде түрлендірудің жаңа нәтижесінің болуын көрсететін сигнал сұралады.
- Деректер регистрінен нәтижені оқу.
- Берілген сан есептелгенге дейін 5 және 6 іс-қимылдарының циклдық қайталануы.

1.11 АСТ-дағы шулар

Расында, қайталанатын түрлендіргіш сигналдың тұрақты шығысы бірдей шығыс кодтың мәнін беруі қажет. Бірақ та, соңынан еретін шудан құтылу АСТ сұлбасында мүмкін емес, кейбір диапазондарда шығыс кодта берілген шығыс кернеу [29].

Егер де АСТ-тің шығысына тұрақты сигнал берсе және түрленудің үлкен санын жазатын болса, нәтижесінде кодтардың кейбір бөлінуі жүреді. Егер Гаусс таралуын алынған гистограммаға үйлестіретін болса, онда стандартты ауытқу АСТ-тің кіріс шуының орташа квадраттық мәніне шамамен эквивалентті болады. Мысал ретінде, 1.21 суретте AD7884 16-разрядты екітакттілі тізбектей-параллель АСТ-пен орындалған тұрақты кіріс сигналының 5000 түрленуінің нәтижесінің гистограммасы көрсетілген.



Сурет 1.21 - AD7884 АСТ түрленуінің нәтижесінің гистограммасы

+ 5 В диапазонындағы кіріс кернеу мүмкіндігінше кодтың орта бөлігіне жақынырақ орналастырылды. Гистограммадан көрініп тұрғандай, түрленудің

барлық нәтижелері алты кодқа бөлінген. Осы гистограммаға сәйкес келетін шудың орташа квадраттық мәні 120 мкВ-қа тең.

1.3 - кестеде аналогтық-сандық түрлендіргіштер мен мәліметтерді жинау жүйесінің кейбір маңызды сипаттамалары көрсетілген [24-30].

Кесте 1.3 – АСТ анықтымасы

Аталуы	Разряд- тылығы	Арна саны	Ішкі ТСК	Түрлендіру уақыты. мкс (түрлендіру жиілігі, МГц)	Интер- фейс	Ішкі ИО	Кернеу,	Қолдану қуат мВт	Қолдану ылуы
АСТ-ның кең қолданылуы									

572ПВ1	12	1	Жоқ	110	Парал.	Жоқ	+/- 5:15	120	Ішкі ББ қажет
1108ПВ 2	12	1	Жоқ	2	Парал.	Бар	5 ,-6	130 0	Тізбекті жақындау ТЖ
МАХ11 4	8	4	Бар	0,66	Парал.	Жоқ	+/-5	40	Екідеңгейлі Кезекті. режим - 5 мкВт
AD7893	12	1	Бар	6	Тібек.	Жоқ	+/-5	30	8-шығыс корпус. ТЖ
AD7882	16	1	Бар	2,5	Парал.	Бар	+/- 5	200	Автокалибровка, кезек. режим - 1 мВт
МАХ18 6	12	8	Бар	7,5	Тібек.	Бар	5, +/- 5	7,5	ТЖ. Кезек. режим - 10 мкВт
Микроқуатты АСТ									
572ПВ3	8	1	Жоқ	7,5	Парал.	Жоқ	5	20	

MAX1110	8	8	Бар	16	Тібек.	Бар	2,7:5	0,7	ТЖ. Кезек. режим - 5 мкВт
AD7888	12	8	Бар	5	Тібек.	Бар	2,7:5	2	ТЖ. Кезек. режим - 3 мкВт
MAX195	16	1	Бар	9,4	Тібек.	Жоқ	+/- 5	80	Автокалибровка, кезек. режим - 0,1 мВт
Жоғарғы жылдамдықтағы АСТ									
1107PIB4	8	1	Жоқ	0,03 (100)	Парал.	Жоқ	+/-5, -5,2	3500	Параллельді
AD9054	8	1	Бар	(200)	Парал.	Бар	5	500	Параллельді, ТТЛ шығыс деңгейі
MAX104	8	1	Бар	(1000)	Парал.	Жоқ	+/- 5	3500	Параллельді, ЭСЛ шығыс деңгейі
AD9070	10	1	Бар	(100)	Парал.	Бар	-5	700	Екідеңгейлі, ЭСЛ шығыс деңгейі
AD9224	12	1	Бар	(40)	Парал.	Бар	5	390	Төртдеңгейлі
AD9240	14	1	Бар	(10)	Парал.	Бар	5	280	Төртдеңгейлі ТТЛ, КМОП шығыс деңгейі
Интегралдаушы АСТ									
572PIB5	3,5 ₁₀	1	-	12 пр/с	Парал.	Бар	9	15	Жетісигментті басқару ЖКИ
MAX132	18	1	-	100 пр/с	Тібек.	Жоқ	5	0,6	Көптактлі интегралдау
AD7715	16	1	-	20...500 пр/с	Тібек.	Жоқ	3 н/е 5	3	Сигма-дельта, автокалибрлеу. Күшейткіш программаланған күшейткіш.

									Сыз.емес 0,0015% көп емес
AD7714	24	3	-	10...1000 пр/с	Тібек.	Жоқ	3 н/е 5	2	Сигма-дельта, автокалибрлеу. Күшейткіш программаланған күшейткіш. Сыз.емес 0,0015% көп емес
AD7722	16	1	Жоқ	(0,22)	Тібек.	Бар	5	375	Сигма-дельта, автокалибрлеу, жыламдықты
LTC2400	24	1	-	-	Тібек.	Жоқ	2,7...5, 5	1	Сигма-дельта 8 шықпалы. Корпуста. Сызықты емес 0,0004% көп емес. 8арналы. вариант - LTC2408
AD1555	24	1	Жоқ	(0,256)	Тібек.	Жоқ	+/-5	90	Сигма-дельта модулятор 4-ші ретте. Динамикалық диапазон 121 дБ. Сандық сүзгі - AD1556 арналған
ADS121 1	24	4	-	1000 пр/с	Тібек.	Жоқ	+/-5	45	Сигма-дельта, автокалибрлеу. Күшейткіш программаланған күшейткіш.

1.12 АСТ параметрлері мен сипаттамалары

АСТ негізгі параметрлерін әр түрлі жүйеде ақпаратты өңдеу ортасына байланысты оны үш топқа бөлуге болады. Бірінші топ АСТ статикалық дәлдігін, екіншісі- динамикалық, үшіншісі-ішкі жұмыс шарттарын анықтайды [1-4].

Статикалық дәлдігін сипаттайтын параметрлері.

Кванттаудың қателігі-әдістемелік қателік, кванттаудың соңғы қадамымен шақырылған, ол әдетте кіші разрядтың $\pm \frac{1}{2}$ бірлігіне тең.

Нормалы жағдайдағы жалпы аппаратты қателік:

- нөлдік жылжыту қателігі;
- берілім коэффициентінің қателігі;
- ұзындық өлшеусіз;
- температуралық қателік;
- уақытша тұрақсыздық;
- біркелкілік;
- қайталама немесе прецизионды;
- қабілеттілікті рұқсат етуші.

Динамикалық дәлдікті сипаттайтын параметрлер.

- дискретизация жиілігі;
- түрлендіру уақыты;
- сұрыптау уақыты;
- беріліс коэффициентінің қателігі.

2. Қажетті құралдар

2.1 Bluetooth HC-05.

Bluetooth-модульге шолу HC-05 Arduino контроллері сымсыз байланысты қолдамайды және жиі қажет. Мысалы, Ардуинодағы роботты қашықтан басқару, ауа райы станциясынан Интернетке немесе үй серверіне деректерді жіберіп, бірнеше құрылғыларды бір-біріне қосады. Мұнда әртүрлі сымсыз технологияларды ұйымдастыру үшін құрылғыны әзірлеушілерге көптеген сыртқы модульдер: WiFi, GSM / GPRS, IR, Bluetooth, түрлі жиілік жолақтарында жұмыс істеу үшін радио модульдер көмектеседі. Bluetooth технологиясы бір-біріне жақын орналасқан екі құрылғы арасында деректерді тасымалдау үшін пайдаланылады және тікелей көріну қажет емес. Bluetooth технологиясы кеңжолақты интерференцияға жақсы қарсылықты қамтамасыз етеді, бұл бір уақытта бірнеше құрылғыға бір-біріне кедергі келтірместен бір-бірімен байланысуға мүмкіндік береді. Бұл технология телефондарда, планшеттерде, ноутбуктерде кеңінен қолданылады. Arduino құрылғыңыздың екі жақты Bluetooth байланысын планшет, ноутбук немесе басқа Bluetooth құрылғысымен ұйымдастырудың ең жақсы шешімдерінің бірі - Master (Bluetooth құрылғыларын іздеу және қосылуды бастау).

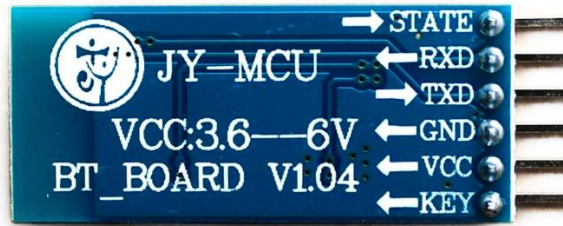
HC-05 модулінің техникалық сипаттамасы:

- Чип Bluetooth: HC-05(BC417143)
- Радиобайланыстың жиілік диапазоны: 2,4–2,48 ГГц
- Берілу қуаты: 0,25–2,5 мВт
- Сезімталдығы: –80 dBm
- Қорек көзінің кернеуі: 3,3–5 В
- Қолданылатын ток: 50 мА
- Қимыл радиусы: 10 метрге дейін
- Интерфейс: тізбекті порт
- Режимдер: master, slave
- Сақтау температурасы: –40...85 °С
- Жұмыс жасайтын температура диапазоны: –25...75 °С
- Өлшемдері: 27 x 13 x 2,2 мм

Қолданылуы

Датчикте 6 шықпа стандарты 2,54 мм бар:

- VCC — (қорек 3,6 – 6 В);
- GND — (жер).
- TXD, RXD — UART интерфейсі; +
- STATE — жағдай индикаторы;
- KEY — кіріс программалауға арналған контакт.



Сурет 2.1- Bluetooth шықпалары

Модуль АТ пәрмендерін сериялық порт арқылы жіберу арқылы бағдарламалау режимінде конфигурацияланған. Бағдарламалау режиміне кіру үшін, KEY байланысына жоғары деңгейлі сигнал жіберіңіз. Кейбір модульдерде KEY контакті жоқ және оның орнына EN контактісі:

- EN — қосу немесе ажырату;

3.Есептеу бөлімі

3.1 АСТ-ның параметрлерін есептеу

- m – сандық разряд, максималды кванттау санын анықтайтын АСТ $N_{\max}=2^m$;
- $U_{\text{оп}}$ – опорное кернеу;
- h – АСТ-дағы кванттау саны $h=U_{\text{оп}}/N_{\max}$ тең;
- δ_d – статистикалық дифференциалдық сызықтық емес АХ, САТ-те анықталған.

Динамикалық АСТ-ның параметрлері;

- $t_{\text{пр}}$ – Аналитикалық сигналдың іргелес үлгілері арасындағы ең аз уақытпен сипатталатын ADC конверсиялау уақыты;
- ν - АЦП динамикалық бұрмалануларын сипаттайтын дифференциалды белгісіздік, компараторлардың соңғы әрекет ету уақытына және оларды пайдалану сәтіне қатысты белгісіздікке байланысты олардың шығу кодын енгізеді. Диафрагманың қатесі;

- t_a – АЦП динамикалық бұрмалануларын сипаттайтын дифференциалды белгісіздік, компараторлардың соңғы әрекет ету уақытына және оларды пайдалану сәтіне қатысты белгісіздікке байланысты олардың шығу кодын енгізеді. Апертуралық қателік δ_a кеткен t_a шығыс сигналдың жылдамдығының өзгеруіне тәуелді $dU_{\text{вх}}/dt$

$$\delta_a = t_a \cdot dU_{\text{вх}}/dt. \quad (3.1)$$

Синусоидалық сигналға арналған

$$\delta_a = t_a \cdot U_m \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_c, \quad (3.2)$$

U_m – синусоидалық сигналдың амплитудасы, f_c – жиілігі.

$$f_c = 1/2^m \cdot \pi \cdot t_a.$$

АСТ-ның рұқсат етілетін мәні - АСТ шығысындағы кодының комбинацияларының максималды санының кері санағы:

$$R = \frac{1}{2^M} \quad (3.4).$$

Бұл параметр ADC қабылдай алатын ең аз кіріс деңгейін (толық амплитудалық сигналға қатысты) анықтайды. Дәлдік пен рұқсат екі тәуелсіз сипатта болады. Ажырым кіріс сигналының көрсетілген динамикалық ауқымын қамтамасыз ету маңызды болғанда шешуші рөл атқарады. Белгіленген дәлдікпен берілген деңгейде реттелетін мәнді ұстап тұру қажет болғанда, дәлдік шешуші болып табылады. Динамикалық диапазоны АСТ-ның (DR - Dinamic Range) ең жоғарғы таңдап алынатын деңгеймен төменгі деңгейдегі шығыс кернеулерінің қатынасын атайды және дБ өлшенеді.

$$DR = 20 \lg(2^M) \quad (3.5)$$

Бұл параметр АСТ таратуға қабілетті ақпараттың максималды көлемін анықтайды. Сонымен, 12-бит үшін АСТ ДД=72 дБ. Нақты АСТ сипаттамалары нақты құрылғылардың кемшіліктеріне байланысты мінсіз құрылғылардың ерекшеліктерінен ерекшеленеді. Нақты АСТ сипаттайтын кейбір параметрлерді қарастырайық. Сигнал-шу қатынасы (SNR - Signal to Noise Ratio) - кіріс синусоидалық сигналының rms мәнінің тұрақты компонентті қоспағанда, барлық басқа спектралды құрамдастардың жиынтығы ретінде іріктеу жиілігінің

жартысына дейін анықталатын шу шуына қатынасы. N-bit АСТ үшін децибелде көрсетілген SNR квантования шуылын генерациялайтын

$$\begin{aligned}
 SNR &= 20 \lg \frac{U_{FSR}}{2\sqrt{2}\sigma} = 10 \lg \frac{U_{FSR}^2}{\sigma^2} = 10 \lg \frac{U_{FSR}^2}{\frac{U_{FSB}^2}{12}} = 10 \lg \frac{1.5U_{FSR}^2}{\left(\frac{U_{FSR}}{2^N}\right)^2} = \\
 &= 10 \lg \left(1.5(2^N)^2\right) = 10 \lg 1.5 + 20N \lg 2 = 1.76 + 6.02N
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

мұнда N - АСТ биттік ені. Мәселен, 12-бит АСТ, SNR = 74 дБ үшін тамаша. Бұл мән бірдей АСТ динамикалық ауқымынан үлкенірек. Ең аз қабылданған сигнал шу деңгейінен үлкен болуы керек. Бұл формула тек квантинг шуылын ескереді және нақты АСТ да бар басқа шу көздерін ескермейді. Сондықтан нақты АСТ үшін SNR мәндері әдетте мінсіз қарағанда төмен. Нақты 12-биттік АСТ үшін әдеттегі SNR мәні 68-70 дБ құрайды.

Егер кіріс сигналы UFSR-дан аз болса, онда соңғы формула түзетілуі керек

$$SNR = 1.76 + 6.02N + K_{oc}
 \tag{3.7}$$

онда CBS - кіріс сигналының әлсіреуі, дБ-да көрсетілген. Осылайша, егер 12 биттік АСТ кіріс сигналы толық масштабтағы кернеудің жартысынан 10 есе аз амплитуда болса, то $K_{oc} = -20$ дБ и $SNR = 74$ дБ – 20 дБ = 54 дБ. Нақты SNR мәні АСТ биттерінің тиімді санын анықтау үшін пайдаланылуы мүмкін (ENOB - тиімді биттер саны). Ол формула бойынша анықталады

$$ENOB = \frac{SNR - 1.76 \text{ дБ} + K_{oc}}{6.02}
 \tag{3.8}$$

Бұл көрсеткіш нақты АСТ -ның нақты шешілуін сипаттауы мүмкін, осылайша CBS = -20 дБ сигналы үшін SNR = 68 дБ болатын 12-биттік АСТ шын мәнінде 7-биттік (ENOB = 7.68). ENOB мәні кіріс сигналының жиілігіне өте жоғары тәуелді. АСТ тиімді бит тереңдігі жиілікте азаяды.

3.2 АСТ-ның моделін электрондық программа арқылы жасау

Берілгені:

- АСТ-тің моделін жасау, кванттау дәрежесі мен уақытын қолдана отырып.
- Сандық сигналдан аналогты сигналды қалпына келтіру, АСТ-ның шығысынан алынған
- Шектік жиілікті табу, онда АСТ-ның ең аз қадамдары пайдаланылады

Шығыс мәндері:

Тірек кернеуі $U_{оп}=5$ В;

Сандық сыйымдылығы: $N=8$;

Дискретизацияның периоды: $T=0,01$.

1. Блоктармен АСТ тізбегін құрыңыз:

Gain - сигнал күшейту блогы;

Rounding function- сигналдың тұтас бірліктерге дөңгелектеу блогы;

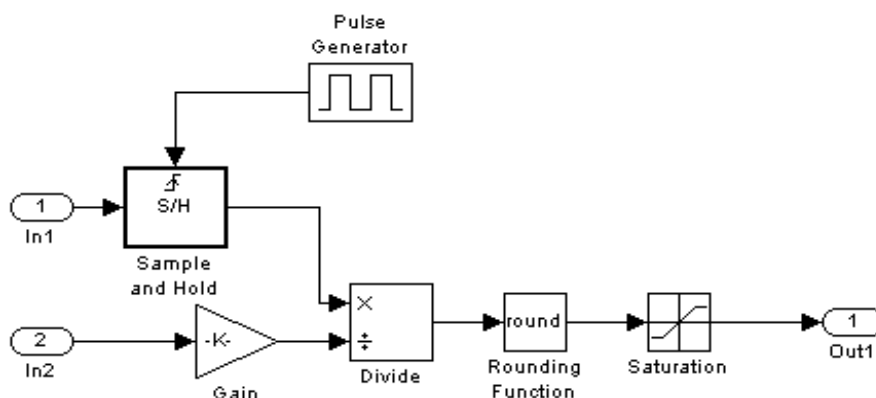
Sample and Hold- үлгі және ұстау құрылғысы. Сигналдың мәнін битке бекітеді;

Divide- блокты бөлу, көбейту;

Rounding function- тұтас бірліктерге дөңгелектеу блогы;

Pulse Generator - квадрат сағат генераторы;

Saturation - бұл сигналдың мөлшерін шектейтін сызықты емес элемент

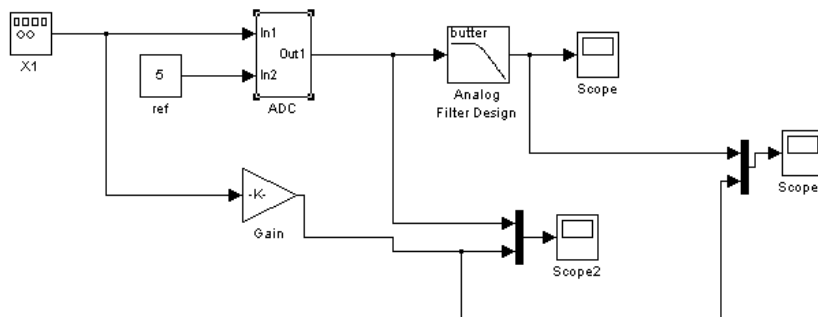


Сурет 3.2- АСТ-ның моделі.

Сонымен, АСТ моделі жұмыс істейді. Сынамаларды іріктеу сақтау құрылғысы тік бұрышты сигналдар генераторымен бірге шын мәнінде кіріс сигналының кіріс сигналын (кіріс 1) құрайды және сигнал мәнін сағат бойынша кешіктіреді. Генераторда кванттау жиілігі орнатылған. Ал кіріс 3-ге берілетін тірек кернеуі АСТ-тың дискреттеудің ең төменгі деңгейін белгілейді, өйткені кіріс сигналының мәндері оның биттік тереңдігіне байланысты АСТ ауқымына бөлінген тірек кернеуінің мәніне бөлінеді. Сондай-ақ, ең үлкен өзгеріс мәнін орнатады. Бөлуден кейін кіріс

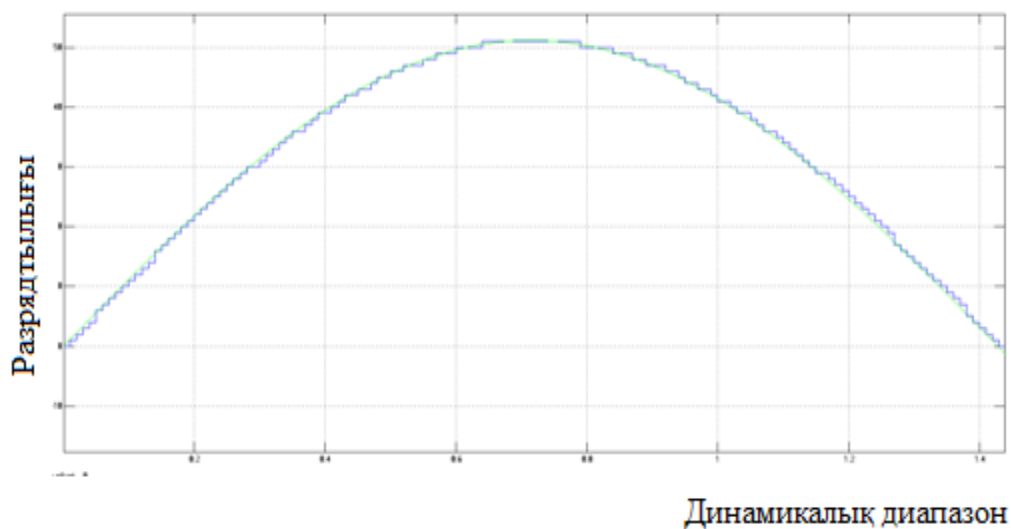
сигналы дөңгелектеніп, шығыс диапазонының шегіне өтеді, бұл да АСТ биттік еніне байланысты болады.

АСТ-тың өнімділігін тексеру үшін келесі модель жасалады:



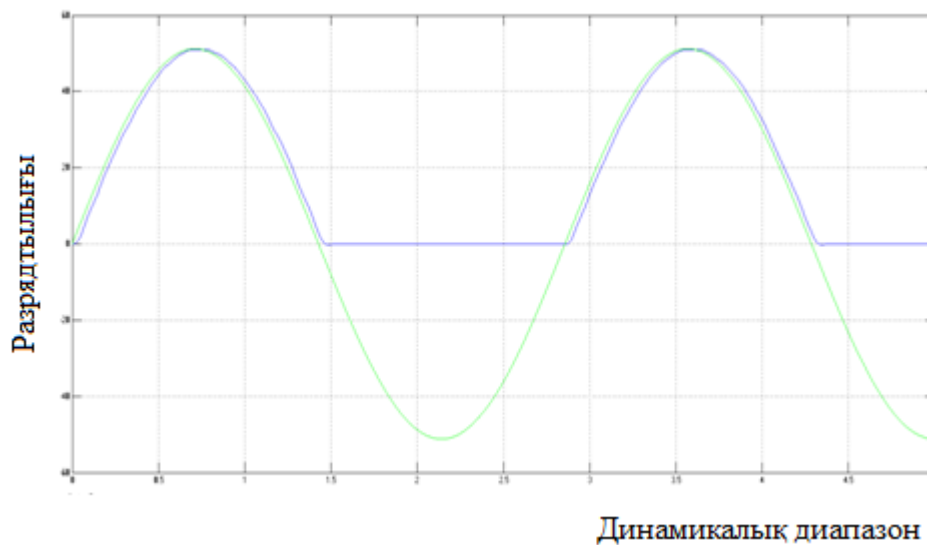
Сурет 3.3 - АСТ-тың өнімділігін тексеру сұлбасы

Синусоид енгізу кезінде енгізіледі, АСТ шығу кезінде біз сатылы сандық сигнал алады. Аналитикалық сигналды және АСТ арқылы өткен соң сигналды салыстыру үшін 3.3-суретте көрсетіледі.



Сурет 3.4 - Аналитикалық сигналды және АСТ арқылы өткен соң сигналды салыстыру сұлбасы

3.2. Сандық сүзгі арқылы АСТ-тен алынған аналогты сигналды қалпына келтіреміз. Кіру және қалпына келтірілген сигналдарды салыстыру 3.4-суретте:



Сурет 3.5 - Кіру және қалпына келтірілген сигналдарды салыстыру

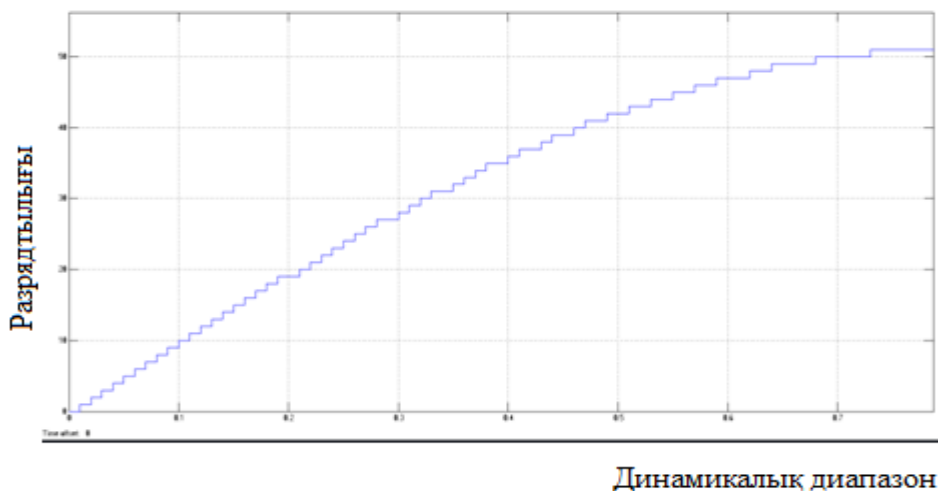
3.5-суретте көрсетілгендей, бұл графиктер ұқсас болғандықтан, фильтрдің сүзу уақытына байланысты шағын фазалық ауысым ғана бар. Сондай-ақ, нөлден төмен шығу сигналы мәндері жоқ, өйткені АСТ-ның шығысы шектегіш болып табылады, ол нөлден төмен мәндерді өткізбейді.

$$f \leq \delta / (2 * \pi * A * T);$$

$$\delta = U_{\text{оп}} / 2^N = 5 / 256 = 0.0195 = 19.5 \text{ (мВ)}$$

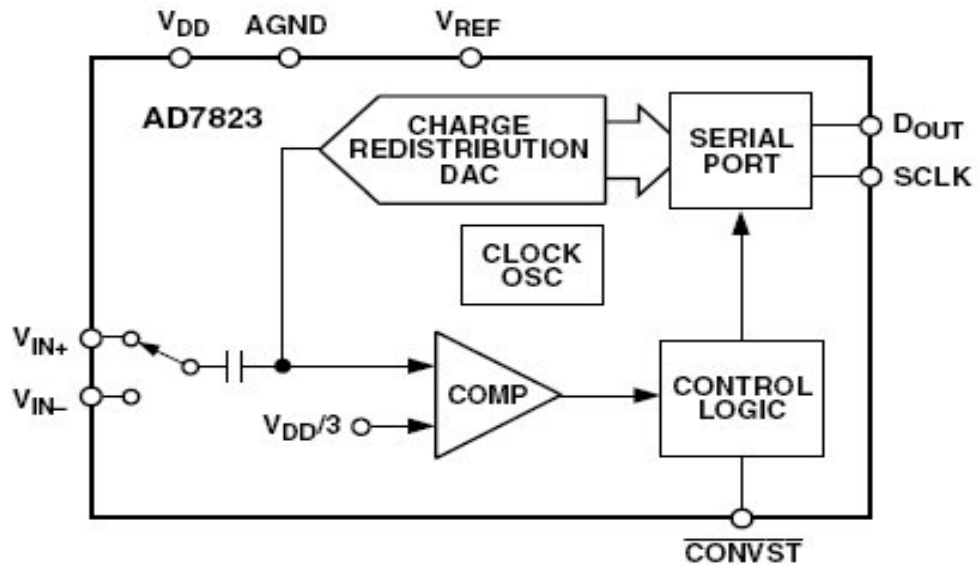
$$f = 0.0195 / (2 * 3.14 * 1 * 0.01) = 0.310 \text{ (Гц)}.$$

Осы жиілікті тексеру арқылы шығыс сигнал ретінде мәнін аламыз көреміз.



Сурет 3.6 - Нақты АСТ

AD7823 2.7 V ... 5,5 В, 5 МКМ, 8-БИТ АСТ ЖАҒДАЙЫНДА MICROSOIC/
DIP



Сурет 3.7 - АСТ-тің блок-сызбасы

Негізгі параметрлері төменде көрсетілген:

Рұқсат етілген,бит	8
Таңдау жиілігі(макс.),kSPS	200
Арналар,сан	1
Интерфейс	Serial
V_{IN} ,В	от 0 до 5.5
V_{REF}	Ext.
DNL (макс.),+/- LSB	0.5
INL (макс.),+/- LSB	0.5

SNR,дБ	48
THD,дБ	-70
Қуат көзі: AV _{DD} ,В	от 2.7 до 5.5
I _{CC} ,мА	3.5
P _D ,Вт	0.0175
T _A ,°С	от -40 до 125
Корпус	<u>MSOP-8SOIC-8</u>

Жалпы сипаттама AD7823 төмен қуатты тұтынумен және кернеуінің 2,7 В-ден 5,5 В-ға дейінгі жылдам жұмыс жасайтын, 8-биттік аналогты-цифрлық түрлендіргіші (АСТ). Құралда 4 мкс қарапайым түрлендіргіш уақыты бар, дәйекті аппроксимация АСТ_{hh} бар, біріктірілген іріктеу / сақтау жүйесі (UVH), сондай-ақ микроконтроллерлердің көптеген түрлеріне сәйкес жоғары жылдамдықтағы сериялық интерфейс. AD7823 толығымен пайдалану диапазоны температурасы -40 ° С пен + 125 ° С аралығында

Әрбір түрлендірудің соңында CONST (белсенді төмен) түрлендіруді бастау сигналының күйін таңдауды жүргізетін алгоритм көмегімен AD7823 қоректендіруді автоматты түрде ажырату режимінде жұмыс істей алады. Бұл режимде AD7823 түрлендіру аяқталғаннан кейін автоматты түрде ажыратылады және жаңа пре-білім беру циклінің басында қосылады. Бұл функция төмен түрлендіру жылдамдығы кезінде құрылғының қуат тұтынуын айтарлықтай қысқартады. AD7823, сондай-ақ, түрлендірулер арасындағы аралық Автоматты ажыратусыз жоғары жылдамдықты режимде жұмыс істей алады. Бұл режимде AD7823 түрлендіру уақыты типтік, 4 мкс құрайды. Максималды өткізу қабілеті микроконтроллердің тізбектей интерфейсін жылдамдығына байланысты. АЖ ені 0.3 дюйм 8-leadmini – DIP типті шағын көлемді пластикалық корпуста, сондай-ақ 8-lead SOIC және 8-leadmicro SOIC корпустарында шығарылады.

Маңызды ерекшеліктері:

- 4 мкс түрлендіру уақыты бар 8-разрядты АСТ
- 8-leadmicrosonic типті шағын корпус
- Пайдалану температураларының диапазоны -40°С-тан + 125°С-қа дейін
- Кірістірілген таңдау/ Сақтау функциясы)
- Қуат кернеуінің диапазоны: 2.7В бастап 5.5В дейін

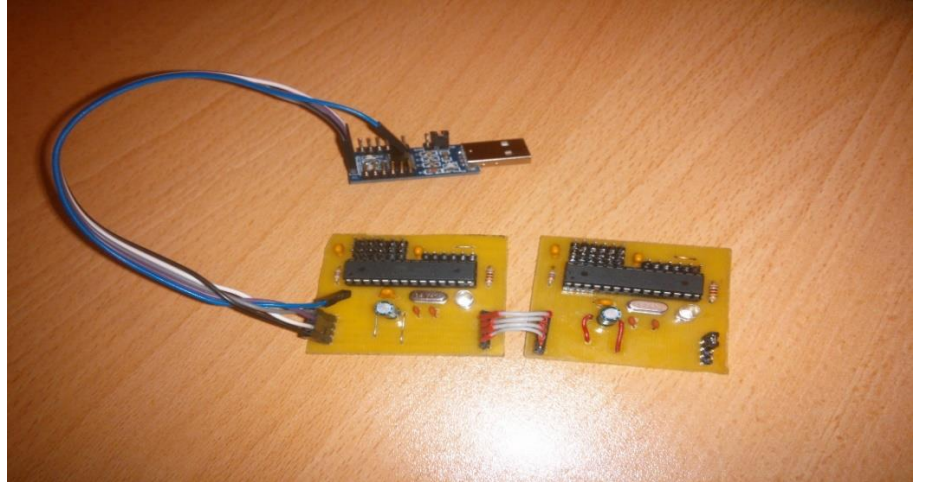
- Қуат кернеулеріне арналған ерекшеліктер 2.7В...5.5 в и 5 в±10%
- Микроконтроллермен үйлесімді, дәйекті интерфейс
- Автоматты ажыратудың қосымша функциясы
- Төмен энергия тұтыну:
- Кіріс аналогтық сигнал диапазоны: 0-ден VREF-ке дейін
- Кіріс диапазоны және ол: 0-ден VDD-ге дейін
- AD7810 10 биттік нұсқасына ауыстыру мүмкіндігі

Қолданылатын салалары:

- Қолмен қолданылатын үнемді, портативті қосымшалар
- 8-ші разрядтық А/С түрлендіру қажеттілігі бар қосымшалар:
- Автономды қоректендіргіші бар тесттік жабдық
- Автономды қоректенуі бар коммуникациялық жабдықтар

3.3 Модульдік көпарналық АСТ-тің жасалу жолы.

Әр түрлі жобаларда аналогтық шамалармен көрсетілетін көптеген параметрлерді бақылау қажеттігі туындайды. Әрине, микробақылағыш көбінесе осы жұмыстарға жеткілікті болады, бірақ кейде өңдеу алгоритмі ол үшін өте күрделі болады және толық бағалы компьютер қолдану қажет болады. Оның үстіне, онда логтардың сақталуын және деректердің әдемі көрсетілуін ұйымдастыру әлдеқайда оңай. Мұндай кезде дайын өнеркәсіптік шешім (ол әрине қымбат тұрады, бірақ көбінесе артық болады) немесе белгілі бір өзіндік бір нәрсе жасалынады. Ең қарапайым жағдайда, analog Read және serial.write-тан алынатын шексіз циклы бар Arduino тақшасы болуы мүмкін. Егер де кіріс деректер көп болса (аналогтық кірістерден көп болса), онда бірнеше тақшалар қажет болады және оларды компьютерден дұрыс сұрауды ойлану керек болады. Көптеген жағдайда, мен жасаған шешім сәйкес келеді (мүмкін мен мұны бірінші ойлап таппаған шығармын, бұл мәселеге қатты қызыққан жоқпын), бұл шешім ретке келтіруге уақытты үнемдеуге мүмкіндік береді және жүйенің салыстырмалы қарапайым және түсінікті архитектурасын жасауға мүмкіндік береді.



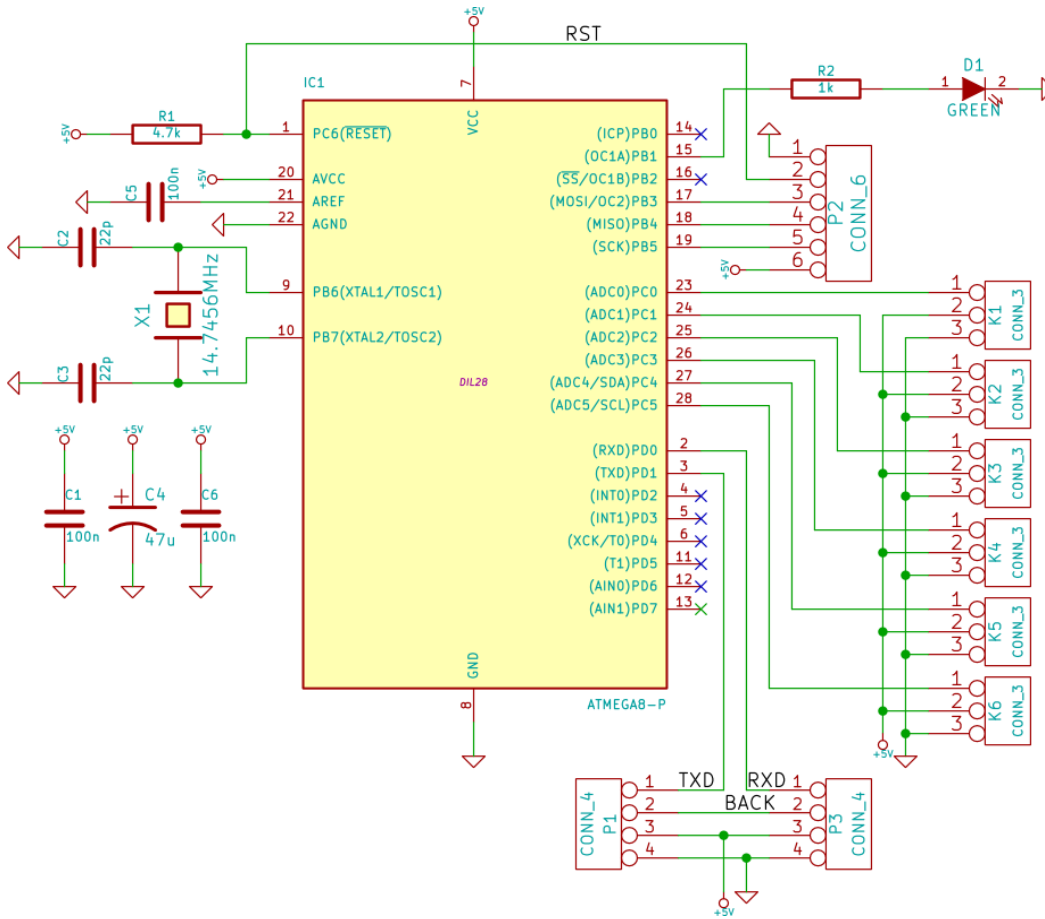
Сурет 3.8 - Көп арналы АСТ-ның сұлбасы

Каналдардың максималды саны: 44;
дискреттеу жиілігі: 1000 Герц;
Ажыратымдылығы: 8 бит.

Сипаттамалары орташа деңгейде, бірақ көптеген тапсырмаларға жарамды. Бұл осциллограф емес, датчиктерді сұрату жүйесі. Оның үстіне, осы мысалда USART қолданумен танысуға болады. Жүйе ATMEGA8 микробақылау базасы негізіндегі жекелеген АСТ модульдерінен тұрады. Модульдер бір немесе бірнешеу болуы мүмкін, олардың әрқайсысы микробақылағыштың корпусына байланысты 6 немесе 8 АСТ болуы мүмкін (шығару версиясы 6 АСТ-ке тең, ал беттік монтаж үшін 8 АСТ болады), ал арналардың суммалық қосындысы 44-тен аспауы керек. Негізгі ерекшелігі сол, модульдердің санына тәуелсіз тек бір ғана, компьютердің жағынан USART қажет болады (бұл USB-жалғастырғыш тетік немесе аппараттық COM-порт болуы мүмкін). Бұл барлық микробақылағыштардың USART-тары тізбектей жалғануы (біреуінің RX екіншісінің TX-не тізбектей жалғанады) есебінен жүзеге асырылады, ал шеттегінің пиндерінің RX мен TX тізбекте компьютерге жалғанады. Бұл жерде, менің АСТ-нің разрядтылығы 8 бит емес, мүмкін 255 градаций болуы мүмкіндігін айта кету керек. 0xFF мәні ерекше мақсатқа қолданылады. Егерде микробақылағыш оны алатын болса, онда әр кезде ол өзінің АСТ-нің кезекті арнасынан беретін болады, ал олар таусылып біткенде, 0xFF ары қарай тізбек бойынша ретрансляцияланады. Егер USART кірісіне 0xFF-тен ерекшеленін мән келсе, онда микросызба байтты ары қарай жібереді. Осылайша, бір ерікті мәнді және 44 0xFF-ті беру арқылы, барлық АСТ-дің барлық арналарынан мәндерді алуға болады (егер АСТ аз болса, онда артық арналар 0xFF-ке тең болады). Ерікті мән барлық модульдер АСТ-дің ағымдағы арнасына

көрсеткішті лақтырып жіберуі үшін қажет, осы ағымдағы арнаны 0xFF алғаннан кейін беу керек. Шындығында, 45 0xFF беру ыңғайлырақ, бұл қабылдаудың аяқталуын сенімді анықтау үшін қажет (егер, 0xFF алынса, онда арналар таусылып бітті деген сөз).

Принципиальді сызбанұсқа көп детальдардан тұрмайды:



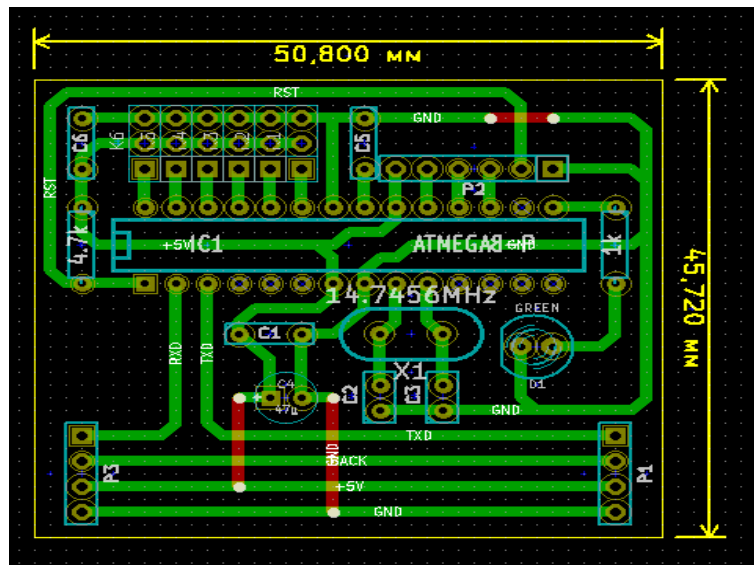
Сурет 3.9 - Электронды AVR программасы арқылы жасалған АСТ-ның сұлбасы

AVR-ге арналған бағдарлама қарапайым және жадының тек 300 байтын алады:

GitHub репозиториясында сіз KiCad-тың баспалық тақшасы мен сызбасының файлдарын таба аласыз, сондай-ақ компьютерге арналған бағдарламаны таба аласыз, осы бағдарлама осы жүйеден деректерді оқиды және оларды CSV форматында береді.

Тізбекті порт практикалық жағынан өзінің барлық мүмкіндіктерін қолданады, сондықтан да, деректерді синхронизациялау қажеттілігі туындамайды (мен жай ғана әрбір секунд сайы АСТ-тің оқылуына 1000 командаларды жіберетін болса) – егер 46 килобайт деректі әрбір секунд сайын 460800 бит/сек жылдамдықпен

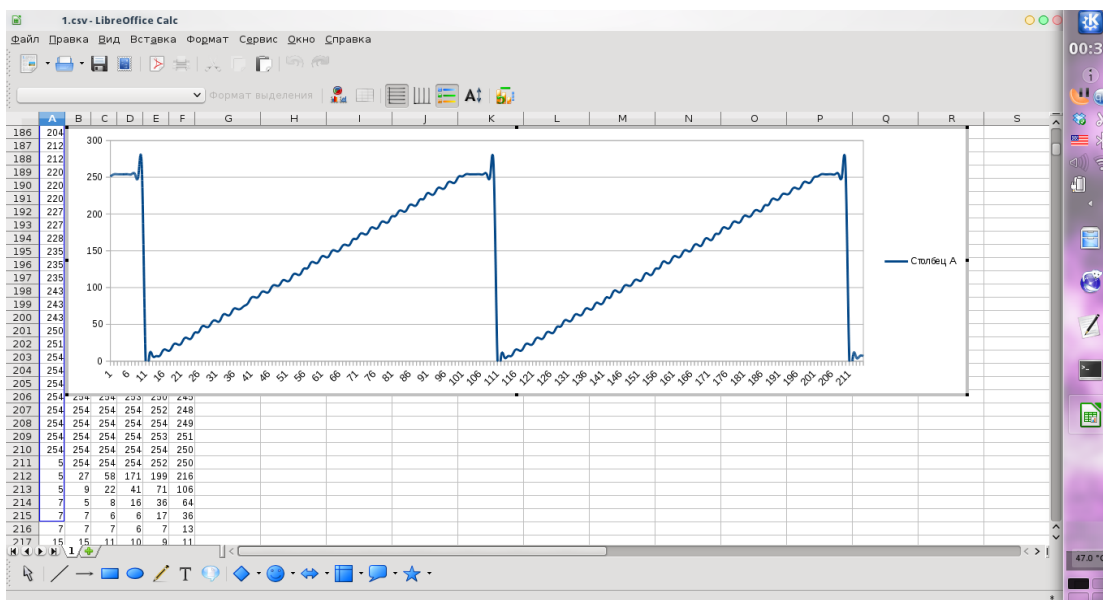
жіберетін болсам, онда 46 байт деректің блоктары (бір өлшеу) әр миллисекунд сайын келетін болады.



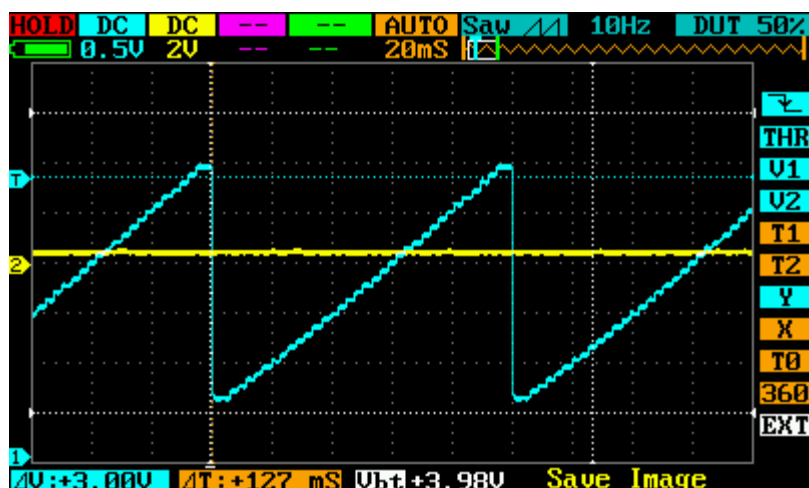
Сурет 3.10 - Баспа тақша KiCad-та құрастырылды сұлба

Барлық тақшалар тізбекке жалғанады, соңғы тақшасында RX мен TX джампермен жалғанады.

АСТ-тің жұмысының сапасын араның 10 Гц-тік мына суреті арқылы бағалауға болады:



Сурет 3.11 - АСТ-тің жұмысының сапасын анықтайтын сұлба.



Сурет 3.12 - DS203 осциллографынандағы суретті салыстыру сұлбасы

Өкінішке орай менде сигналдың сапалырақ көзі жоқ, бірақ төмен жиілікті сигналдар үшін жүйе сәйкес келуі керек. USART-USB түрлендіргішінің барлығы да арнаның толық жүктелуі жағдайында 460800 бит/сек жылдамдықты қамтамасыз ете алмайтындығын айта кету керек. CP2102 базасы негізіндегі түрлендіргіш өзімнің кодымдағы қатені ұзақ іздеткізді, одан кейін мен FT232 қолдандым. Сондай-ақ, деректердің шамамен 0.17%-ға жуық жоғалуы байқалады (бағдарламада компьютерге арналған деректерді синхронизациясы жоғалтпайтын шаралар қабылданған). Бұл USART-тың нашар желісіне немесе бағдарламаның толық жасалып бітпегендігіне байланысты болуы мүмкін. Жалпы жағдайда, 90% қолданулар үшін сын болмауы керек, бірақ АЭС-ке қоюдың қажеті жоқ.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыста көпарналы жоғары жылдамдықтағы аналогты-сандық түрлендіргіші бар құралды әзірлеу қарастырылған болатын. АСТ-ның ең алдымен түрлері содан параметрлері арқылы АСТ-ның қандай түрі қай мақсатта қолданылғаны айқындалған болатын.

Дипломдық жұмысты жазу барысында электрондық программалар арқылы бірнеше нәтиже алынған болатын. 1. Электронды «Workbeanch» программасы арқылы зертханалық жұмысты орындау барысында АСТ моделі салынды, сондай-ақ оның жұмысқа қабілеттілігі жүргізілді. АСТ-ның салынған моделі дұрыс жұмыс істейді, өйткені нәтиже беретін графиктер, атап айтқанда кіріс және шығыс қалпына келтірілген сигналдар іс жүзінде сәйкес келеді. 2. AVR электрондық программасы арқылы жүргізілген зерттеуде, бұл жерде, АСТ-нің разрядтылығы 8 бит емес, мүмкін 255 градаций болуы мүмкіндігін айта кету керек AVR-ге арналған бағдарлама қарапайым және жадының тек 300 байтын алады. USART-USB түрлендіргішінің барлығы да арнаның толық жүктелуі жағдайында 460800 бит/сек жылдамдықты қамтамасыз ете алмайтындығын айта кету керек. CP2102 базасы негізіндегі түрлендіргіш өзімнің кодымдағы қатені ұзақ іздеткізді, одан кейін мен FT232 қолдандым. Сондай-ақ, деректердің шамамен 0.17%-ға жуық жоғалуы байқалады (бағдарламада компьютерге арналған деректерді синхронизациясы жоғалтпайтын шаралар қабылданған). Бұл USART-тың нашар желісіне немесе бағдарламаның толық жасалып бітпегендігіне байланысты болуы мүмкін. Жалпы жағдайда, 90% қолданулар үшін сын болмауы керек, бірақ бұл құрылғыны АЭС-ке қоюдың қажеті жоқ.

Дипломдық жұмысты қорыта айтатын болсақ, көпарналық жоғарғы жылдамдықтағы аналогты-сандық түрлендіргіштің түрлендіру жылдамдығы артқан сайын АСТ-ның шамасының мәндері нақты көрсетілмейді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Райс В. Как работают аналогово-цифровые преобразователи и что можно узнать из спецификации на АЦП? – «Компоненты и технологии», № 3. – 2005, 6 стр.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники – М.: Мир, Бином – 2009. – 704с.
3. Микушин А.В., Сажнев А.М., Сединин В.И. Цифровые устройства и микропроцессоры. СПб, БХВ-Петербург, 2010.
4. W. Kester, J. Bryant Voltage-to-Frequency Converters MT-028 TUTORIAL.
5. Analog Devices, Inc. Rev.A, 10/08, 7р
6. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника. СПб, БХВ-Петербург, 2004.
7. Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП: под. Общей редакцией А-й.К.Марцинкявичуса, Э-а.К.Багданскиса, М., «Радио и связь», 1988
8. Бахтияров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи, М., Сов.радио, 1980
9. Райс В. Как работают аналогово-цифровые преобразователи и что можно узнать из спецификации на АЦП? – «Компоненты и технологии», № 3. – 2005, 6 стр.
10. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники – М.: Мир, Бином – 2009. – 704с.
11. Никамин В.А. Аналого – цифровые и цифро – аналоговые преобразователи. Справочник. – М.: «Альтекс-А» – 2003. – 224с.
12. W. Kester, J. Bryant Voltage-to-Frequency Converters MT-028 TUTORIAL.
Analog Devices, Inc. Rev.A, 10/08, 7р.
13. W. Kester, J. Bryant Voltage-to-Frequency Converters MT-028 TUTORIAL.
Analog Devices, Inc. Rev.A, 10/08, 7р.

14. W. Kester ADC Architectures III: Sigma-Delta ADC Basics MT-022 TUTORIAL. Analog Devices, Inc. Rev.A, 10/08, 12p.
15. Швец В., Нищирет Ю. Архитектура сигма-дельта АЦП и ЦАП // CHIP NEWS. 1998. № 2. С. 211.
16. Микушин А.В., Сажнев А.М., Сединин В.И. Цифровые устройства и микропроцессоры. СПб, БХВ-Петербург, 2010.
17. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника. СПб, БХВ-Петербург, 2004.
18. W. Kester, J. Bryant Voltage-to-Frequency Converters MT-028 TUTORIAL. Analog Devices, Inc. Rev.A, 10/08, 7p.
19. Шахнович И. Сигма-дельта АЦП архитектура, принципы, компоненты.
«Электроника: Наука, Технология, Бизнес» №4. – 2006. с. 18-22.
20. W. Kester ADC Architectures III: Sigma-Delta ADC Basics MT-022 TUTORIAL. Analog Devices, Inc. Rev.A, 10/08, 12p.
21. Швец В., Нищирет Ю. Архитектура сигма-дельта АЦП и ЦАП // CHIPNEWS. 1998. № 2. С. 211.
22. Sigma-Delta (S-D) A/D Converters // New Product Applications — 1999, winter edition. — Analog Devices, 1998, pp. 3-113 – 3-143.
23. Application Note AN-283: Sigma-Delta ADCs and DACs // Applications Reference Manual. — Analog Devices, 1993, pp. 20-3 – 20-18.
24. Application Notes AN-388/AN-389: Using Sigma-Delta Converters // 1995 DSP/MSP Products Reference Manual. — Analog Devices, 1995, pp. 6-47 – 6-59.
25. [Сигма][дельта]-АЦП / Чувькин, Шахов, Ашанин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.— 2007 .— №2 .— С. 67-79
26. Sigma-Delta (S-D) A/D Converters // New Product Applications — 1999, winter edition. — Analog Devices, 1998, pp. 3-113 – 3-143.
27. Application Note AN-283: Sigma-Delta ADCs and DACs // Applications Reference Manual. — Analog Devices, 1993, pp. 20-3 – 20-18.
28. Application Notes AN-388/AN-389: Using Sigma-Delta Converters // 1995 DSP/MSP Products Reference Manual. — Analog Devices, 1995, pp. 6-47 – 6-59.
29. [Сигма][дельта]-АЦП / Чувькин, Шахов, Ашанин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.—2007 .—№2 .— С. 67-79
30. Швец В., Нищирет Ю. Архитектура сигма-дельта АЦП и ЦАП // CHIPNEWS. 1998. № 2. С. 211.