



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Радиоэлектроника»

Методические указания
к лабораторной работе
«Исследование процесса дискретизации и
квантования сигналов»
по дисциплине

«Общая теория связи»

Авторы
Назарова О. Ю.,
Звездина М. Ю.

Ростов-на-Дону, 2019



Аннотация

Методические указания предназначены для студентов очной, заочной форм обучения направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Радиоэлектроника»
Назарова О.Ю.,

д.ф.-м.н., профессор кафедры
«Радиоэлектроника» Звездина М.Ю.



Оглавление

Цель работы.....	4
1 Описание работы.....	4
1.1 Структура работы	4
1.2 Описание моделирования процесса дискретизации в языковой среде <i>ElectronicWorkbench</i>	6
1.3 Описание моделирования процесса дискретизации в языковой среде <i>MathCad</i> 14	10
1.4 Описание моделирования процесса квантования в языковой среде <i>MathCad</i> 14	14
2. Исследование работы АЦП	16
Содержание отсчета.....	19
Контрольные вопросы	20
Список литературы	20

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование процесса дискретизации и квантования сигналов; Исследование работы аналого-цифрового преобразователя сигналов.

1 ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

1.1 Структура работы

1.1.1 Структура исследования включает в себя два этапа исследований:

- исследование процесса дискретизации;
- исследование процесса квантования.
- исследование работы АЦП

Для изучения процесса дискретизации на основе натурального эксперимента, реализованного с помощью имитации приборов, может быть использован программный продукт *ElectronicWorkbench*. Структурная и принципиальная схемы, применяемые с этой целью, будут иметь вид, показанный на рисунке 1.1. Анализ данного рисунка показывает, что в состав структурной схемы входят:

- функциональный генератор, создающий гармонический сигнал, а также сигналы треугольной и прямоугольной формы;

- генератор стохастического сигнала, который создает стохастический сигнал. В принципиальной схеме, выполненной в программном продукте *ElectronicWorkbench*, на рисунке 1.1,б данный генератор представлен в виде источника полиномиального сигнала, в котором моделируется взаимодействие амплитудно-модулированного, частотно-модулированного и гармонического колебаний;

- генератор управляющего сигнала, создающий последовательность прямоугольных импульсов с заданной скважностью;

- электронный ключ, выполненный на транзисторе типа *BF245A*;

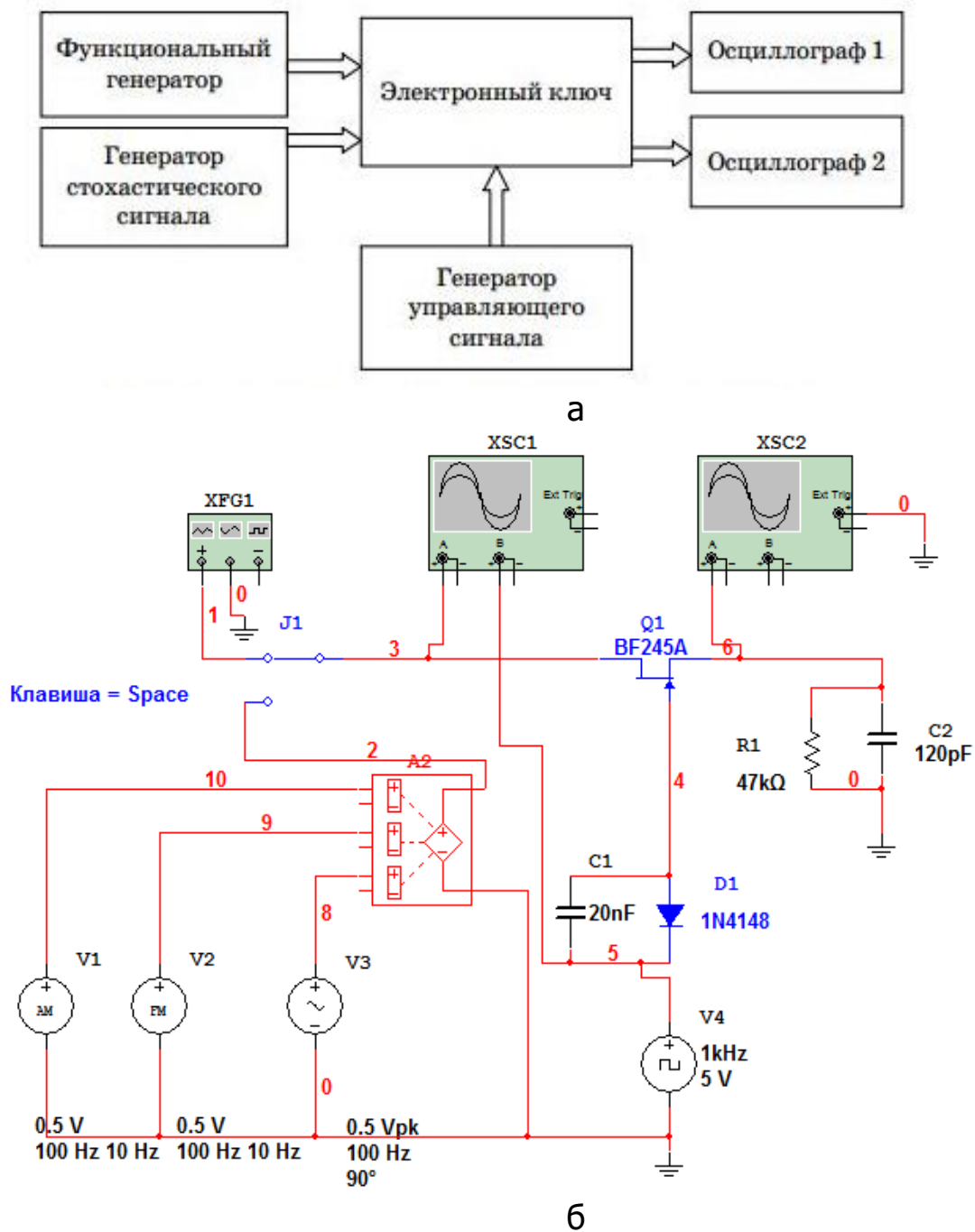


Рисунок 1.1 – Структурная и принципиальная схемы исследования

1.1.2 Для более подробного изучения процессов дискретизации и квантования, целесообразно использовать программу, реализованную в языковой среде *MathCad14*.

1.2 Описание моделирования процесса дискретизации в языковой среде *ElectronicWorkbench*

1.2.1 При проведении имитационного моделирования с использованием схемы, показанной на рисунке 1.1, *б*, необходимо задать параметры для устройств, входящих в ее состав. При этом требуется:

- установить параметры генератора управляющего сигнала *V4* в соответствии с вариантом задания из таблицы 1.1;

- установить частоту функционального генератора *XFG1* равной 100 Гц, а амплитуду – 1В в режиме гармонического сигнала;

Т а б л и ц а 1.1 – Варианты заданий параметров генератора управляющего

сигнала *V4*

Но мер ва- рианта	Ча- стота (<i>Fre- quency</i>), Гц	Амплиту- да (<i>Ampli- tude</i>), В	Коэффициент заполнения (<i>Duty Cycle</i>), %
1	1000	5	20
2	1100	5	25
3	1300	5	15
4	900	5	30
5	1050	5	10
6	950	5	10
7	1150	5	20
8	1200	5	25
9	1250	5	30
10	1350	5	15

- установить следующие параметры источника *V1* амплитудно-модулированных сигналов:

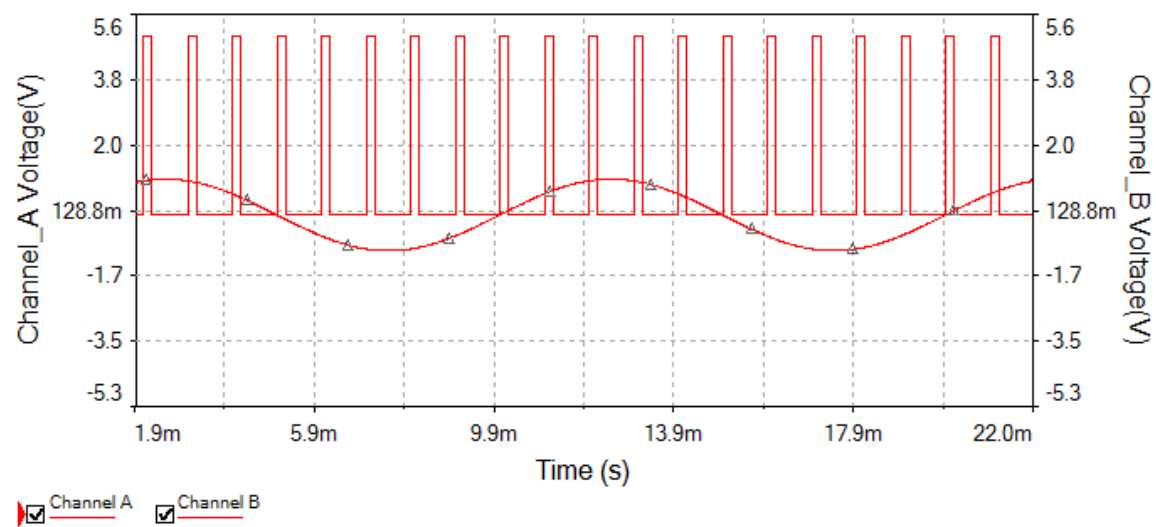
- амплитуда $V_C=0.5$ В;
- несущая частота $FC=100$ Гц;
- частота модуляции $FM=10$ Гц;

- установить следующие параметры источника *V2* частотно-модулированного сигнала:

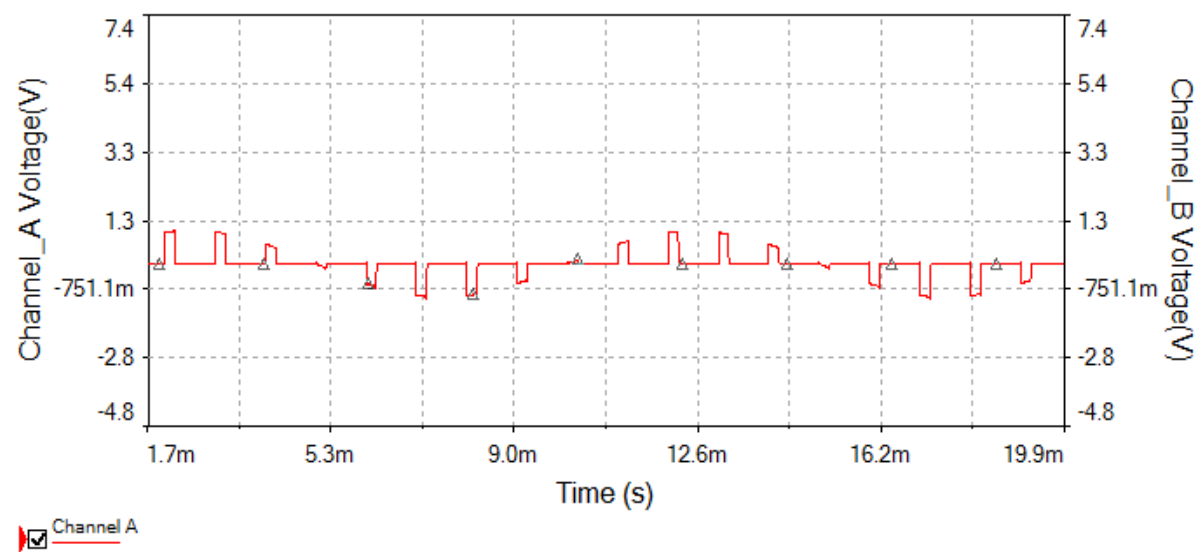
Общая теория связи

- амплитуда *Voltage Amplitude*=0.5 В;
- частота *Frequency* = 100Гц;
- фазовый сдвиг *Phase* = 90° ;
- установить коэффициенты полиномиального источника $F=1, G=1, I=1$.

1.2.2 Для проведения исследований процесса дискретизации гармонического сигнала необходимо включить модель и наблюдать сигналы на входах *A* и *B* осциллографа 1, а также на входе *A* осциллографа 2.



a



6

1.2.3 Для изучения процесса дискретизации сигнала треугольной формы необходимо установить функциональный генератор $XFG1$ в режим сигнала треугольной формы. Для проведения исследований включить модель и наблюдать сигналы на входах A и B осциллографа 1, а также на входе A осциллографа 2 (в режиме DC).

1.2.4 Для изучения процесса дискретизации сигнала прямоугольной формы необходимо установить функциональный генератор $XFG1$ в режим сигнала треугольной формы. Для проведения исследований включить модель и наблюдать сигналы на входах A и B осциллографа 1, а также на входе A осциллографа 2 (в режиме DC). Копировать получаемые графики в соответствующий раздел отчета.

1.2.5 Для исследования влияния частоты выборки на процесс дискретизации установим частоту генератора управляющего сигнала $V4$ равной 100 Гц. Функциональный генератор $XFG1$ переведем в режим гармонического сигнала. Для проведения исследований включить модель и наблюдать сигналы на входах A и B осциллографа 1, а также на входе A осциллографа 2 (в режиме DC). Копировать получаемые графики в соответствующий раздел отчета.

1.2.6 Для изучения процесса дискретизации в ходе лабораторной работы необходимо подключить генератор стохастического сигнала нажатием клавиши *Space* на клавиатуре компьютера, включить модель и наблюдать сигналы на входах A и B осциллографа 1, а также на входе A осциллографа 2 (в режиме DC). Копировать получаемые графики в соответствующий раздел отчета.

Восстановить частоту генератора управляющего сигнала $V4$ в соответствии с определенным вариантом задания из таблицы 2.1. Включить модель и наблюдать сигналы на входах A и B осциллографа 1, а также на входе A осциллографа 2 (в режиме DC). Копировать получаемые графики в соответствующий раздел отчета.

1.2.7 Анализ получаемых в ходе имитационного моделирования процесса дискретизации результатов позволяет студентам сделать следующие выводы:

- о зависимости искажений восстановленного сигнала от соотношения частоты дискретизации и верхней частоты исходно-

го сигнала;

- о возможности распространения сделанного выше вывода независимо от формы и типа сигнала (стохастический или детерминированный).

В связи с этим отчет по данному этапу исследований должен включать:

- структурную и принципиальную схемы исследований;
- расчеты максимального периода дискретизации Δ и относительной погрешности преобразования ε для конкретного варианта задания параметров генератора управляющего сигнала V4;
- выводы.

1.3 Описание моделирования процесса дискретизации в языковой среде *MathCad 14*

1.3.1 Для понимания алгоритма работы аналого-цифрового устройства целесообразно использовать разработанную программу *Kvant.xmcd*, функционирующую в языковой среде *MathCad14*. При этом необходимо задать статистические характеристики стохастического сигнала. Предположим, что функция корреляции описывается экспоненциальной функцией вида

$$B_A(\tau) = P_A \exp(-\beta|\tau|) \quad (1.1a)$$

или

$$B_A(\tau) = P_A (1 + \beta|\tau|) \exp(-\beta|\tau|), \quad (1.16)$$

где входящие в данные соотношения параметры зависят от номера варианта исследования, а их значения приведены в таблице 1.2.

Т а б л и ц а 1.2 – Исходные данные для моделирования в программе на языке *MathCad 14*

$B_A(\tau) = P_A \exp(-\beta \tau)$				$B_A(\tau) = P_A (1 + \beta \tau) \exp(-\beta \tau)$			
№ варианта	P_A , В ²	α , с ⁻¹	f_0 , МГц	№ варианта	P_A , В ²	α , с ⁻¹	f_0 , МГц
1	1,0	13	1,0	6	1,2	29	1,6
2	1,5	14	1,1	7	1,7	30	1,7

3	2,0	15	1,2	8	2,2	31	1,8
4	2,5	16	1,3	9	2,7	32	1,9
5	3,0	17	1,4	10	3,2	33	2,0

Величина β связана с параметром α соотношением

$$\beta = \alpha \cdot 10^3. \quad (1.2)$$

Глубину дискретизации L при моделировании целесообразно выбрать равной 3 битам. В реальных звуковых системах среднего уровня глубина дискретизации составляет 10..12 бит. Однако при изучении процесса преобразования аналогового сигнала в цифровой увеличение глубины дискретизации фактически приведет только к увеличению длины кодов.

1.3.2 Для рассматриваемых корреляционных функций соотношения, описывающие статистические параметры стохастического сигнала, полученные путем интегрирования выражений (1.1) по формулам из п.1.4, принимают вид, приведенный в таблице 1.3.

С учетом данных соотношений значения дискретизированного сигнала для варианта №1 принимают значения, сведенные в таблицу 1.4, а также ее график.

Т а б л и ц а 1.3 – Выражения для нахождения статистических параметров стохастического сигнала

Параметр	Вид корреляционной функции	
	$B_A(\tau) = P_A \exp(-\beta \tau)$	$B_A(\tau) = P_A(1 + \beta \tau)\exp(-\beta \tau)$
Спектр плотности мощности или энергетический спектр $G_A(\omega), \text{В}^2\text{с}$	$\frac{2P_A\beta}{\omega^2 + \beta^2}$	$\frac{4P_A\beta^3}{(\omega^2 + \beta^2)^2}$
Интервал корреляции $\tau_k, \text{с}$	$1/\beta$	$2/\beta$

Начальная энергетическая ширина спектра сообщения $\Delta\omega_0$, рад Гц	$\frac{\pi\beta}{2}$	$\frac{\pi\beta}{4}$
Средняя мощность отклика идеального ФНЧ $P_X(\omega)$, В ²	$\frac{2P_A}{\pi} \operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta\omega_0}{\beta}\right)$	$\frac{2P_A}{\pi} \operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta\omega_0}{\beta}\right) + \frac{2P_A\beta}{\pi} \frac{\Delta\omega_0}{\Delta\omega_0^2 + \beta^2}$

Т а б л и ц а 1.4 – Значения отсчетных функций для варианта №

Номер отсчетной функции								
Амплитуда функции								

1.4 Описание моделирования процесса квантования в языковой среде *MathCad 14*

1.4.1 Второй этап преобразования аналогового сигнала в цифровой - процесс квантования – начинается с определения шага квантования Δq . Пороги и уровни квантования, должны быть сведенные в таблицу 1.5. Получаемые при этом значения статистических характеристик (функции плотности вероятностей в точках отсчетов, распределение вероятностей дискретной величины) должны быть приведены в таблице 1.6.

Т а б л и ц а 1.5 – Значения порогов и уровней квантования для варианта №1

Номер отсчетной функции, n	1	2	3	4	5	6	7	8
Пороги квантования $h^{(n)}$								
Уровни квантования $x^{(n)}$								

Т а б л и ц а 1.6– Значения статистических характеристик для варианта №1

Номер отсчетной функции, n	1	2	3	4	5	6	7	8
------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

Значения ФПВ $W(h^{(n)})$								
Распределение вероятностей дискретной величины P_n								

Для найденных параметров стохастического сигнала рассчитываются и записываются в отчет мощность (дисперсия) выходного сигнала из квантователя, а также среднеквадратическая погрешность квантования. Строится получаемый при этом график характеристики квантования (зависимость $x^{(n)}$ от $h^{(n)}$).

1.4.2 Для выражения последовательности дискретизированных сигналов (набора амплитуд отсчетов) необходимо значения амплитуд выразить через номера уровней квантования и занести в таблицу 1.7. При этом нумерацию отсчетов следует начинать не с единицы, как в таблицах 1.5 и 1.6, а с нуля.

Построить графики сигнала на выходе квантователя и значений шума квантования для дискретизированного сигнала. Выполнить сравнение получаемого максимального значения шума квантования с потенциально возможным. С использованием данных таблицы 1.7 построить временную диаграмму оцифрованного сигнала.

Т а б л и ц а 1.7 – Заключительный этап процесса квантования

Номер отсчетной функции, n								
Уровни квантования $x^{(n)}$								
Амплитуды отсчетных функций								
Номер уровня квантования								
Шум квантования								

2. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АЦП

Для проведения исследований аналогово-цифрового преобразователя используется программный продукт *NIMultisim*.

На рисунке 2.1 представлена классификация АЦП по методам преобразования.

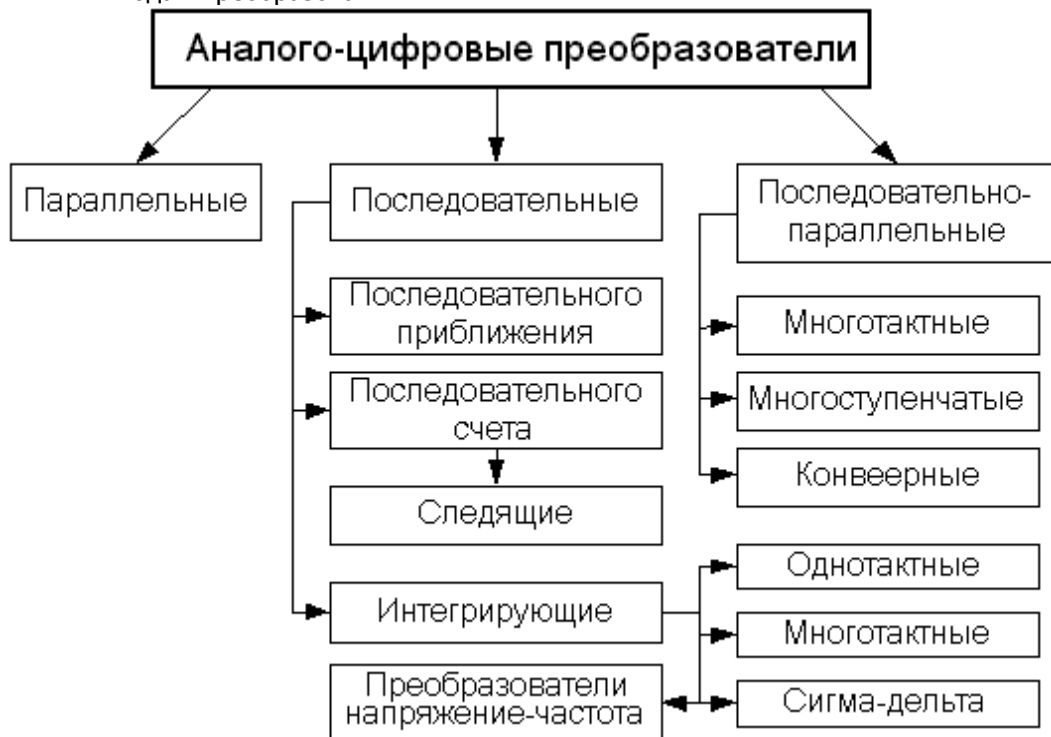


Рисунок 2.1 – Классификация АЦП.

В основу классификации АЦП положен признак, указывающий на то, как во времени разворачивается процесс преобразования аналоговой величины в цифровую. В основе преобразования выборочных значений сигнала в цифровые эквиваленты лежат операции квантования и кодирования. Они могут осуществляться с помощью либо последовательной, либо параллельной, либо последовательно-параллельной процедур приближения цифрового эквивалента к преобразуемой величине.

2.1.Описание схемы.



Рисунок 2.2 – Структурная схема исследования АЦП.

Состав схемы:

- Функциональный генератор (*Function_generator*) – генерирует сигналы синусоидальной, треугольной или прямоугольной формы;
- Генератор стохастического сигнала (*Polynomial_source*)– создает стохастический сигнал на основе взаимодействия АМ, ЧМ и гармонических колебаний.
- Генератор импульсов синхронизации (*Clock_Voltage*)– генерирует тактовые импульсы АЦП;
- АЦП (*ADC_DAC*) – виртуальный 8-разрядный аналогово-цифровой преобразователь;
- ЦАП (*VDAC*) – виртуальный 8-разрядный цифро-аналоговый преобразователь;
- Логический анализатор (*Logic_Analyzer*) - виртуальный 8-разрядный логический анализатор;
- Источник опорного напряжения (*DC_Power*) – источник постоянного напряжения.
- Двухлучевой осциллограф (*Oscilloscope*);

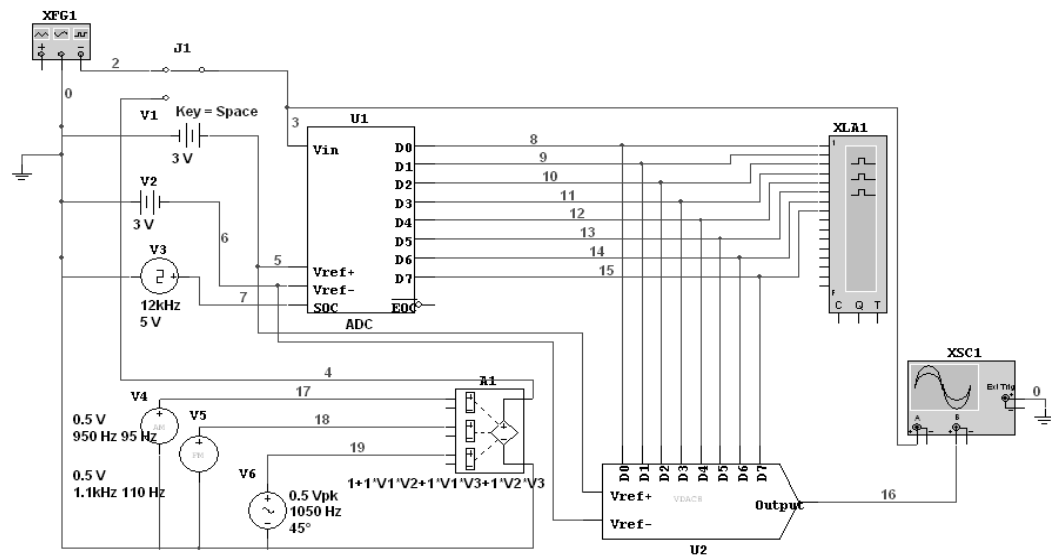


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема исследования

АЦП.

Вариант задания равен порядковому номеру студента в журнале группы.

Т а б л и ц а 2.1 – Варианты задания параметров генератора V3.

Номер варианта	Амплитуда, В	Частота, кГц	Сквazi-ность, %
1	5	8	20
2	5	7	25
3	5	9	15
4	5	10	30
5	5	8	10
6	5	7	10
7	5	9	20
8	5	10	25
9	5	8	30
10	5	7	15

2.2. В программе *NIMultisim* создать модель для исследования фазового детектора, используя принципиальную схему (рисунок 2.3).

2.3. Установить напряжение источников V1, V2 равное 3 В. Установить параметры источника V3 в соответствии номером ва-

рианта (таблица 2.1).

2.4. Установить частоту функционального генератора $XFG1$ равной 1кГц, амплитуду 2В в режиме генерации гармонического сигнала.

2.5. Установить следующие параметры источника АМ-сигналов $V4$:

- амплитуда 0.5 В;
- несущая частота 950 Гц;
- частота модуляции 95 Гц.

2.6. Установить следующие параметры источника ЧМ-сигналов $V5$:

- амплитуда 0.5 В;
- несущая частота 1.1 кГц;
- девиация частоты 110 Гц.

2.7. Установить следующие параметры источника гармонических сигналов $V6$:

- амплитуда 0.5 В;
- частота 1050 Гц;
- фазовый сдвиг 45° .

2.8. Установить коэффициенты генератора стохастических сигналов $A1:F=1$, $G=1$, $I=1$.

2.9. Настроить параметры развертки и делителя напряжения осциллографа таким образом, чтобы на его экране регистрировались 3-5 периодов сигнала без ограничения амплитуды.

2.10. Запустить симуляцию модели (клавиша F5) и наблюдать сигналы на входа осциллографа A и B в режимах DC. Остановить симуляцию незадолго до момента полного хода луча осциллографа. Сохранить полученные осциллограммы. Наблюдать процесс работы АЦП по диаграммам логического анализатора $XL41$.

2.11. Повторить п.2.10 для вариантов генерации гармонических сигналов, сигналов прямоугольной и треугольной формы.

2.12 Подать на вход АЦП сигнал с генератора стохастических сигналов, переключив ключ J1 в соответствующее положение. Повторить п.2.10.

СОДЕРЖАНИЕ ОТСЧЕТА

Отчет об исследовании АЦП должен содержать измеренные и расчетные данные, графики осциллограмм, расчет максимального периода дискретизации, графики осциллограмм, выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается процесс дискретизации? Как его записать аналитически?
2. Как изменяется спектр сигнала в результате его дискретизации?
3. Приведите примеры практического использования дискретизации сигналов в системах связи.
4. Из каких соображений выбирается частота дискретизации непрерывного сигнала?
5. Каким образом и с помощью какого функционального устройства обеспечивается восстановление сигнала по его отсчетам?
6. Укажите причины погрешностей восстановления непрерывного сигнала по его отсчетам.
7. Каким образом представляется сигнал в виде разложения в ряд Котельникова?
8. Дать определение аналого-цифрового преобразования.
9. Дать определение шага дискретизации.
10. Перечислить виды АЦП.
11. Пояснить отличия последовательных, параллельных, последовательно-параллельных АЦП.
12. Перечислить основные характеристики АЦП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи. СПб: Изд-во «Лань», 2010. 240 с.
2. Биккенин Р.Р., Чесноков М.Н. Теория электрической связи. М.: Изд дом «Академия», 2010. 336 с.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерных приложения. М.: Академия, 2003.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.