

**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)**

<b>Направление</b>	12.03.01 - Приборостроение
<b>Профиль</b>	Информационно – измерительная техника и технологии
<b>Факультет</b>	ИБС
<b>Кафедра</b>	ИИСТ

*К защите допустить*

Зав. кафедрой

Алексеев В.В.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

**Тема:** Лабораторная работа «Исследование метрологических характеристик ЦАП и АЦП»

Студент		_____	Кривецкий А.П.
		<i>подпись</i>	
Руководитель	К.Т.Н., доцент <i>(Уч. степень, уч. звание)</i>	_____	Королев П.Г.
		<i>подпись</i>	
Консультанты	К.Т.Н., доцент <i>(Уч. степень, уч. звание)</i>	_____	Буканин В.А.
	К.Т.Н. <i>(Уч. степень, уч. звание)</i>	_____	Романцова Н.В.
		<i>подпись</i>	

Санкт-Петербург

2017





## **АННОТАЦИЯ**

Цель работы: исследование метрологических характеристик цифро-аналоговых и аналогово-цифровых преобразователей.

Работа включает в себя обзор аппаратных средств и элементной базы. Методические указания по созданию виртуального инструмента для исследования метрологических характеристик ЦАП и АЦП.

## **ABSTRACT**

Objective: to study the metrological characteristics of digital-analog and analog-digital converters.

The work includes an overview of the hardware and element base. Methodical instructions for the creation of a virtual instrument for explorer the metrological characteristics of DACs and ADCs.

## СОДЕРЖАНИЕ

1.	Введение	2
2.	Обзор методов Цифро-Аналогового Преобразования	3
3.	Метрологические характеристики ЦАП	7
4.	Обзор методов Аналогово-Цифрового Преобразования	11
5.	Метрологические характеристики АЦП	15
6.	Описание модуля ввода вывода М серии	19
7.	Описание рабочей станции NI ELVIS	31
8.	Описание макетной платы для рабочей станции NI ELVIS	33
9.	Основные характеристики и описание ЦАП AD557	35
10.	Методические указания к лабораторной работе «Исследование метрологических характеристик ЦАП и АЦП	38
11.	Безопасность жизнедеятельности	50
12.	Заключение	54
13.	Список использованных источников	55
14.	Приложение	56

## **1. Введение**

Аналого-цифровое преобразование заключается в преобразовании информации, содержащейся в аналоговом сигнале, в цифровой код. Цифро-аналоговое преобразование призвано выполнять обратную задачу, т.е. преобразовывать число, представленное в виде цифрового кода, в эквивалентный аналоговый сигнал. Аналого-цифровые преобразователи широко применяются во многих областях техники, где для обеспечения помехоустойчивой и шумозащищенной передачи аналоговая информация преобразуется в промежуточную — цифровую, а также в самых разнообразных измерительных средствах: включая обычные настольные приборы типа цифровых универсальных измерительных приборов и более экзотические приборы, такие как усреднители переходных процессов, «ловушки для выбросов» и осциллографы с цифровой памятью, в устройствах генерации и обработки сигналов, таких как цифровые синтезаторы колебаний и устройства шифрования данных.

Важной составляющей является выбор способа преобразования. Существует большое количество методов преобразования, они могут значительно отличаться точностью, скоростью преобразования и сложностью аппаратной реализации. Целью работы является исследование метрологических характеристик преобразователей и погрешностей, которые возникают в ходе преобразования.

## 2. Обзор методов Цифро-Аналогового Преобразования

Точность аналогового сигнала на выходе, почти всегда зависит от сигнала на другом аналоговом входе, который принято называть опорным именно он определяет абсолютную точность ЦАП, простейшие ЦАП опорного сигнала не имеют и точность аналогового выхода от него, конечно, не зависит. Далее будут рассмотрены различные методы реализации ЦАП и формы, которые может принимать сигнал.

### а. Общие сведения



Рис.1 — Виды ЦАП

## 2.1 ЦАП с двоичным взвешиванием

Двоичные ЦАП с двоичным взвешиванием представлены рис. 4

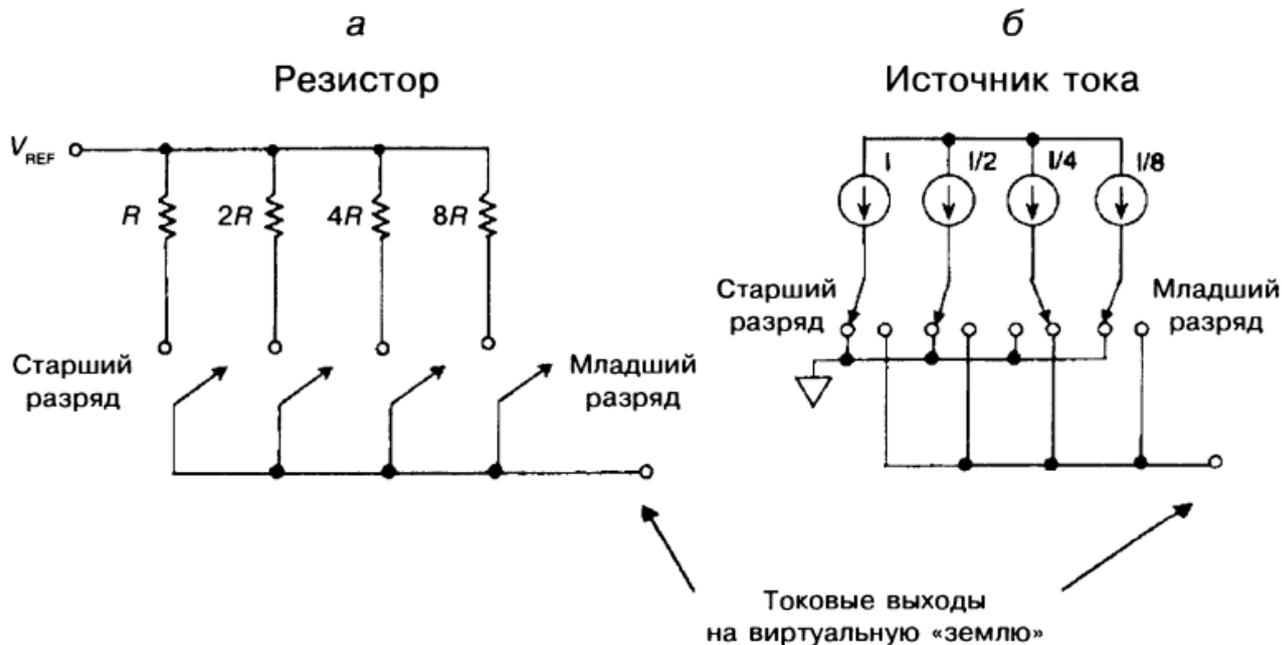


Рис. 2 — ЦАП с двоичным взвешиванием

На  $N$ -разрядный ЦАП состоит из  $N$  источников взвешенных токов, которые находятся в отношении  $1:2:4:8 \dots 2^N - 1$ . При замыкании узлов формируется напряжение на выходе, за младший разряд которого отвечает  $2^N - 1$  источник. Архитектура этого ЦАП не используется в качестве самостоятельного законченного ЦАП, так как на практике очень сложно подобрать соотношение токов или сопротивлений  $128:1$  для 8-разрядной ЦАП, ненормированные температурные коэффициенты, зависимость выходного импеданса от входного кода делают его сложнореализуемым.

## 2.2 ЦАП типа R-2R

Одним из самых распространенных ЦАП является резистивная лестничная схема, представленная на рис. 3.

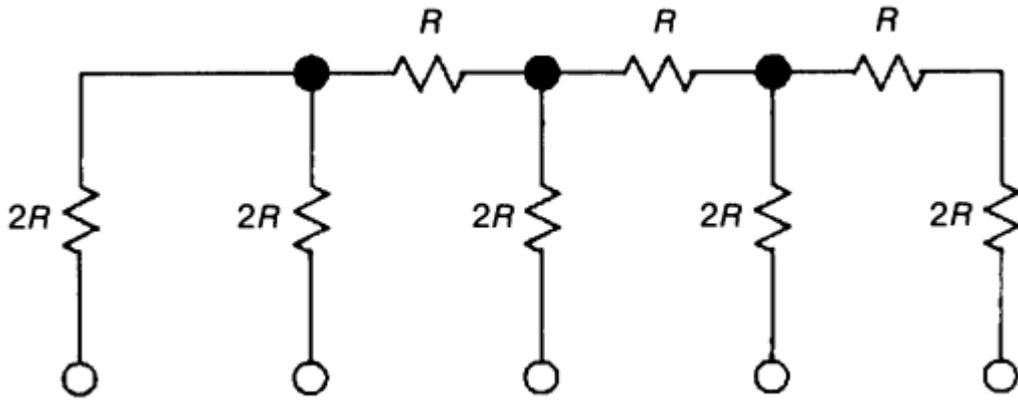


Рис. 3 — 4-разрядная лестничная схема типа R-2R

Схему R-2R можно использовать двумя способами, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

В режиме напряжения переключение узлов осуществляется между  $V_{REF}$  и «землей», выходом является конечный узел. Выходное напряжение не зависит от выходного импеданса, но так как узлы работают в широком диапазоне напряжений, входной импеданс сильно зависит от кода поэтому опорный источник должен иметь низкий импеданс, что сложно с практической точки зрения.

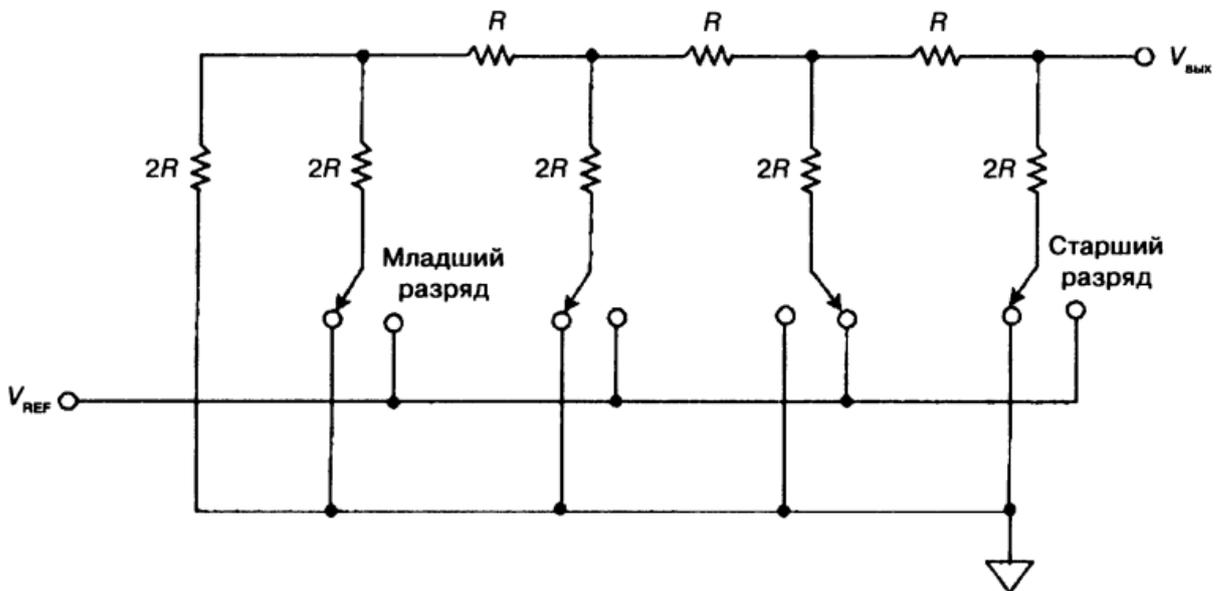


Рис.4 — Лестничная схема ЦАП типа R-2R в режиме напряжения

В схеме R-2R работающей в токовом режиме усиление ЦАП можно регулировать последовательным резистором на выходе  $V_{REF}$ . Поэтому в

токовом режиме конец лестницы с независимым от входа импедансом используется как выход  $V_{REF}$ , а концы узлов переключения между «землей» и выходной шиной, которая должна иметь потенциал «земли».

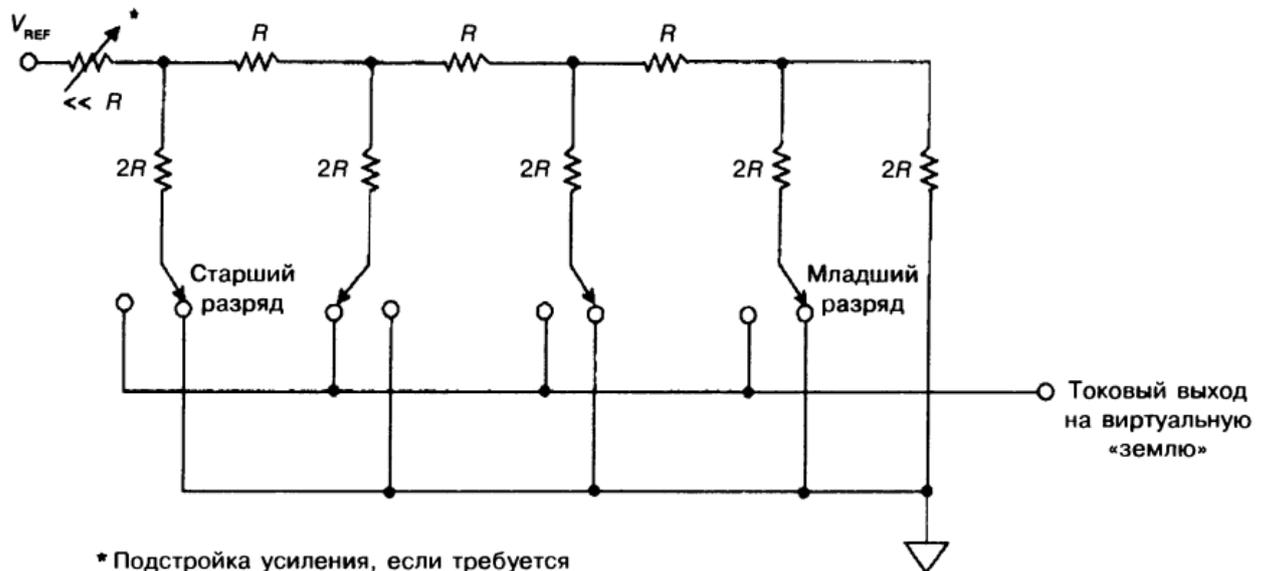


Рис. 5 — Лестничная схема ЦАП типа R-2R в токовом режиме

### 2.3 ЦАП с широтно-импульсной модуляцией

Если не требуется высокая разрядность преобразования, как например ЦАП входящие в состав микропроцессорных систем, преобразование может быть осуществлено с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Схема ЦАП с ШИМ приведена на рис. 8.

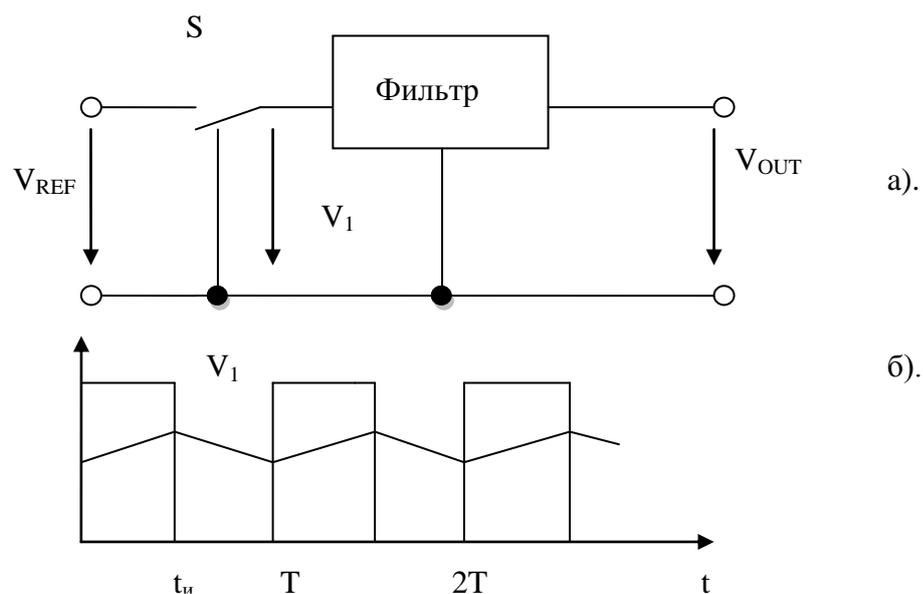


Рис. 6 — ЦАП с широтно-импульсной модуляцией:  
а — структурная схема, б — эюры напряжений

Представленная схема обеспечивает очень хорошую линейность преобразования. Недостаток — низкая скорость преобразования. Это связано с тем, что ЦАП с ШИМ цифровой код преобразуется с помощью двоичного счетчика, поэтому для N-разрядного преобразования необходимо  $2^N$  временных тактов.

## 2.4 Сигма-дельта ЦАП



Рис. 7 — Блок-схема сигма-дельта ЦАП

«Входной цифровой интерполяционный фильтр изготавливается на одном кристалле с сигма-дельта-ЦАП, что упрощает схему включения и снижает ее стоимость. «Сигма-дельта модулятор ЦАП представляет собой чисто цифровое устройство, которое преобразует последовательность многоразрядных слов на входе в малоразрядные двоичные коды, управляющие ключами параллельных ЦАП низкой разрядности, одновременно перенося энергию шума квантования в область более высоких частот» [5, с. 406]

ЦАП такой реализации имеет низкий уровень шума, высокая точность, которая определяется источником опорного напряжения, поэтому необходимо основательно подходить к вопросу питания микросхемы.

## 3. Метрологические характеристики ЦАП

При возрастании входного цифрового сигнала выходной сигнал образует ступенчатую кривую (Рис. 9) через единицу младшего разряда. Такую зависимость называют характеристикой преобразования ЦАП.

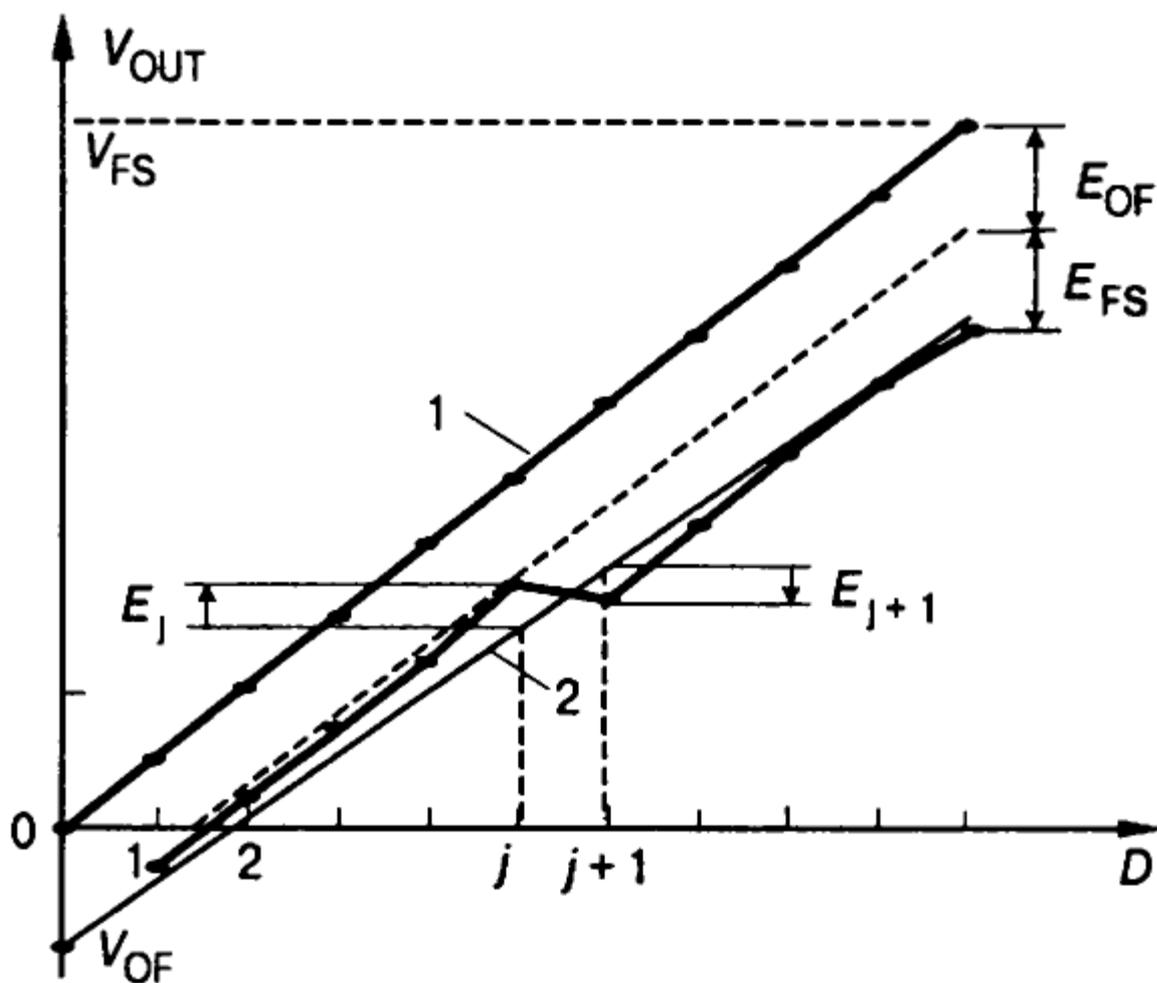


Рис. 8 — Характеристика преобразования ЦАП

В отсутствие погрешностей средние точки прямой 1 образуют идеальную прямую 1 (Рис. 9). Реальная характеристика преобразования может значительно отличаться от идеальной, как формой и расположением ступеней, так и расположением на плоскости координат.

### 3.1 Статические параметры АЦП

*Разрешающая способность* — приращение выходного сигнала при преобразовании соседних значений разрядов. Приращение или шаг квантования для двоичных кодов:

$$h = V_{FS} / (2N - 1),$$

где  $V_{FS}$  - максимальное выходное напряжение ЦАП.  $N$  – разрядность ЦАП.

*Погрешность полной шкалы* ( $\varepsilon_{FS}$ ) — разность между реальным и идеальным значениями полной шкалы при отсутствии смещения нуля.

$$\delta_{FS} = \frac{\varepsilon_{FS}}{V_{FS}} \cdot 100\%$$

*Погрешность смещения нуля* ( $\delta_{OFF}$ ) — выходное напряжение ЦАП при равном нулю значения кода на входе. Указывается в милливольтгах или процентах от полной шкалы.

$$\delta_{OFF} = \frac{\varepsilon_{OFF}}{V_{FS}} \cdot 100\%$$

*Нелинейность (интегральная нелинейность)*  $\varepsilon_j$  — максимальное отклонение реальной характеристики от оптимальной линия – 2 рис. 9. Выражается в относительных единицах

$$\delta_L = \frac{\varepsilon_j}{V_{FS}} \cdot 100\%$$

*Дифференциальная нелинейность* ( $\delta_{DL}$ ) — максимальное изменение отклонения реальной характеристики выходного сигнала от оптимальной при переходе от одного значения входного кода к другому соседнему значению.

$$\delta_{DL} = \frac{\varepsilon + \varepsilon_{j+1}}{V_{FS}} \cdot 100\%$$

*Монотонность характеристики преобразования* — возрастание/уменьшение выходного напряжения ЦАП ЦАП при возрастании/уменьшении входного кода D. Если дифференциальная нелинейность больше относительного шага квантования  $h/V_{FS}$ , то характеристика преобразования немонотонна (Рис.9).

### 3.2 Динамические параметры

*Время установления сигнала* — время от момента  $t=0$  (Рис. 10) до момента, когда в последний раз выполняется неравенство

$$V_{OUT} - V_{FS} = d/2,$$

где  $d$  – единица младшего разряда.

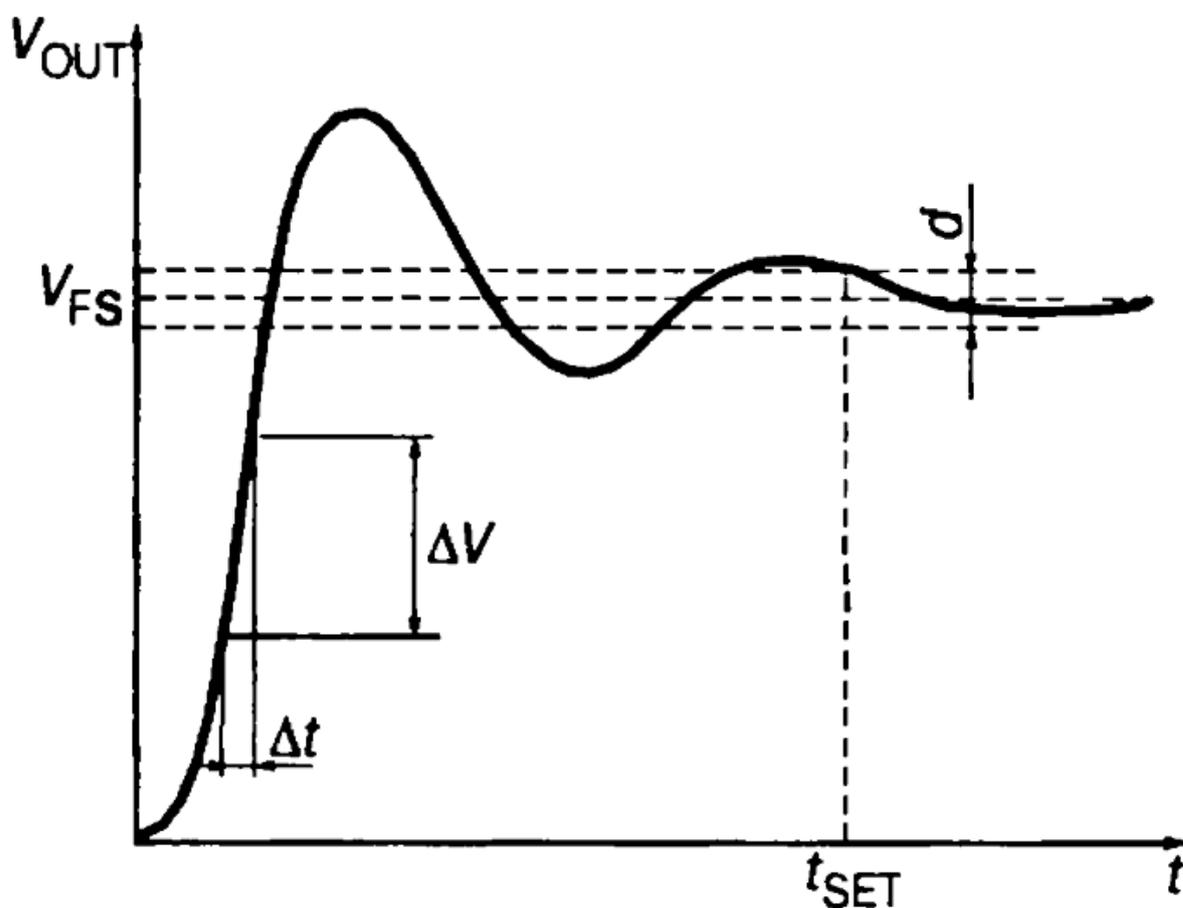


Рис. 9 — Переходный процесс входного кода ЦАП

*Частота обновления* — максимальная частота, с которой может происходить изменение содержимого входных регистров ЦАП.

*Скорость нарастания* — максимальная скорость изменения выходного сигнала во время переходного процесса, определяется как  $\Delta V_{OUT}/\Delta t$ .

*Полоса пропускания* — диапазон частот, в котором сигнал аналогового входа проходит на выход ЦАП без ослабления.

## 4. Обзор методов Аналого-Цифрового Преобразования

### 4.1 Общие сведения



Рис.10 — Виды АЦП

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.

## 4.2. Параллельные АЦП

АЦП этого типа осуществляют квантование сигнала одновременно с помощью набора компараторов, включенных параллельно источнику входного сигнала. На Рис. 11 показана реализация параллельного метода АЦ-преобразования для 3-разрядного числа.

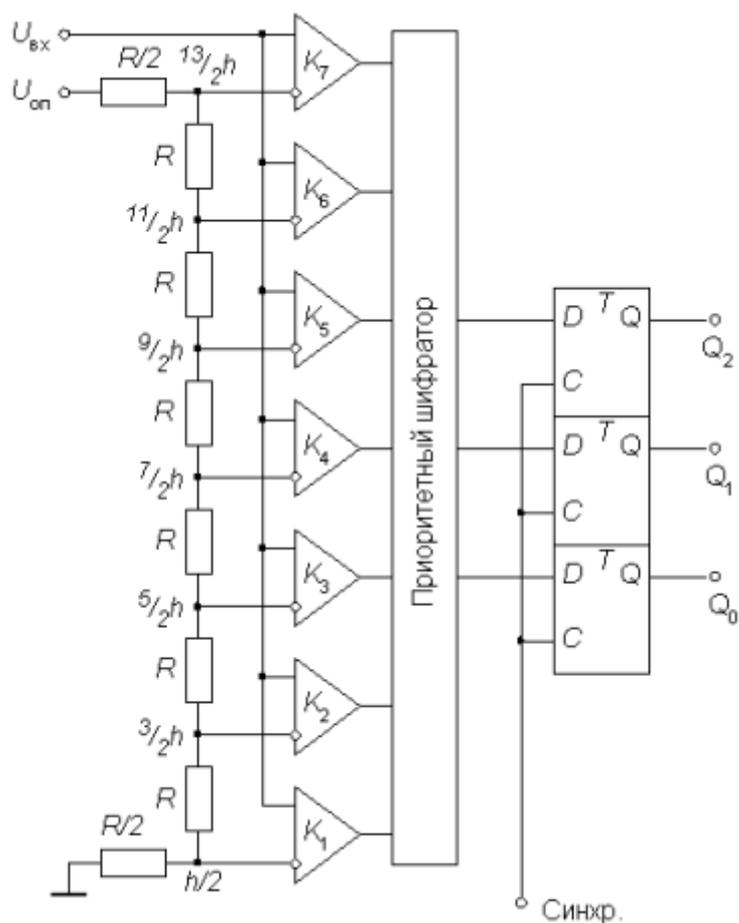


Рис. 11 — Структура параллельного АЦП

С использованием трех двоичных разрядов можно представить восемь различных чисел, включая нуль. Необходимо последовательно подключить семь компараторов. Семь соответствующих опорных напряжений образуются с помощью резистивного делителя. Одновременная работа компараторов позволяет достичь высокого быстродействия, однако быстродействие достигается сложностью реализации. N-разрядный параллельный АЦП содержит  $2N-1$  компараторов и  $2N$  резисторов. Отсюда вытекает их высокая стоимость и большая потребляемая мощность.

### 4.3 АЦП последовательного счета

Типичным представителем параллельных АЦП последовательного счета он состоит из компаратора, счетчика и ЦАП (Рис. 12). На один вход компаратора поступает входной сигнал, а на другой - сигнал обратной связи с ЦАП.

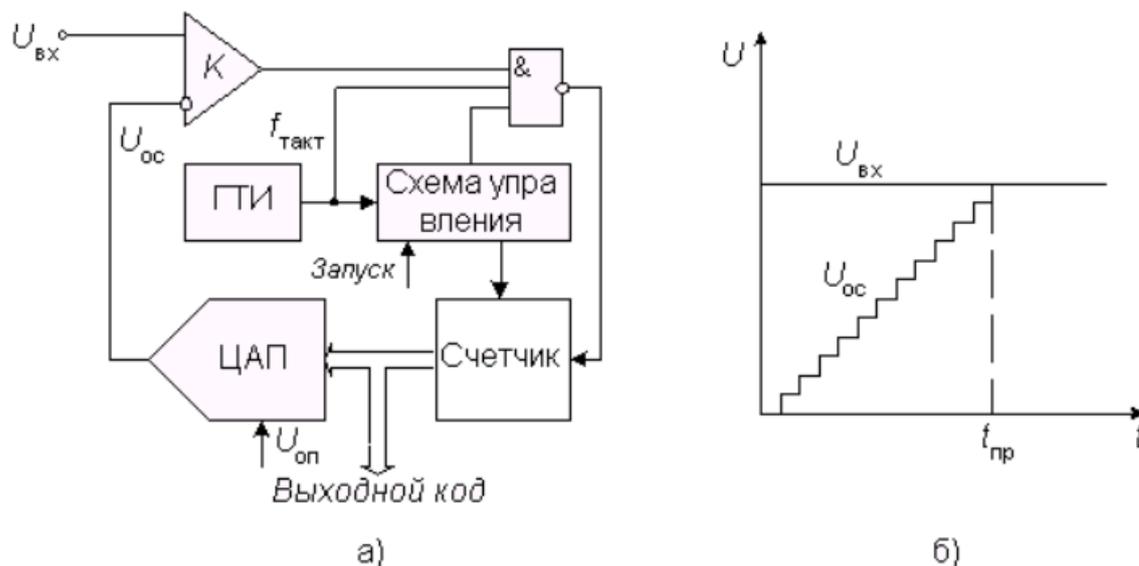


Рис. 12 — АЦП последовательного счета

Работа АЦП начинается с импульса запуска, который запускает счетчик импульсов, который суммирует число импульсов, идущих от генератора тактовых импульсов ГТИ. Выходной код счетчика импульсов подается на ЦАП, выполняющий его преобразование в напряжение обратной связи  $U_{ос}$ . Процесс продолжается до тех пор, пока напряжение обратной связи сравнивается с входным напряжением и включится компаратор, который поступающим выходным сигналом остановит поступление тактовых импульсов на счетчик. Переключение выхода компаратора из 1 в 0 означает окончание процесса преобразования.

#### 4.4 АЦП последовательного приближения

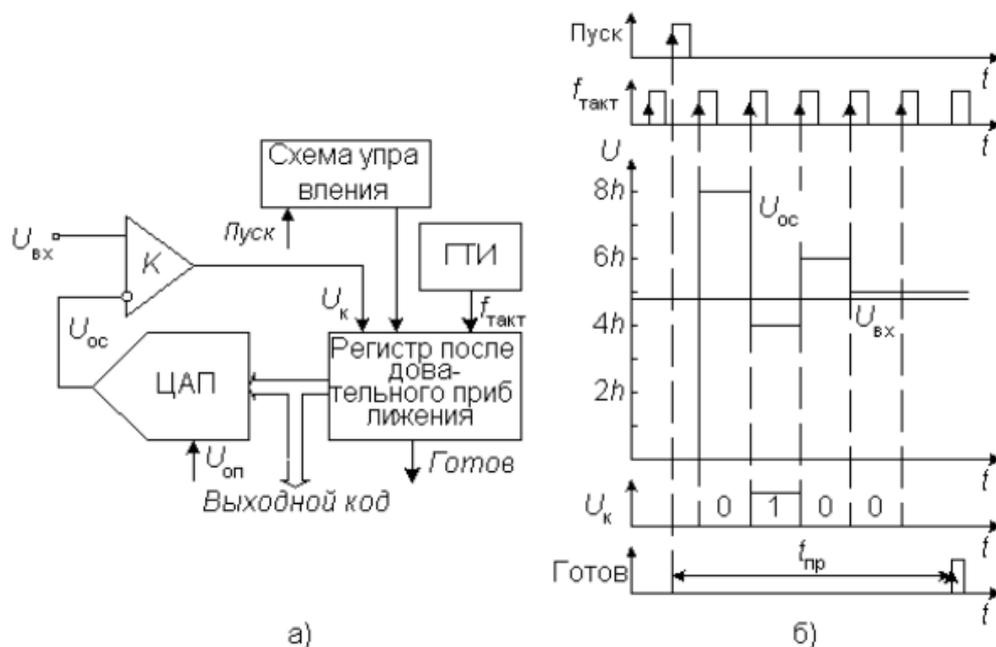


Рис. 13 — Структурная схема и временная диаграмма АЦП последовательного приближения

Принцип работы этого класса преобразователей положен принцип дихотомии, т.е. поочередного сравнения измеряемой величины с  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$  и т.д. от максимально возможного ее значения. Это позволяет для  $N$ -разрядного АЦП последовательного приближения произвести полный процесс преобразования за  $N$  последовательных шагов (итераций) вместо  $2N - 1$  при использовании последовательного счета и получить значительный выигрыш в быстродействии. Уже при  $N=10$  этот выигрыш достигает 100 раз и позволяет получить с помощью таких АЦП до  $10^5 \dots 10^6$  преобразований в секунду.

В то же время при этом статическая погрешность этого типа АЦП преобразователей, определяемая в целом применяемыми в нем ЦАП, может быть очень малой, что позволяет реализовать разрешающую способность до 18 двоичных разрядов при частоте выборок до 200 кГц.

#### 4.5 Последовательно-параллельные АЦП

Последовательно-параллельные АЦП являются чем-то средним между желанием добиться высокой производительности и экономии ресурсов. Последовательно-параллельные. Последовательно-параллельные АЦП подразделяют на многоступенчатые, многотактные и конвейерные.

### 5. Метрологические характеристики АЦП

При возрастании значения аналогового сигнала на входе  $U_{вх}(t)$  от 0 до величины, которая соответствующей полной шкале АЦП  $U_{пш}$  выходной цифровой сигнал  $D(t)$  имеет форму ступенчатой кусочно-постоянной линии. По аналогии с ЦАП, такой график называют характеристикой преобразования. В идеальном случае преобразования аппроксимированная по средним значениям точек примет идеальный вид показанный на рисунке 1 (рис. 14). Реальная характеристика преобразования (прямая 2, рис.14) может существенно отличаться от идеальной: размерами и формой ступенек, а также расположением на плоскости координат.

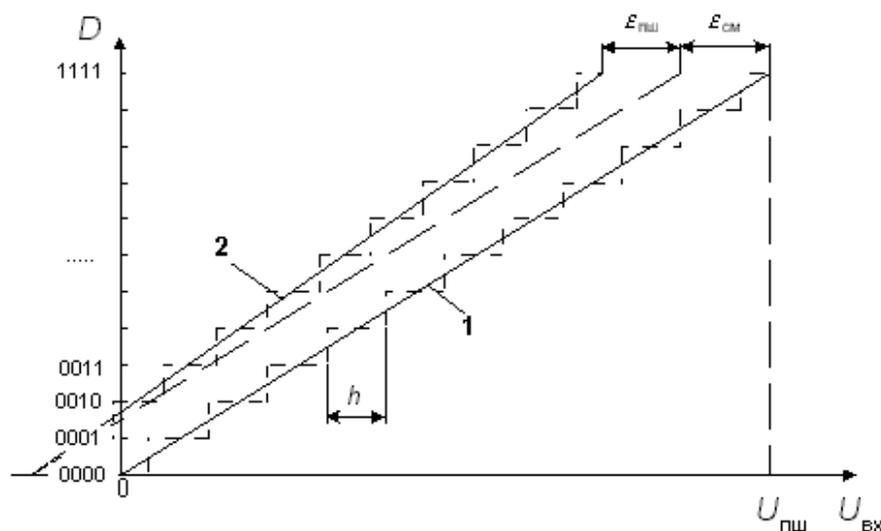


Рис. 14 — Идеальная и реальная характеристики преобразования

Статические параметры:

*Разрешающая способность* – величина, обратная максимальному числу кодовых комбинаций на выходе АЦП. Разрешающая способность выражается в процентах, разрядах или децибелах и характеризует потенциальные

возможности АЦП с точки зрения достижимой точности. Разрешающей способности соответствует приращение входного напряжения АЦП  $U_{\text{вх}}$  при изменении на единицу младшего разряда (LSB). Приращение напряжения на единицу младшего разряда называется шагом квантования

$$h = \frac{U_{\text{пш}}}{2^N - 1},$$

где  $U_{\text{пш}}$  – максимальное входное напряжение АЦП (напряжение полной шкалы), соответствующее максимальному значению выходного кода,  $N$  – разрядность АЦП. Чем больше разрядность преобразователя, тем выше его разрешающая способность.

*Погрешность полной шкалы* – относительная разность между реальным и идеальным значениями предела шкалы преобразования при отсутствии смещения нуля.

$$\delta_{\text{пш}} = \frac{\varepsilon_{\text{пш}}}{U_{\text{пш}}} \cdot 100\%.$$

Эта погрешность является мультипликативной составляющей полной погрешности. Иногда указывается соответствующим числом LSB.

*Погрешность смещения нуля* – напряжение на выходе при равенстве входного напряжения 0. Является аддитивной составляющей полной погрешности. Обычно определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{см}} = U_{\text{вх01}} - \frac{h}{2},$$

где  $U_{\text{вх01}}$  – входное напряжение, при котором значение кода равно 0 переходит в значение равно 1. Обычно выражается в милливольтгах или в процентах от полной шкалы:

$$\delta_{\text{см}} = \frac{\varepsilon_{\text{см}}}{U_{\text{пш}}} \cdot 100\%.$$

Погрешность полной шкалы и погрешность смещения нуля корректируются настройкой аппаратной части либо с помощью более совершенного вычислительного алгоритма цифровой части схемы.

*Нелинейность* – наибольшее отклонение реальной характеристики преобразования  $D(U_{\text{вх}})$  от оптимальной (линия 2 на рис. 14). Оптимальная характеристика находится эмпирически так, чтобы минимизировать значение погрешности нелинейности. Нелинейность обычно определяется в относительных единицах, но в справочных данных приводится также и в LSB. Для характеристики, приведенной на рис. 14.

$$\delta_{\text{л}} = \frac{\varepsilon_j}{U_{\text{пш}}} \cdot 100\%.$$

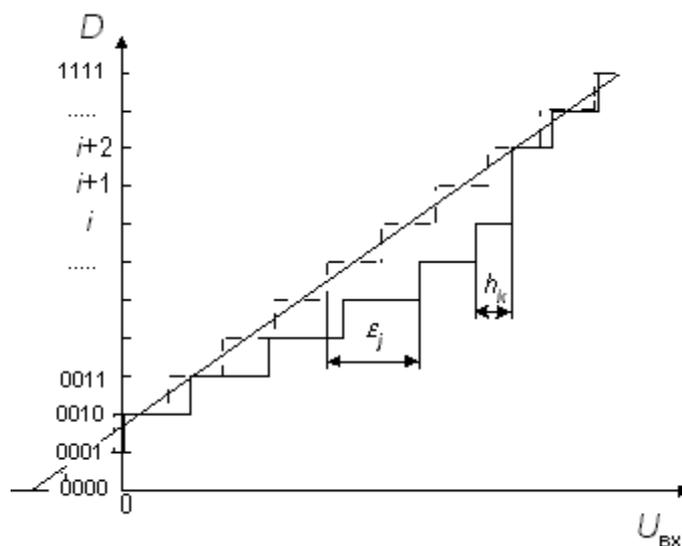


Рис. 15 — Дифференциальная нелинейность

*Дифференциальной нелинейностью* — АЦП в точке характеристики преобразования называется разность между значением кванта преобразования и средним значением кванта преобразования. Для характеристики, приведенной на рис. 15.

$$\delta_{\text{дл}} = \frac{h_k - h}{U_{\text{пш}}} \cdot 100\%.$$

Погрешность дифференциальной линейности определяет два важных свойства АЦП: непропадание кодов и монотонность характеристики преобразования.

*Непропадание кодов* – способность АЦП выдавать все значения кода на всем диапазоне преобразования. Пример пропадания кода  $i+1$  приведен на рис.6 .

*Монотонность характеристики преобразования* – это постоянство знака приращения кода при монотонном возрастании входного аналогового сигнала. Монотонность не гарантирует малых значений дифференциальной нелинейности и непропадания кодов.

Динамические параметры:

Так как преобразование происходит во времени, неизбежными будут погрешности, возникающие в ходе преобразования.

*Максимальная частота дискретизации* (преобразования) – это наибольшая частота, с которой происходит образование выборочных значений сигнала, при которой выбранный параметр АЦП не выходит за заданные пределы. Измеряется числом выборок в секунду. Выбранным параметром может быть, например, монотонность характеристики преобразования или погрешность линейности.

*Время преобразования* ( $t_{пр}$ ) – время за которое аналоговый сигнал появляется на выходе в виде цифрового кода соответствующей разрядности. Для АЦП последовательного приближения эта величина является примерно постоянной.

Далее будет составлен краткий обзор используемого оборудования компании «National Instruments» за более подробной информацией можно обратиться на сайт производителя по адресу: <https://www.ni.com> раздел «Поддержка».

## 6. Описание модуля ввода-вывода М серии

### *Аналоговый Ввод*

На рисунке приведена схема подсистемы аналогового ввода устройств М серии.

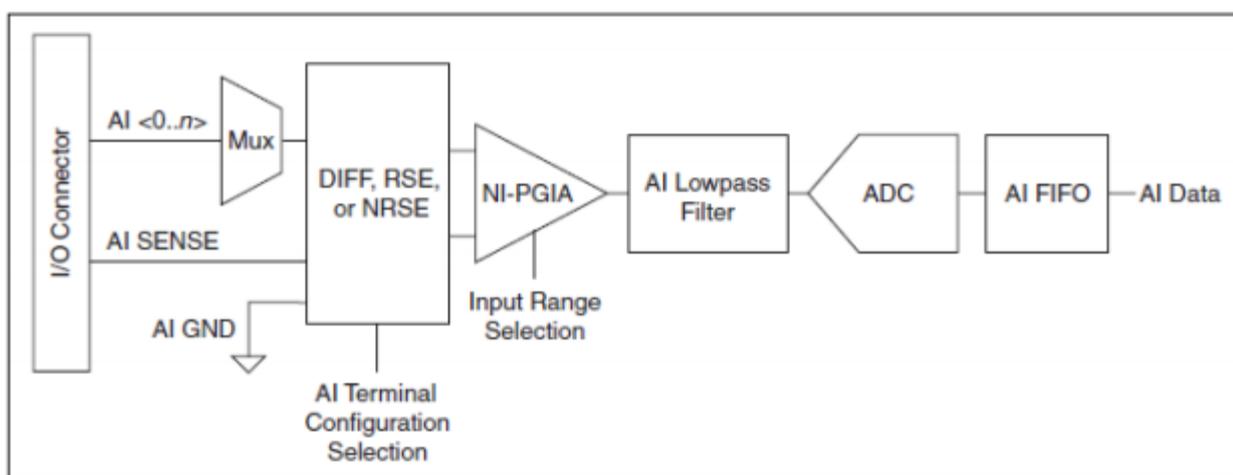


Рис.16 — Схема подсистемы аналогового ввода устройств М серии

- I/O Connector (Разъем ввода-вывода) – разъем через который аналоговый сигнал подается сигнал. Способ подключения аналоговых входных сигналов зависит от конфигураций подключения каналов аналогового ввода относительно земли, описанных в параграфе "Настройки включения каналов аналогового ввода относительно земли"

- Mux (Мультиплексор) – любое устройство М серии имеет один аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Мультиплексоры поочередно подают сигналы с каждого канала аналогового ввода на АЦП через инструментальный усилитель (NI-PGIA).

- Ground-Reference Settings (DIFF, RSE, NRSE) – схема по которой осуществляется подключение аналоговых каналов относительно земли выбирает одну из схем подключения аналогового ввода: дифференциальную, несимметричную заземленную (AI GND), несимметричную с плавающей

землей (AI SENSE, AI SENSE2). Для каждого канала аналогового ввода (AI) с помощью линий AI Terminal Configuration Selection существует свои режимы.

- NI-PGIA –измерительный усилитель с задаваемым программно коэффициентом усиления – сводит к минимуму время установления сигнала на всем диапазоне значений напряжения. По сигналам выбора диапазона (Input Range Selection) он усиливает или ослабляет аналоговый входной сигнал настолько, чтобы обеспечить максимальное разрешение АЦП. Этот усилитель, при высокой частоте дискретизации обеспечивает высокий уровень точности по нескольким аналоговым входом, даже если уровни сигналов малы. Устройства М серии могут опрашивать каналы в любом порядке при максимальной частоте дискретизации. Вы можете по отдельности настраивать каждый канал в одном цикле опроса на разные диапазоны входных сигналов.

- AI Lowpass Filter – низкочастотный фильтр.

- ADC (АЦП) – преобразует аналоговый (AI) сигнал в цифровую форму путем преобразования аналогового напряжения в цифровой код.

- AI FIFO (буфер аналогового ввода типа «очередь») – устройства М серии могут выполнять как одиночные так и многократные аналого-цифровые преобразования с заданием конечного или бесконечного количества отсчетов. Во избежание потерь данных FIFO-буфер большого объема хранит данные в процессе измерений аналогового входного сигнала. Устройства М-серии могут производить многократные аналого-цифровые преобразования в режимах прямого доступа к памяти (ПДП), с помощью прерываний или программируемого ввода-вывода.

#### *Диапазон аналогового ввода*

Диапазон аналогового ввода представляет собой ряд входных напряжений, которые в канале аналогового ввода преобразуются в цифровую форму с заданной погрешностью. Инструментальный усилитель (NI-PGIA) усиливает или ослабляет аналоговый входной сигнал в зависимости от выбранного диа-

пазона. Диапазон входных сигналов можно программировать индивидуально для каждого канала аналогового ввода согласно формуле

$$\frac{(U_{max} - U_{min})}{2^n} = Uk, \text{ где } n - \text{ битность АЦП}$$

В устройствах М серии применяется метод калибровки, для которого требуются несколько кодовых комбинаций (обычно около 5%), которые находятся за границами указанного в спецификации диапазона.

Входной диапазон	Номинальное разрешение при выходе за 5% диапазон
-10...10 В	320 мВ
-5...5 В	160 мВ
-2...2 В	64 мВ
-1...1 В	32 мВ
-500...500 мВ	16 мВ
-200...200 мВ	6.4 мВ
-100... 100 мВ	3.2 мВ

Таблица 1. — Диапазон сигналов

#### *Аналоговый фильтр нижних частот*

Фильтр нижних частот (ФНЧ) подавляет сигналы на частотах, превышающих частоту среза, и, в тоже время, пропускает с минимальным ослаблением сигналы на частотах ниже частоты среза. Под частотой среза следует понимать частоту, на которой амплитуда выходного сигнала уменьшается на 3 дБ. ФНЧ ослабляет шум и уменьшает степень наложения спектров за пределами частоты Найквиста.

#### *Ограничения многоканального сбора данных*

Устройства М-серии способны осуществлять многоканальный сбор данных с высоким быстродействием и малой погрешностью. Тем не менее,

для обеспечения высокой точности измерений при разработке измерительной системы следует учитывать некоторые особенности.

В многоканальных системах сбора данных на погрешность влияет время установления сигналов, которое приводится в спецификациях на DAQ-устройство. Когда устройство М серии переключается с одного AI канала на другой AI канал, коэффициент усиления инструментального усилителя устанавливается в соответствии с диапазоном сигнала на входе того канала на который переключилось устройство. Под временем установления понимают интервал времени, в течение которого сигнал на выходе усилителя формируется с требуемой точностью перед тем, как он будет подвергнут аналого-цифровому преобразованию

Для реализации малых значений времени установления, необходимо соблюдать следующие инструкции:

1. Использовать источники сигналов с малым внутренним импедансом – оно должно быть менее 1 кОм. При слишком большом импедансе увеличивается время установления усилителя и из этого следует, что чем выше частота дискретизации тем выше погрешность.

2. Применять короткие высококачественные кабели – это позволяет снизить влияние таких явлений, как перекрестные помехи, влияние линии связи и шумы, которые влекут за собой увеличение погрешности. Паразитная емкость также может увеличить время установления.

3. Внимательно выбирать порядок опроса каналов – резкое изменение пределов входного сигнала может значительно повлиять на время установления.

4. Не применять более высокое быстродействие без необходимости – задание более низкой частоты опроса каналов дает больше времени, в течение которого сигнал на выходе усилителя установится с более высокой точностью.

## Аналоговый Вывод

Устройства М серии имеют подсистему аналогового вывода. В зависимости от устройства они имеют от трех до четырех каналов аналогового вывода. Каналы снабжены отдельным тактовым генератором и могут самостоятельно генерировать сигнал.

Схема подсистемы аналогового вывода устройств М серии приведена на рисунке 17.

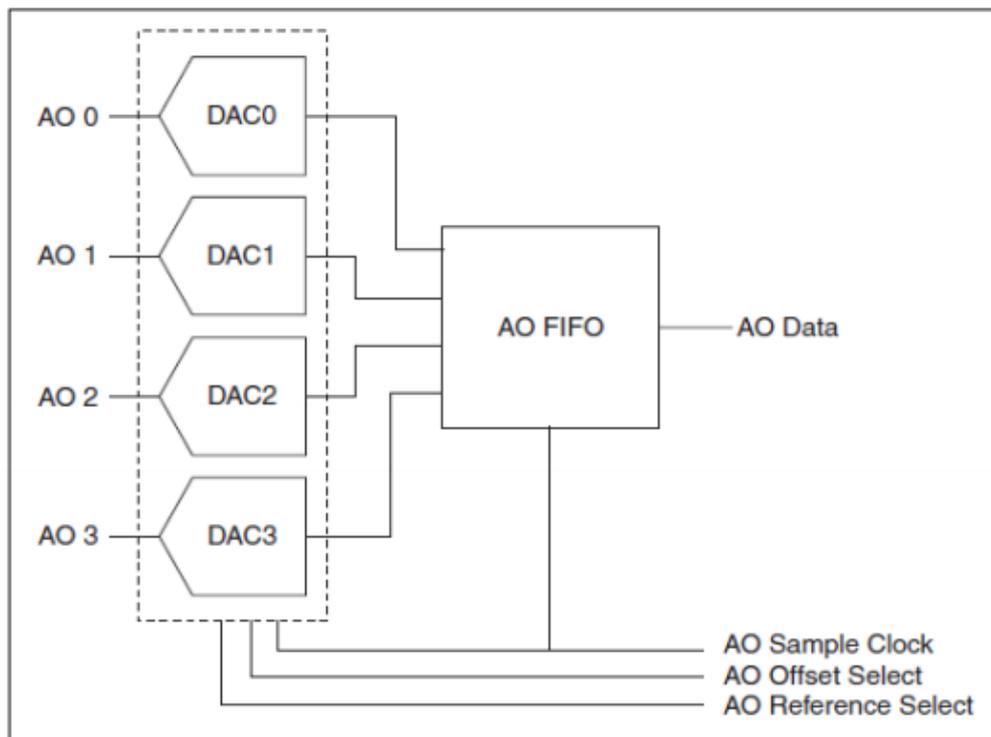


Рис.17 — Схема подсистемы аналогового вывода устройств М серии

Подсистема аналогового вывода устройства М серии состоит из следующих основных блоков:

- DACs – Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП), которые преобразуют цифровые коды в аналоговые напряжения.
- AO FIFO – Буфер памяти типа «очередь» (первым зашел – первым вышел) между компьютером и цифроаналоговыми преобразователями, который позволяет генерировать аналоговый выходной сигнал путем загрузки отсчетов сигнала в устройства М серии без взаимодействия с компьютером

• AO Sample Clock – сигнал синхронизации считывания отсчета из буфера и генерацию аналогового выходного напряжения. • AO Offset и AO Reference Selection – сигналы задания смещения и выбора опорного напряжения, которые позволяют изменять диапазон генерируемых напряжений в каналах аналогового вывода.

#### *Выбор напряжения смещения и опорного напряжения в каналах аналогового вывода*

Выбор напряжения смещения (AO Offset) и опорного напряжения (AO Reference) позволяет задать диапазон напряжений, в котором может работать устройство сбора данных. Код, подаваемый на вход ЦАП, определяют равномерное распределение соответствующих напряжений аналогового вывода по заданному диапазону. Из этого следует, что разрешающая способность формируется на более узком диапазоне, т.е. разность между напряжениями, соответствующими двум соседним кодам, меньше. Так, выходит сформировать напряжение с более высокой точностью. Диапазон напряжения, которое может быть распределено находится по следующим формулам.

$(AO\ Offset - AO\ Reference)$  и  $(AO\ Offset + AO\ Reference)$

В устройствах семейства NI-625x уровень напряжения смещения всегда равен 0 В (AO GND). Опорное напряжение аналогового входа индивидуально подбирается исходя из нужд. Оно может принимать следующие значения:  
 $\pm 10\ В$   $\pm 5\ В$   $\pm APFI$

Далее представлена спецификация для NI PCI 6251

#### *Аналоговый вход*

Спецификация приведена NI 6251 для 25 °С, если не указано иное.

#### *Аналоговый вход*

Количество каналов — 8 дифференциальных

16 с общей землей

Разрядность АЦП — 16 бит

Дифференциальная нелинейность(DNL) — без потерь

Интегральная нелинейность(INL) — см. таб. 1

Частота дискретизации

Максимальная

NI 6250/6251/6254/6259 — 1,26 МГц

Минимальная

Не предусмотрена

Время синхронизации —  $50 \cdot 10^{-6}$  от частоты дискретизации

Время решения —  $50 \cdot 10^{-9}$  с

Входная величина — DC

Входной диапазон —  $\pm 10$  В,  $\pm 5$  В,  $\pm 2$  В,  $\pm 1$  В,  $\pm 0.5$  В,  $\pm 0.2$  В,  $\pm 0.1$  В

Максимальное рабочее напряжение на аналоговом входе

(сигнал+синфазный сигнал) —  $\pm 11$  В на всех аналоговых выводах

КОСС(CMRR)(DC на 60Гц) — 100 dB

Входной импеданс

При включенном устройстве

Положительное напряжение ко всем аналоговым выводам —  $>10$  ГОм

параллельно

с 100 пФ

Отрицательное напряжение ко всем аналоговым выводам —  $>10$  ГОм

параллельно

с 100 пФ

При выключенном устройстве

Положительное напряжение ко всем аналоговым выводам — 820 Ом

Отрицательное напряжение ко всем аналоговым выводам — 820 Ом

Входной ток смещения — 100 пА

Частота среза(-3 dB) — 1.7 МГц

Входная величина FIFO — 4.095 преобразований

*Аналоговый выход*

Количество каналов — 2

Разрядность ЦАП — 16 бит

Дифференциальная нелинейность(DNL) —  $\pm 1$  ед. мл. р.

Монотонность — гарантируется

Точность — см. таб. 2

Максимальная частота обновления —

1 канал — 2,86 МГц/с

2 канала — 2,00 МГц/с

3 канала — 1,54 МГц/с

4 канала — 1,25 МГц/с

Время синхронизации —  $50 \cdot 10^{-6}$  от частоты преобразования

Время решения —  $50 \cdot 10^{-9}$  с

Выходной диапазон —  $\pm 10$  В,  $\pm 5$  В,  $\pm$ внешний, APFI<0..1>

Выходная величина — DC

Выходной импеданс — 0,2 Ом

Таб.2 — Абсолютная погрешность аналогово входа

Номинальный диапазон для полной шкалы (В)	Остаточная погрешность коэффициента усиления(ppm от результата преобразования)	Температурная погрешность к-та усиления (ppm/° C)	Температурный к-т опорного напряжения	Остаточная погрешность от смещения (ppm от диапазона)	Температурный к-т смещения(ppm от диапазона /° C)	Погрешность интегральной нелинейности(ppm от диапазона)	Случайный шум, $\sigma$ (мкВ, действующее значение)	Абсолютная погрешность на полной шкале <sup>1</sup> (мкВ)	Чувствительность (мкВ)
(R)	(E <sub>y</sub> )	(E <sub>T</sub> )	(T <sub>U</sub> )	(E <sub>C</sub> )	(T <sub>C</sub> )	(E <sub>NL</sub> )	(N)	(E <sub>FS</sub> )	(S)
±10	60	13	1	20	21	60	280	1,920	112.0
±5	70	13	1	20	21	60	140	1,010	56.0
±2	70	13	1	20	24	60	57	410	22.8
±1	80	13	1	20	27	60	32	220	15.8
±0.5	90	13	1	40	34	60	21	130	8.4
±0.2	130	13	1	80	55	60	16	74	6.4
±0.1	130	13	1	150	90	60	15	52	6

\*ppm – частей на миллион

<sup>1</sup> – абсолютная погрешность для полной шкалы каналов определена для следующих условий:  $\Delta t_e=10$  °C;  $\Delta t_i=1$  °C; количество отсчетов = 100; шум = 3 $\sigma$ .

$\Delta$  – абсолютная погрешность;  $\delta$  – Погрешность от коэффициента передачи;  $\varepsilon$  – Погрешность от смещения;  $X$  – Результат преобразования;  $R$  – Диапазон;  $\varepsilon(\sigma)$  – Случайная погрешность;  $\Delta t_i$  – изменение температуры относительно последней операции внутренней калибровки;  $\Delta t_e$  – изменение температуры последней операции внешней калибровки.

$$\Delta = X * \delta + R * \varepsilon + \varepsilon(\sigma);$$

$$\delta = E_y + E_T * \Delta t_i;$$

$$\varepsilon = E_C + T_C * \Delta t_i + E_{NL};$$

$$\varepsilon(\sigma) = 3\sigma / \sqrt{100}, \text{ (определено для } 3\sigma \text{ при усреднении для 100 отсчетов)}$$

Таб.3 — Абсолютная погрешность аналогового выхода

Номинальный диапазон для полной шкалы (В)	Остаточная погрешность коэффициента усиления(ppm от результата преобразования)	Температурная погрешность к-та усиления (ppm/° C )	Температурный к-т опорного напряжения	Остаточная погрешность от смещения (ppm от диапазона)	Температурный к-т смещения(ppm от диапазона /° C)	Погрешность интегральной нелинейности(ppm от диапазона)	Абсолютная погрешность на полной шкале <sup>1</sup> (мкВ)
(R)	(E <sub>y</sub> )	(E <sub>T</sub> )	(T <sub>U</sub> )	(E <sub>C</sub> )	(T <sub>C</sub> )	(E <sub>NL</sub> )	(AAFS)
±10	75	17	1	40	2	64	2,045
±5	85	8	1	40	2	64	1,080

<sup>1</sup> - Абсолютная погрешность полной шкалы действительна сразу после внутренней калибровки и предполагает, что устройство работает в пределах 10 ° C с момента последней внешней калибровки. Далее температурное изменение за пределами 10 ° C будет обозначаться как (T<sub>CC</sub> – TempChangeFromLastInternalCal).

Указанная погрешность действительна в течение двух лет с внешней калибровки устройства.

$\Delta$  – абсолютная погрешность;  $\delta$  – Погрешность от коэффициента передачи;  $\varepsilon$  – Погрешность от смещения;  $X$  – Результат преобразования;  $R$  – Диапазон;  $\varepsilon(\sigma)$  – Случайная погрешность;  $\Delta t_i$  – изменение температуры относительно последней операции внутренней калибровки;  $\Delta t_e$  – изменение температуры последней операции внешней калибровки.

$$\Delta = \text{Вых.знач.} \cdot (G_E) + (R) \cdot (O_E);$$

$$G_E = E_y + E_T \cdot T_{CC} + T_{CC} \cdot T_U;$$

$$O_E = E_C + (T_C) \cdot T_{CC} + E_{NL}$$

## 7. Описание рабочей станции NI ELVIS

Раздел содержит описание рабочей станции NI ELVIS

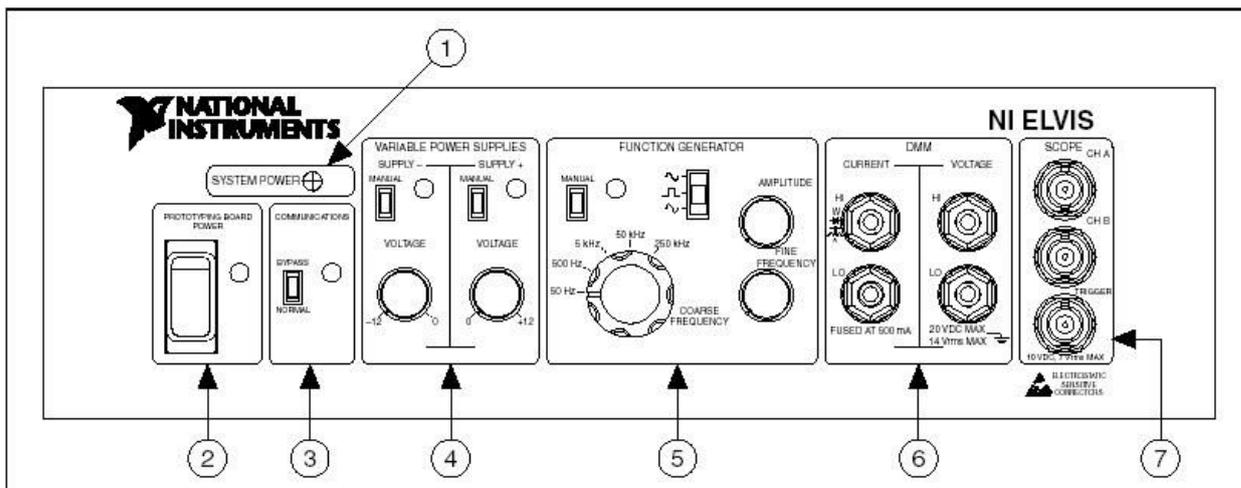


Рис. 18 — лицевая панель рабочей станции NI ELVIS

Таблица 4 — условные обозначения лицевой панели NI ELVIS

1	System power	Индикатор питания системы
2	Prototyping Board Power	Выключатель питания
3	Communication	Переключатель связи
4	Variable Power Supplies	Элементы управления регулируе- мыми блоками
5	Function Generator	Элементы управления функцио- нальным генератором
6	DMM	клеммы для подключения к мультиметру
7	SCOPE	Разъемы для подключения к осциллографу

Настольная рабочая станция снабжена следующими элементами управления и индикации:

*SYSTEM POWER* – индикатор питания NI ELVIS.

*PROTOTYPING BOARD POWER* – регулятор питания макетной платы.

Обзор аппаратных средств

*COMMUNICATIONS* – задает режим управления рабочей станции NI ELVIS

– шлет запрос на отключение программного управления. В

большинстве приложений этот переключатель устанавливают в положение *Normal*, в котором управление NI ELVIS передается компьютеру.

*Использование режима транзитной передачи.*

*VARIABLE POWER SUPPLY* – управляемые элементы регулируемых блоков питания

*SUPPLY*–управляющие элементы источника отрицательного напряжения

*MANUAL* – переключатель режима управления источником (ручной или программный). В ручном режиме (*Manual*) регулятор *VOLTAGE* управляет источником отрицательного напряжения. В программном режиме источник отрицательного напряжения управляется через виртуальный прибор *Variable Power Supply*.

*VOLTAGE* – элемент регулирования отрицательного напряжения питания, диапазон изменения напряжения от –12 до 0 В. Чтобы воспользоваться этим регулятором, необходимо установить переключатель *Manual* в режим ручного управления источниками питания.

*SUPPLY+* - элементы управления источником положительного напряжения

*MANUAL* – переключатель режима управления источником (ручной или программный). В ручном режиме (*Manual*) регулятор *VOLTAGE* управляет источником положительного напряжения. В программном режиме этот источник управляется через виртуальный прибор *Variable Power Supply*.

*VOLTAGE* – регулятор положительного выходного напряжения,

диапазон изменения напряжения от 0 до +12 В. Чтобы воспользоваться этим регулятором, необходимо установить переключатель *Manual* - в режим ручного управления источниками питания.

## 8. Описание макетной платы для рабочей станции NI ELVIS

В этом разделе содержится описание макетной платы NI ELVIS

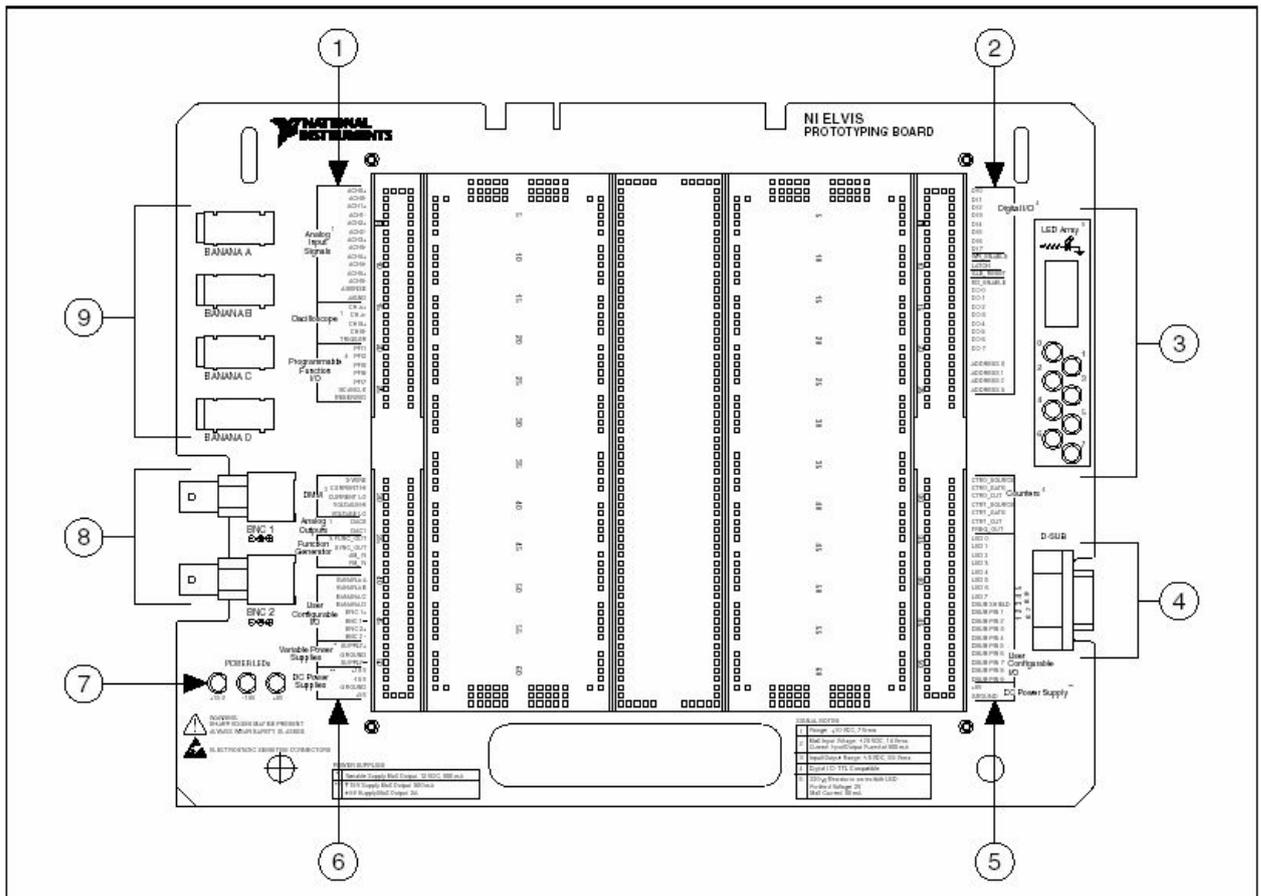


Рис. 19 — Макетная плата для NI ELVIS

Таблица 5 — Наименование компонентов на макетной плате NI ELVIS

1	Гнезда аналоговых входов, осциллографа и гнезда линий ввода/вывода с программируемыми функциями
2	Гнезда цифрового ввода/вывода
3	Группа индикаторов
4	Разъем типа D-Sub

Продолжение таблицы 5.

5	Гнезда счетчика-таймера, пользовательских линий ввода/вывода и источника питания постоянного тока
6	Гнезда мультиметра, аналоговых выходов, функционального генератора, пользовательских линий ввода/вывода, регулируемых источников питания и источников питания постоянного тока
7	Индикаторы питания
8	BNC-разъемы
9	Разъемы штекерного типа

## 9. Основные характеристики и описание ЦАП AD557

Микросхема AD557 представляет собой законченный 8 - разрядный аналогово-цифровой преобразователь, включающий в себя выходной фильтр, микропроцессорный интерфейс и источник опорного напряжения на одном монолитном чипе. Это означает, что для преобразований 8-битного цифрового кода в аналоговый сигнал, с заданной точностью, не требуется никаких сторонних компонентов или изменений интерфейса.

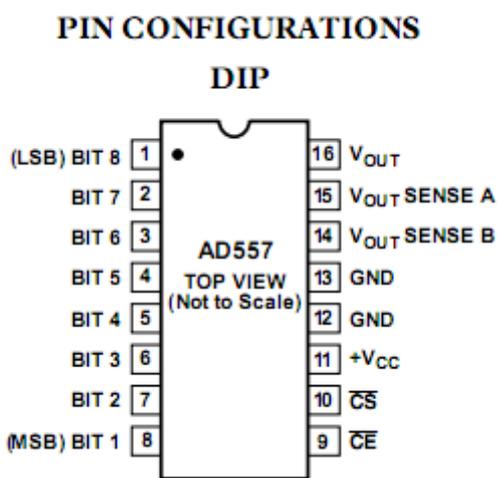


Рис. 20 — Конфигурация ЦАП AD557

### Назначение выводов

1. Цифровой вход 1
2. Цифровой вход 2
3. Цифровой вход 3
4. Цифровой вход 4
5. Цифровой вход 5
6. Цифровой вход 6
7. Цифровой вход 7
8. Цифровой вход 8
9. Бит управления CS, выбор микросхемы
10. Бит управления CE, запись
11. Вход питания

12. Земля

13. Земля

14. Выходное напряжение

15. Вход А обратной связи по выходному напряжению

16. Вход В обратной связи по выходному напряжению

Характеристики AD557(для  $T_A=25\text{ °C}$   $V_{CC}=5\text{ В}$  если не указано иное)

Таб. 6 — Метрологические характеристики ЦАП AD557

Тип	Min		Max	Ед. Изм
Битность			8	Бит
Относительная точность		$\pm 1/2$	1	Ед.мл.р
Выход Выходной диапазон Источник тока	0 5		2.56	В мА
Земля	Подтягивающий резистор в 2 кОм			
Время преобразования		0.8	1.5	
Ошибка нуля При 25 °C Tmin к Tmax			$\pm 1$ $\pm 3$	Ед.мл.р Ед.мл.р
Монотонность	Гарантируется, но не протестирована			
Цифровые входы: Входной ток			$\pm 100$	мА
Входы данных Логика — «1»	2.0			В

Продолжение таб.6

Логика — «0»	0		0.8	В
Управляющие входы				
Логика — «1»	2.0			В
Логика — «0»	0		0.8	В
Входная емкость		4		пФ
Время выборки	225			нс
Время задержки	10			нс
Время установки	225			нс
Питание				
Диапазон раб. напр. ( $V_{cc}$ ) 2.56 В	4.5		5.5	В
Ток ( $I_{cc}$ )		15	25	мА
Коэффициент откл.			0.03	%/%
Мощность рассеива- ния( $V_{cc}=5В$ )		75	125	мВт
Температура ста- бильной работы	0		70	°С

## 10. Методические указания к лабораторной работе "Исследование метрологических характеристик ЦАП и АЦП"

### 10.1 Создание ВИ для исследования МХ ЦАП

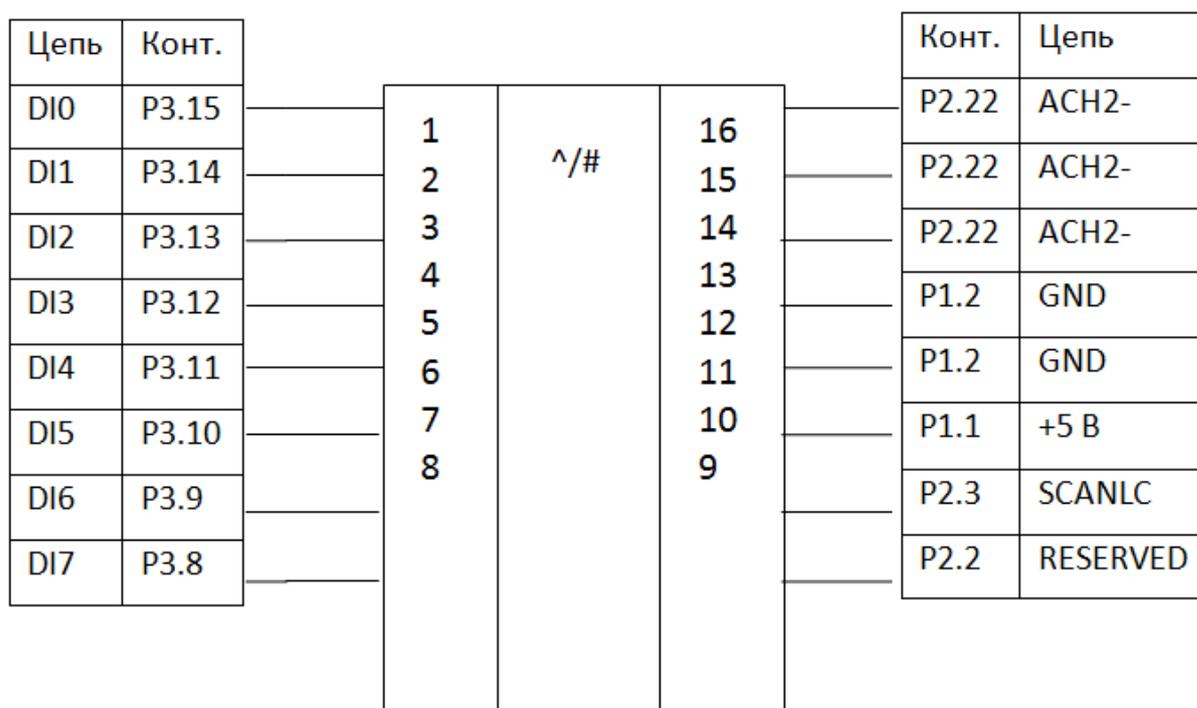


Рис.21 — Принципиальная схема эксперимента

1. Проверить правильность собранной схемы.
2. Установить макетную плату на NI ELVIS и подать питание на схему, на лицевой панели переключить Communication в режим «Bypass».
3. В «Labview» организовать работу ВИ для исследования схемы.
  - 1). Создать новый ВП и поместить Communication Bypass, добавить ко входу Control и выбрать Dev1, на выходе разместить индикатор и проверить работу NI ELVIS в режиме bypass.
  - 2). Добавить на диаграмму Diagram Disable Structure выбрать Disable и переместить внутрь созданное в п.1.
  - 3). Добавить Create Virtual Channel дважды и выбрать Digital Output. На выходе physical channel у первого выбрать Dev1/port0/line0:7 у второго Dev1/port/line2:3. На выходе error in создать единый для двух Constant и поместить его в структуру Diagram Disable Structure Enable.

- 4). Добавить на блок диаграмму цикл FOR LOOP. На входе N Loop Count создать Constant и ввести значение 256.
- 5). Добавить в цикл DAQmx Write в выпадающем окне выбрать Digital signal » Signal Channel » Single Sample » 1D boolean (N line) на выходе цикла добавить DAQmx Clear Task(рис.) последовательно соединить входы и выходы task in и error in.
- 6). Соединить Loop Iteration цикла For Loop с входом data DAQmx Write. Для этого необходимо преобразовать в 8 разрядное целое число с помощью операции to byte integer и соединить последовательно с Number to Boolean Array.
- 7). Добавить два DAQmx Write в выпадающем меню выбрать настройки согласно п.5 и соединить последовательно, добавить на выходе DAQmax Clear Task (Рис.). На входе data DAQmx Write создать constant и выбрать False.
- 8). Поместить в цикл DAQ Assistant выбрать следующие задачи:
  1. Measurement Type: Digital I/O
  2. Digital I/O Type: dev/port0/line0:7
  3. Acquisition Mode: N Sample
  4. Voltage: 0...10 V
- 9). Соединить выход error out DAQmx Write с входом error in DAQ Assistant как указано на рис. .
- 10). Добавить в цикл add из палитры numeric, к одному из входов подсоединить выход DAQ Assistant, создать constant и записать «0». Из палитры Express » Signal manipulation добавить convert from dynamic data, соединить выход add с S.D. and Dynamic Variance из палитры mathematics через convert from dynamic data.
- 11). Создать indicator на выходы S.D. and Dynamic Variance
- 12). Поместить на блок-диаграмму Histogram из палитры Mathematics » Probability and Statistic и соединить выход Convert from Dynamic data с

входом X ВИ Histogram, создать constant входа intervals записать 10, создать indicator выхода Histogram graph.

13). Поместить в цикл divide из палитры mathematics к одному входу провести Loop Iteration цикла For Loop, к другому создать constant и записать 100

14). Поместить Bundle из палитры Cluster, Class and Variant расширить до двух значений, подать на входы mean histogram и выход divide.

15). Поместить на лицевой панели WaveformChart из палитры Graph, уна панели блок-диаграммы соединить выход bundle с WaveformChart.

16). Поместить на блок-диаграмму два элемента Number to Engineering String из палитры Programming » String » Number/String Conversation. К входу одного подвести Loop Iteration цикла For Loop, к другому mean Histogram и создать constant входов width(6), precision(3).

17). Поместить за пределы цикла два элемента Write to Text file из палитры Programming » File I/O. Соединить каждый выход engineering string элемента Number to Engineering String с входом text элемента Write to Text file.

18). Сохранить ВИ

19). Установить на рабочей станции переключатель Communication в режим Bypass.

20). Запустить ВИ и наблюдать работу, после окончания цикла выбрать путь для сохранения результатов работы.

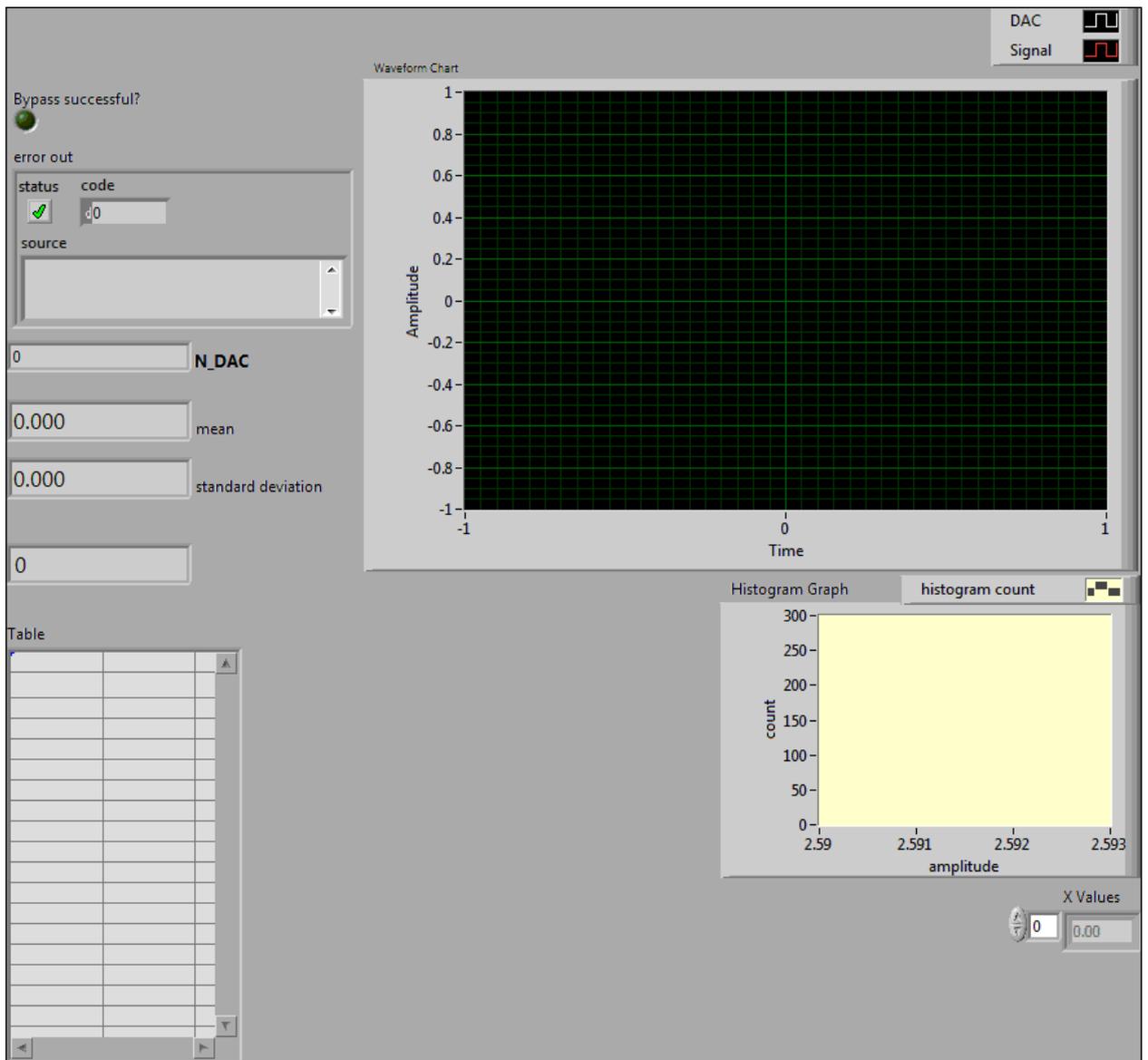


Рис. 22 — Лицевая панель ВИ для исследования МХ ЦАП

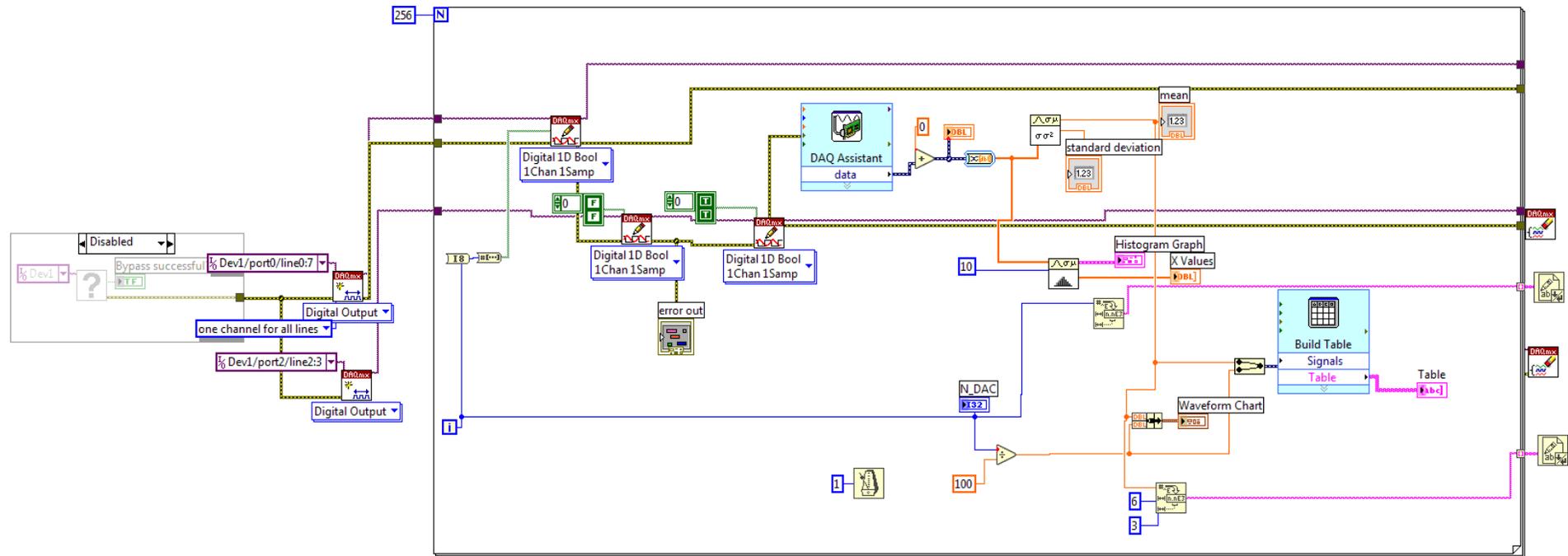


Рис 23. — Блок диаграмма ВИ для исследования МХ ЦАП

### 10.3 Создание ВИ для исследования МХ АЦП

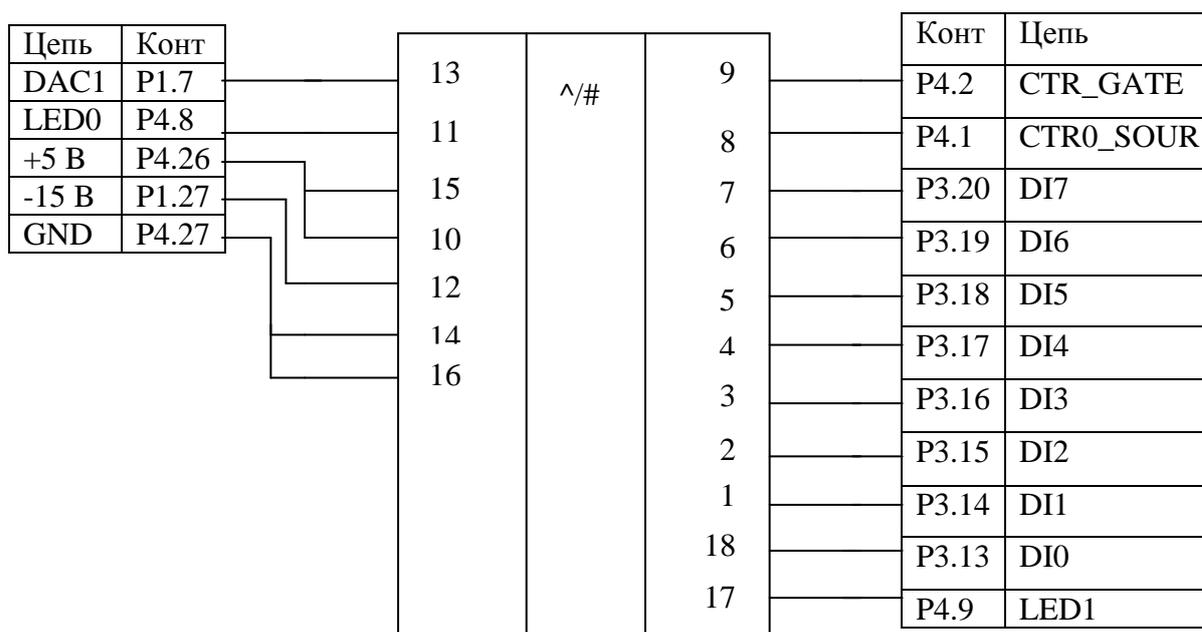


Рис.24 — Схема подключения К1113ПВ1

1. Провести сборку схемы указанной на рисунке 12.
2. Установить макетную плату на NI ELVIS и подать питание в схему.
3. Открыть Labview и организовать ВИ для исследования схемы
  1. Открыть ВП и поместить на блок диаграмму While Loop.
  2. Поместить на блок диаграмму, внутрь While Loop, Flat Sequence Structure. Создать пять поддиаграмм.
  3. Поместить на первый фрейм элементы п.1-2 раздела 11
  4. Поместить во второй фрейм элемент divide, создать constant, записать значение 100 и соединить с одним из входов divide. К второму входу присоединить элемент Loop iteration цикла For Loop.
  5. Поместить на блок диаграмму во второй фрейм DAQ Assistant. Выбрать следующие задачи
    1. Measurement type: Analog I/O
    2. Analog I/O: ai1
    3. Acquisition Mode: 1 Sample(On Demand)
    4. Voltage: 0...10
  6. Поместить на блок диаграмму в третий фрейм DAQmx Create Virtual Channel. Из выпадающего окна выбрать Digital Output. На входе создать constant записать Dev/port/line4.

7. Поместить на блок в третий фрейм DAQmx Write выбрать: Digital Signal – 1 Chanel – 1 Sample – Boolean (1 line) и на выходе Output pattern создать constant и выбрать true
8. Поместить на блок диаграмму в четвертый фрейм элемент аналогичный пункту 7. На входе Output Pattern создать Constant и выбрать false
9. Поместить на блок диаграмму в пятый фрейм DAQmx Create Virtual Chanel. Из выпадающего окна выбрать Digital input. На выходе physical channels создать Constant и записать Dev1/port0/line0:7.
10. Поместить на блок диаграмму в пятый фрейм DAQmx Read. В выпадающем окне выбрать Digital Signal – 1 Chanel – 1 Samle – 1D Boolean (N line). Соединить входы task и error с соответствующими выходами DAQmx Create Virtual Chanel.
11. Поместить на блок диаграмму в пятый фрейм DAQmx Clean. Подключить входы error и task к соответствующим выходам DAQmx Create Virtual Channel.
12. Поместить на блок диаграмму в пятый фрейм элементы аналогичные п. 9-11. На входе physical channels записать Dev1/port2/line0:1
13. Поместить на блок диаграмму в пятый фрейм Build Array. Растянуть до 2 входов. К первому входу подключить Output Pattern из пункта 7, ко второму — из пункта 12. Нажать на элемент правой кнопкой мыши и из выпадающего меню выбрать Concatenate Inputs. На выходе создать индикатор и назвать Read array.
14. Перейти на лицевую панель и растянуть Indicator Read array до 8 индикаторов
15. Поместить на блок диаграмму пятый фрейм Array to num и подключить вход к выходу build array. На выходе создать indicator 2 штуки и переименовать в 1- на Number read, 2- на Number read bin
16. Поместить на блок диаграмму в пятый фрейм Formula Node, создать вход N и подключить к выходу array to num; создать выход U, создать Indicator и назвать ADC; записать во внутрь Formula Node:  $\text{float } U = (N/1023) * 10;$
17. Поместить на блок диаграмму, внутри While Loop, bundle. Подключить 1 вход к выходу U, 2 вход- к выходу Select из второго фрейма.

18. Поместить на лицевую панель Waveform Chart, расположенны в палитре Graph. Перейти на блок диаграмму и подключить вход к выходу bundle.
19. Поместить на блок диаграмму, внутри While Loop, 2 штуки Write to Spreadsheet File. Создать на входах file path и format каждого control. Входы 1D data подключить к выходам build array . control file path назвать соответственно ADC и DAC, а format – ADC format и DAC format
20. Сохранить ВП
21. Запустить и наблюдать работу программы

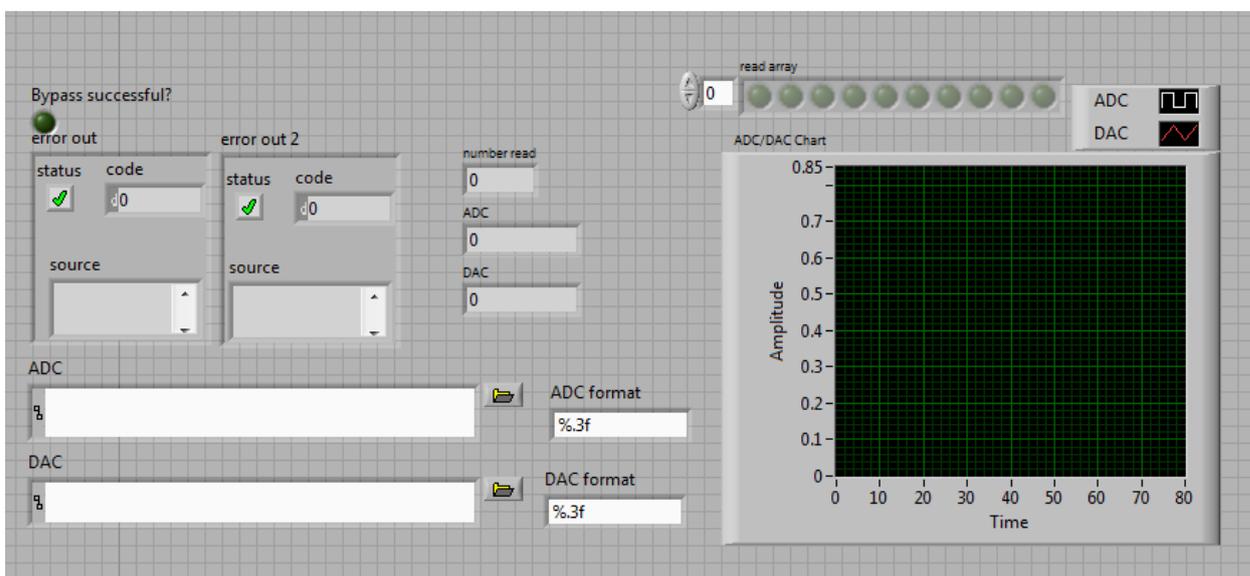


Рис. 25 — Лицевая панель для исследования МХ АЦП

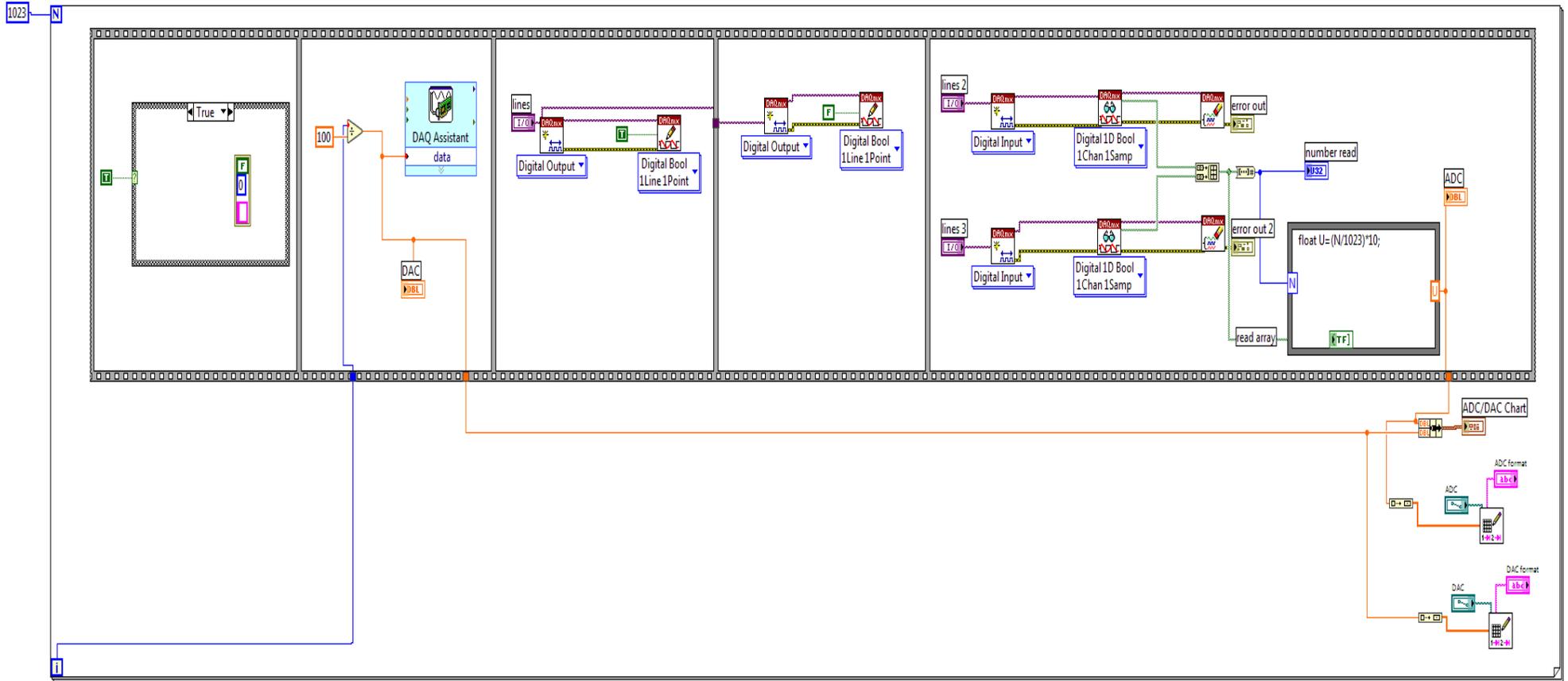


Рис. 26 — Блок диаграмма для исследования МХ АЦП

## 10.4 Расчет погрешностей для ЦАП

Результатом работы будет ступенчатый график, характеристика преобразования, демонстрирующая принцип работы ЦАП и АЦП.

Рис.27 — Характеристика преобразования ЦАП

Значение кванта преобразования для 8 разрядного ЦАП

$$h = \frac{U_{\text{пш}}}{2^N - 1} = 0.01 \text{ В}$$

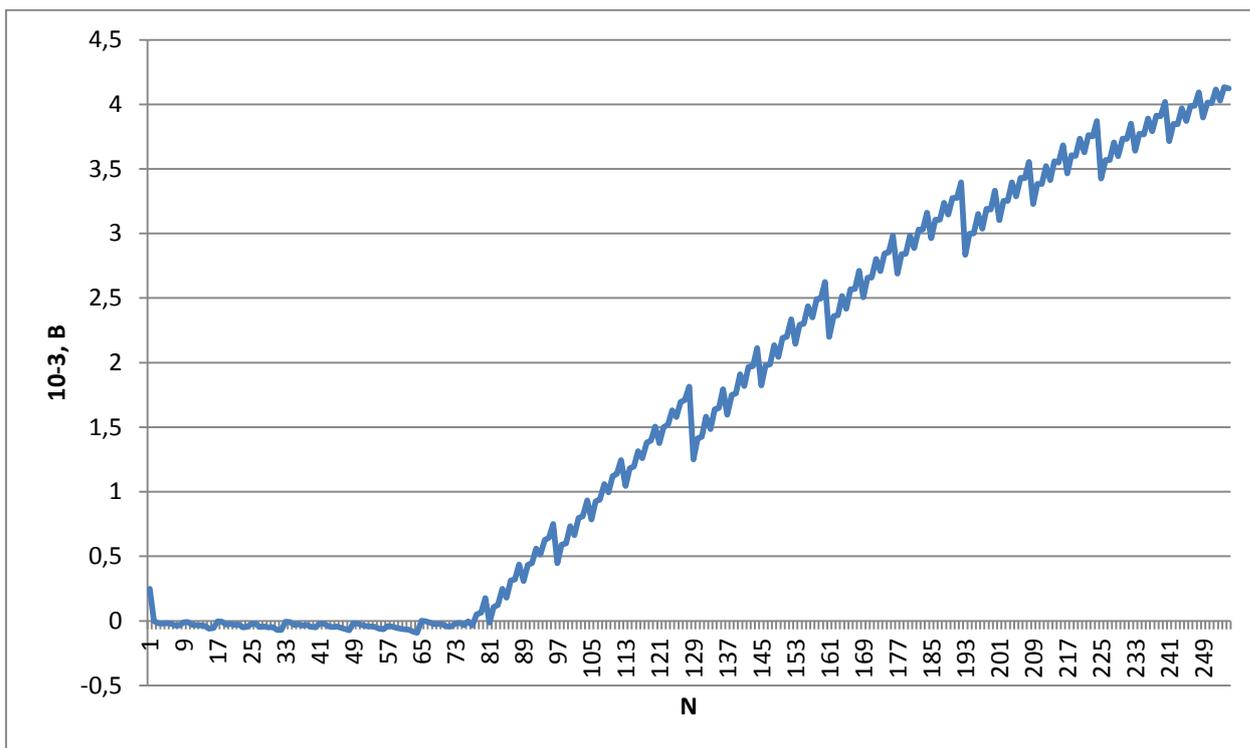


Рис.28 — График погрешности квантования ЦАП

Расчеты указаны в приложении 2

Погрешность смещения нуля ЦАП (аддитивная погрешность):

$$\varepsilon_{\text{см}} = U_{\text{вх01}} - \frac{h}{2} = 0.00252 \text{ В}$$

Погрешность полной шкалы ЦАП (мультипликативная погрешность):

$$\delta_{\text{пш}} = \frac{\varepsilon_{\text{пш}}}{U_{\text{пш}}} \cdot 100\% = 1.25\%$$

Дифференциальная нелинейность в точках, разность между значением кванта преобразования  $h_k$  и средним значением кванта преобразования  $h$  к примеру для 127-128.

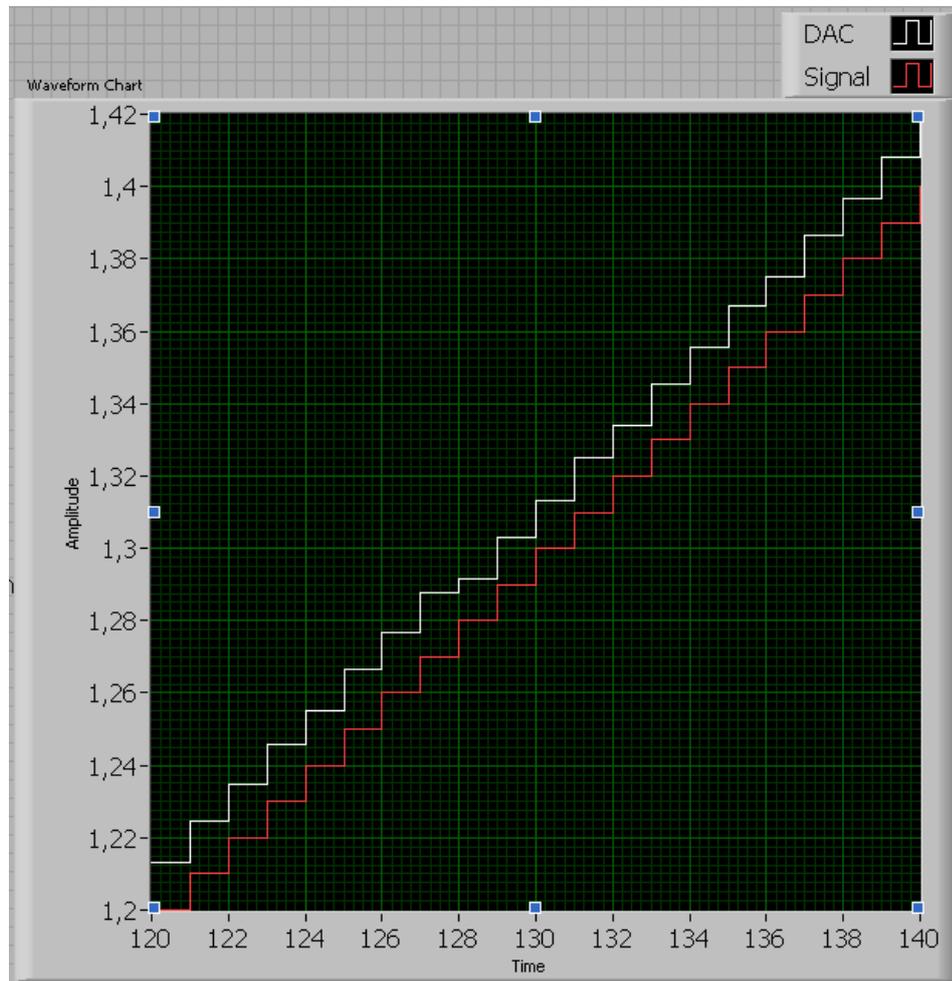


Рис.29 — Дифференциальная нелинейность ЦАП в точках 127-128  
Дифференциальная нелинейность:

$$\delta_{дл} = \frac{h_k - h}{U_{пш}} \cdot 100\% = 0.43\%$$

### 10.5 Расчет погрешностей для АЦП

Рис. 30 — Характеристика преобразования АЦП  
Значение кванта преобразования для 10 разрядного ЦАП

$$h = \frac{U_{пш}}{2^N - 1} = 0.001 \text{ В}$$

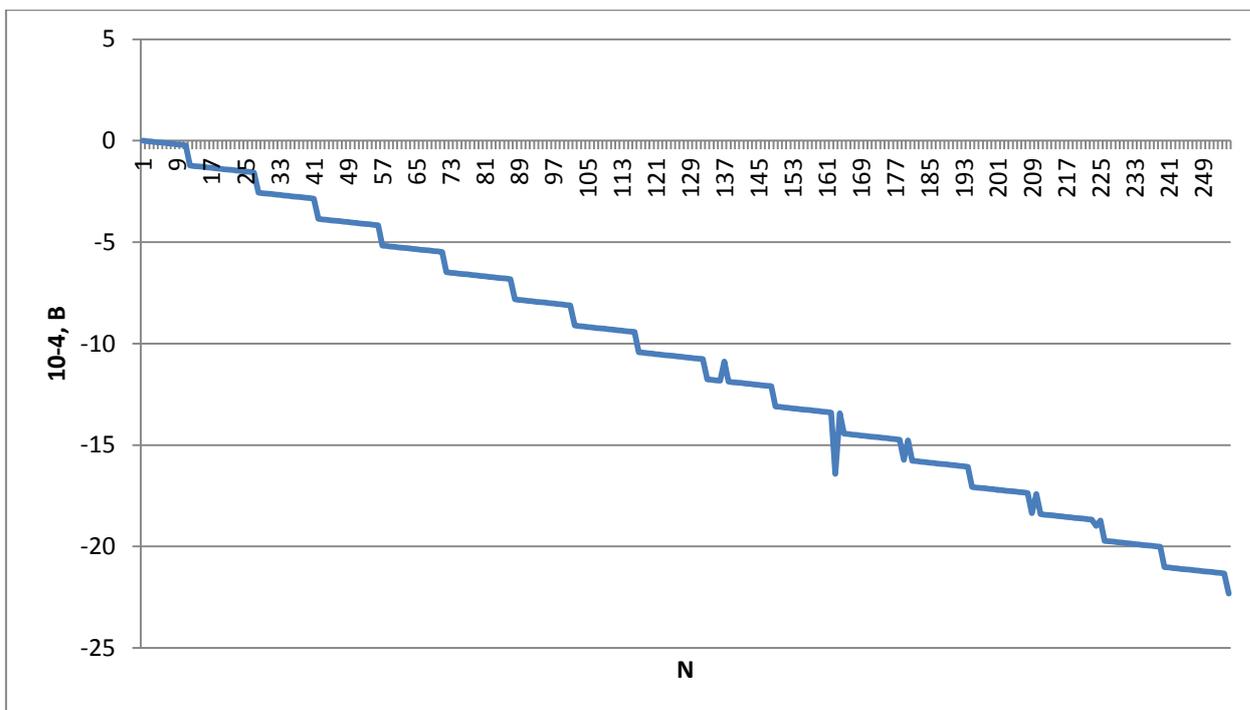


Рис. 31 — График погрешности квантования для первых 8 разрядов АЦП  
 Расчеты приведены в приложении 1

Погрешность смещения нуля АЦП (аддитивная погрешность):

$$\varepsilon_{\text{см}} = U_{\text{вх01}} - \frac{h}{2} = 0.000125 \text{ В}$$

Погрешность полной шкалы АЦП (мультипликативная погрешность):

$$\delta_{\text{пш}} = \frac{\varepsilon_{\text{пш}}}{U_{\text{пш}}} \cdot 100\% = 2.01\%$$

## **11. Дополнительный раздел БЖД**

### **Область применения**

Разрабатываемый виртуальный инструмент будет использован в лабораторной работе «Исследование метрологических характеристик АЦП и ЦАП», в которой наглядно демонстрируются погрешности, возникающие в ходе аналогово-цифрового преобразования.

ВИ реализован с помощью набора типовых лабораторных измерительных приборов NI ELVIS, который включает в себя многофункциональное устройство ввода-вывода, рабочую станцию, макетную плату и программы, разработанные в среде «Labview».

### **Возможные вредные воздействия**

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» к опасным воздействиям, которые могут возникнуть в процессе работы могут стать:

1. Недостаточность или отсутствие естественного освещения
2. Недостаточность или отсутствие искусственного освещения
3. Повышенная яркость света
4. Недостаточная световая или цветовая контрастность
5. Прямая или отраженная блескость
6. Пульсация светового потока
7. Статическая нагрузка
8. Умственное перенапряжение, вызванное информационной нагрузкой
9. Перенапряжение анализаторов, вызванное информационной нагрузкой

Из этого следует, что наибольшее внимание следует уделить организации рабочего места, нормированию рабочего времени и соблюдению технических требований используемого ЭВМ. Для этого установлены следующие нормативные документы:

1. ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя»
2. ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений»
3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
4. СанПиН 2.2.2.1327-03 «Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту»
5. Согласно ГОСТ 3.1109-82 «Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий (с Изменением № 1)»

### **Обеспечение безопасности**

Безопасность процесса обеспечивается применением технологий, которые исключают непосредственный контакт с вредными факторами среды. Вероятность аварийных ситуаций снижен до минимума, т.к. проведение работы предполагает использование современной техники и технологий. Помещения, в которых располагаются рабочие места и необходимая техническая аппаратура соответствуют всем необходимым пожарным и гигиеническим нормам.

Перед выполнением необходимо пройти инструктаж, ознакомиться с соответствующей технической документацией, инструкциями по эксплуатации, памятками с действиями необходимыми при возникновении аварийных ситуаций, убедиться в исправности оборудования.

При сборке функциональной схемы на макетной плате с реальным аналогово-цифровым преобразователем, необходимо учитывать конфликт ресурсов который может возникнуть. В ниже приведенной таблице представлена информация о проблемах, которые могут возникнуть.

Условные обозначения:

aid = DAQ AI, different channels — Функции аналогового ввода, различные каналы

ais = DAQ AI, same channels — Функции аналогового ввода, одинаковые каналы

ao = DAQ AO — Функции аналогового вывода

fg = NI ELVIS function generator — Функциональный генератор NI ELVIS

ca = NI ELVIS current amplifier — Усилитель тока NI ELVIS

Таблица — Возможные конфликты ресурсов

	Function Generator – Base	Function Generator – Ultrafine	Function Generator – Modulated	ARB DAC <0..1>	Oscilloscope	Dynamic Signal Analyzer	DMM – Continuity Tester	DMM – Resistance Meter	DMM – Capacitance Meter	DMM – Inductance Meter	DMM – Voltmeter	DMM – Ammeter	DMM – Diode Tester	Impedance Analyzer	Bode Analyzer	Two-Wire Current-Voltage Analyzer	Three-Wire Current-Voltage Analyzer
Function Generator – Base	-	fg	fg	-	-	-	-	fg	fg	fg	-	-	-	fg	fg	-	-
Function Generator – Ultrafine	fg	-	fg	ao	-	-	-	fg	fg	fg	-	-	-	fg	fg	-	-
Function Generator – Modulated	fg	fg	-	ao	-	-	-	fg	fg	fg	-	-	-	fg	fg	-	-
ARB DAC <0..1>	-	ao	ao	-	-	-	ao	-	-	-	-	-	ao	-	-	ao	ao
Oscilloscope	-	-	-	-	-	ais	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid
Dynamic Signal Analyzer	-	-	-	-	ais	-	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid
DMM – Continuity Tester	-	-	-	ao	aid	aid	-	ca	ca	ca	ais	ca	ca	ca	aid	ca	ca
DMM – Resistance Meter	fg	fg	fg	-	aid	aid	ca	-	ca	ca	ais	ca	ca	ca	aid	ca	ca
DMM – Capacitance Meter	fg	fg	fg	-	aid	aid	ca	ca	-	ca	ais	ca	ca	ca	aid	ca	ca
DMM – Inductance Meter	fg	fg	fg	-	aid	aid	ca	ca	ca	-	ais	ca	ca	ca	aid	ca	ca
DMM – Voltmeter	-	-	-	-	aid	aid	ais	ais	ais	ais	-	ca	ca	ca	aid	ca	ca
DMM – Ammeter	-	-	-	-	aid	aid	ca	ca	ca	ca	ca	-	ca	ca	aid	ca	ca
DMM – Diode Tester	-	-	-	ao	aid	aid	ca	ca	ca	ca	ca	ca	-	ca	aid	ca	ca
Impedance Analyzer	fg	fg	fg	-	aid	aid	ca	ca	ca	ca	ca	ca	-	aid	ca	ca	ca
Bode Analyzer	fg	fg	fg	-	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	aid	-	aid	aid
Two-Wire Current-Voltage Analyzer	-	-	-	ao	aid	aid	ca	ca	ca	ca	ca	ca	ca	ca	aid	-	ca
Three-Wire Current-Voltage Analyzer	-	-	-	ao	aid	aid	ca	ca	ca	ca	ca	ca	ca	ca	aid	ca	-

**Conflict Codes:**  
aid = DAQ AI, different channels  
ais = DAQ AI, same channels  
ao = DAQ AO  
fg = NI ELVIS function generator  
ca = NI ELVIS current amplifier

**No Resource Conflicts:**  
DAQ counter/timers  
NI ELVIS variable power supplies  
NI ELVIS digital output

Таб.7 — Возможные конфликты ресурсов

Не создают конфликтов:

- DAQ counter/timers – счетчики/таймеры модуля ввода-вывода
- NI ELVIS variable power supplies – регулируемые источники питания
- NI ELVIS digital output – каналы цифрового ввода-вывода

При работе с настольной станцией необходимо выполнять требования эксплуатации, несоблюдение этих требований может привести к отказу оборудования или некорректной его работе.

•Установка/изъятие макетной платы в рабочую станцию NI ELVIS должно происходить при отключенном питании.

•На макетной плате NI ELVIS есть гнезда, которые подключены непосредственно к контактам модуля ввода-вывода М серии. Эти гнезда и соответствующие им сигналы описаны в таблице 5.

•Для обеспечения указанных параметров электромагнитной совместимости длина всех кабелей ввода-вывода не должна превышать 3 метра (10 футов)

•Не отключайте модули до тех пор, пока не будет выключено питание, либо не будет уверенности в безопасности зоны

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе преддипломной практики осуществлен анализ аппаратной части эксперимента: технических и метрологических характеристик NI-PCI-6251 и NI-ELVIS. Составлен обзор существующих методов цифро-аналоговых и аналого-цифровых, их достоинств и недостатков. Представлен обзор погрешностей возникающих в ходе аналого-цифрового преобразования их описание и анализ.

Также была построена структурная и принципиальная схема эксперимента для лабораторной работы «Исследование метрологических характеристик ЦАП и АЦП». Для исследования метрологических было разработано программное обеспечение в среде «Labview», разработаны методические указания по разработке программного обеспечения. Проведен анализ полученных результатов и наглядно продемонстрированы возникающие погрешности возникающие в ходе аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. AD557: DACPORT Low Cost, Complete  $\mu$ P-Compatible 8-Bit DAC Data Sheet
2. Технические средства, Руководство пользователя Комплект виртуальных измерительных приборов для учебных лабораторий NI ELVIS© апрель 2006 - перевод на русский язык: учебный центр "Центр технологий National Instruments «Новосибирский государственный технический университет» Российский филиал корпорации National Instruments.
3. Хоровиц п., хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ. - Изд. 2-е. - М.: Издательство БИНОМ . - 2014. - 704 с., ил. ISBN 978-5-9518-0351-1
4. Гусев В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. — 6-е изд., стер. — М.: КНОРУС, 2013. — 800с. — (Бакалавриат). ISBN 978-5-406-02537-6
5. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых аналого-цифровых электронных устройств. – М.:Издательский дом «Додэка-XXI», 2005.- 528 с. ISBN 5-94120-074-9
6. Под ред. Уолта Кестера Аналого-Цифровое преобразование. Москва: Техносфера, 2007. – 1016 с. ISBN 978-5-94836-146-8
7. Никамин В.А. Аналогово-Цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Справочник. — СПб.: КОРОНА принт; М.: «Альтекс-А», 2003. — 224 с., ил. ISBN 5-94271-013-9
8. Под ред. Алексеева В.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2007. — 384. ISBN 978-5-7695-2888-0
9. Суранов А.Я. Labview 8.20: Справочник по функциям. – М.: ДМК Пресс, 2007. -536 с. ISBN 5-94074-207-6
10. Кехтарнаваз Н., Ким Н. Цифровая обработка сигналов на системном уровне с использованием Labview(+CD)/Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. — 304 с.: илл. ISBN 978-5-94120-108-2

## Приложение 1 Расчет погрешности квантования АЦП

N	N_DAC	$\Delta$	N	N_DAC	$\Delta$	N	N_DAC	$\Delta$
0	248,349694	0.248	84	84,181473	0.181	169	171,657579	2.658
1	998,979414	-0.001	85	85,313604	0.314	170	172,659966	2.66
2	1,983420	-0.017	86	86,319921	0.32	171	173,803053	2.803
3	2,979910	-0.02	87	87,436200	0.436	172	174,707528	2.708
4	3,982264	-0.018	88	88,309197	0.309	173	175,846329	2.846
5	4,978915	-0.021	89	89,435045	0.435	174	176,854098	2.854
6	5,963710	-0.036	90	90,445518	0.446	175	177,983652	2.984
7	6,965000	-0.035	91	91,560702	0.561	176	178,687920	2.688
8	7,989263	-0.011	92	92,513472	0.513	177	179,838611	2.839
9	8,992841	-0.007	93	93,626691	0.627	178	180,842480	2.842
10	9,968969	-0.031	94	94,643737	0.644	179	181,983441	2.983
11	10,967135	-0.033	95	95,749964	0.75	180	182,888012	2.888
12	11,965075	-0.035	96	96,446628	0.447	181	184,031486	3.031
13	12,962660	-0.037	97	97,589681	0.59	182	185,029621	3.03
14	13,941301	-0.059	98	98,598608	0.599	183	186,161624	3.162
15	14,944589	-0.055	99	99,734025	0.734	184	186,963708	2.964
16	15,996850	-0.003	100	100,665208	0.665	185	188,106860	3.107
17	16,995080	-0.005	101	101,798822	0.799	186	189,106541	3.107
18	17,973366	-0.027	102	102,810326	0.81	187	190,237836	3.238
19	18,976300	-0.024	103	103,933887	0.934	188	191,145984	3.146
20	19,970213	-0.03	104	104,785490	0.785	189	192,276441	3.276
21	20,971504	-0.028	105	105,925837	0.926	190	193,276252	3.276
22	21,948791	-0.051	106	106,937760	0.938	191	194,395432	3.395
23	22,954303	-0.046	107	108,060516	1.061	192	194,836281	2.836
24	23,977051	-0.023	108	108,995856	0.996	193	195,998441	2.998
25	24,976892	-0.023	109	110,122348	1.122	194	197,001216	3.001
26	25,952343	-0.048	110	111,138460	1.138	195	198,151423	3.151
27	26,956920	-0.043	111	112,245010	1.245	196	199,037051	3.037
28	27,949866	-0.05	112	113,045740	1.046	197	200,191156	3.191
29	28,952993	-0.047	113	114,182060	1.182	198	201,186295	3.186
30	29,930152	-0.07	114	115,195175	1.195	199	202,332862	3.333
31	30,928962	-0.071	115	116,314773	1.315	200	203,103791	3.104
32	31,994561	-0.005	116	117,259231	1.259	201	204,252517	3.253
33	32,992501	-0.007	117	118,381149	1.381	202	205,253809	3.254
34	33,968629	-0.031	118	119,397390	1.397	203	206,396671	3.397
35	34,973528	-0.026	119	120,505131	1.505	204	207,288066	3.288
36	35,965282	-0.035	120	121,377290	1.377	205	208,429671	3.43
37	36,969827	-0.03	121	122,498983	1.499	206	209,428032	3.428
38	37,954332	-0.046	122	123,520282	1.52	207	210,554591	3.555
39	38,948631	-0.051	123	124,630666	1.631	208	211,227607	3.228
40	39,980111	-0.02	124	125,580182	1.58	209	212,385354	3.385
41	40,979372	-0.021	125	126,695076	1.695	210	213,385133	3.385
42	41,959978	-0.04	126	127,708804	1.709	211	214,523162	3.523
43	42,952312	-0.048	127	128,815418	1.815	212	215,413687	3.414
44	43,957663	-0.042	128	129,251014	1.251	213	216,560254	3.56
45	44,947387	-0.053	129	130,413206	1.413	214	217,550303	3.55
46	45,936724	-0.063	130	131,424614	1.425	215	218,681630	3.682
47	46,928221	-0.072	131	132,581296	1.581	216	219,465028	3.465
48	47,981126	-0.019	132	133,484192	1.484	217	220,605571	3.606

49	48,979001	-0.021	133	134,638619	1.639	218	221,600774	3.601
50	49,966954	-0.033	134	135,648577	1.649	219	222,735711	3.736
51	50,958933	-0.041	135	136,793274	1.793	220	223,629297	3.629
52	51,958001	-0.042	136	137,595551	1.596	221	224,761462	3.761
53	52,954974	-0.045	137	138,750171	1.75	222	225,753154	3.753
54	53,941090	-0.059	138	139,761321	1.761	223	226,871047	3.871
55	54,935744	-0.064	139	140,909659	1.91	224	227,424822	3.425
56	55,960361	-0.04	140	141,818483	1.818	225	228,568876	3.569
57	56,958108	-0.042	141	142,966885	1.967	226	229,570395	3.57
58	57,946801	-0.053	142	143,972880	1.973	227	230,706169	3.706
59	58,938942	-0.061	143	145,112068	2.112	228	231,598853	3.599
60	59,935497	-0.065	144	145,822844	1.823	229	232,734241	3.734
61	60,932470	-0.068	145	146,976143	1.976	230	233,731668	3.732
62	61,917523	-0.082	146	147,987326	1.987	231	234,851043	3.851
63	62,908342	-0.092	147	149,136340	2.136	232	235,639596	3.64
64	64,001811	0.002	148	150,043844	2.044	233	236,771214	3.771
65	64,997173	-0.003	149	151,190667	2.191	234	237,768126	3.768
66	65,986221	-0.014	150	152,200303	2.2	235	238,889789	3.89
67	66,974141	-0.026	151	153,336108	2.336	236	239,792396	3.792
68	67,977591	-0.022	152	154,144056	2.144	237	240,913801	3.914
69	68,971085	-0.029	153	155,294133	2.294	238	241,907298	3.907
70	69,958264	-0.042	154	156,300902	2.301	239	243,020003	4.02
71	70,956623	-0.043	155	157,438350	2.438	240	243,714833	3.715
72	71,979114	-0.021	156	158,350139	2.35	241	244,849383	3.849
73	72,984110	-0.016	157	159,492001	2.492	242	245,846037	3.846
74	73,966649	-0.033	158	160,497094	2.497	243	246,970245	3.97
75	74,995842	-0.004	159	161,625650	2.626	244	247,870920	3.871
76	75,964366	-0.036	160	162,199529	2.2	245	248,987234	3.987
77	77,051101	0.051	161	163,360529	2.361	246	249,989011	3.989
78	78,063991	0.064	162	164,367878	2.368	247	251,093727	4.094
79	79,177918	0.178	163	165,515700	2.516	248	251,897488	3.897
80	79,987798	-0.012	164	166,417276	2.417	249	253,014834	4.015
81	81,107460	0.107	165	167,567160	2.567	250	254,009684	4.01
82	82,121800	0.122	166	168,571481	2.571	251	255,115785	4.116
83	83,247680	0.248	167	169,711345	2.711	252	256,028316	4.028
84	84,181473	0.181	168	170,506470	2.506	253	257,131840	4.132

Приложение 2 Погрешность квантования АЦП

N	N_ADC	Δ	N	N_ADC	Δ	N	N_ADC	Δ
0	0.333568	0	86	79.1788856	-6.821	171	156.4027	-14.597
1	0.9775171	-0.022	87	79.1788856	-7.821	172	157.3803	-14.62
2	1.9550342	-0.045	88	80.1564027	-7.844	173	158.3578	-14.642
3	2.9325513	-0.067	89	81.1339198	-7.866	174	159.3353	-14.665
4	3.9100684	-0.09	90	82.111437	-7.889	175	160.3128	-14.687
5	4.8875855	-0.112	91	83.0889541	-7.911	176	161.2903	-14.71
6	5.8651026	-0.135	92	84.0664712	-7.934	177	162.2678	-14.732
7	6.8426197	-0.157	93	85.0439883	-7.956	178	162.2678	-15.732
8	7.8201369	-0.18	94	86.0215054	-7.978	179	164.2229	-14.777
9	8.797654	-0.202	95	86.9990225	-8.001	180	164.2229	-15.777
10	9.7751711	-0.225	96	87.9765396	-8.023	181	165.2004	-15.8
11	9.7751711	-1.225	97	88.9540567	-8.046	182	166.1779	-15.822
12	10.7526882	-1.247	98	89.9315738	-8.068	183	167.1554	-15.845
13	11.7302053	-1.27	99	90.9090909	-8.091	184	168.1329	-15.867
14	12.7077224	-1.292	100	91.886608	-8.113	185	169.1105	-15.889
15	13.6852395	-1.315	101	91.886608	-9.113	186	170.088	-15.912
16	14.6627566	-1.337	102	92.8641251	-9.136	187	171.0655	-15.935
17	15.6402737	-1.36	103	93.8416422	-9.158	188	172.043	-15.957
18	16.6177908	-1.382	104	94.8191593	-9.181	189	173.0205	-15.98
19	17.5953079	-1.405	105	95.7966764	-9.203	190	173.998	-16.002
20	18.572825	-1.427	106	96.7741935	-9.226	191	174.9756	-16.024
21	19.5503421	-1.45	107	97.7517107	-9.248	192	175.9531	-16.047
22	20.5278592	-1.472	108	98.7292278	-9.271	193	176.9306	-16.069
23	21.5053763	-1.495	109	99.7067449	-9.293	194	176.9306	-17.069
24	22.4828935	-1.517	110	100.6843	-9.316	195	177.9081	-17.092
25	23.4604106	-1.54	111	101.6618	-9.338	196	178.8856	-17.114
26	24.4379277	-1.562	112	102.6393	-9.361	197	179.8631	-17.137
27	24.4379277	-2.562	113	103.6168	-9.383	198	180.8407	-17.159
28	25.4154448	-2.585	114	104.5943	-9.406	199	181.8182	-17.182
29	26.3929619	-2.607	115	105.5718	-9.428	200	182.7957	-17.204
30	27.3702565	-2.63	116	105.5718	-10.428	201	183.7732	-17.227
31	28.34761	-2.652	106.5494	-10.451	202	184.7507	-17.249	
32	29.332	-2.674	107.5269	-10.473	203	185.7283	-17.272	
33	30.3003	-2.697	108.5044	-10.496	204	186.7058	-17.294	
34	31.2805474	-2.719	120109.4819	-10.518	205	187.6833	-17.317	
35	32.2580645	-2.742	121110.4594	-10.541	206	188.6608	-17.339	
36	33.2355816	-2.764	122	111.437	-10.563	207	189.6383	-17.362
37	34.2130987	-2.787	112.4145	-10.585	208	189.6383	-18.362	

38	35.1906158	-2.809	392	-10.608	209	191.5934	-17.407	
39	36.1681329	-2.832	125	114.3695	-10.63	210	191.5934	-18.407
40	37.14565	-2.854	126	115.347-10.653		211	192.5709-18.429	
41	37.14565	-3.854	127	116.3245-10.675		212	193.5484	-18.452
42	38.1231672	-3.877	128	117.3021-10.698		213	194.5259	-18.474
43	39.1006843	-3.899	129	118.2796-10.72		214	195.5034	-18.497
44	40.0782014	-3.922	130	119.2571-10.743		215	196.4809	-18.519
45	41.0557185	-3.944	131	120.2346-10.765		216	197.4585	-18.542
46	42.0332356	-3.967	132	120.2346-11.765		217	198.436	-18.564
47	43.0107527	-3.989	133	121.2121-11.788		218	199.4135	-18.587
48	43.9882698	-4.012	134	122.1896-11.81		219	200.391	-18.609
49	44.9657869	-4.034	135	123.1672-11.833		220	201.3685	-18.631
50	45.943304	-4.057	136	125.1222-10.878		221	202.346	-18.654
51	46.9208211	-4.079	137	125.1222-11.878		222	203.3236	-18.676
52	47.8983382	-4.102	138	126.0997-11.9223		204.011	-18.989	
53	48.8758553	-4.124	139	127.0772-11.923		224	205.2786	-18.721
54	49.8533724	-4.147	140	128.0547-11.945		225	205.2786	-19.721
55	50.8308895	-4.169	141	129.0323-11.968		226	206.2561	-19.744
56	50.8308895	-5.169	142	130.0098-11.99		227	207.2336	-19.766
57	51.8084066	-5.192	143	130.9873-12.013		228	208.2111	-19.789
58	52.7859238	-5.214	144	131.9648-12.035		229	209.1887	-19.811
59	53.7634409	-5.237	145	132.9423-12.058		230	210.1662	-19.834
60	54.740958	-5.259	146	133.9198-12.08		231	211.1437	-19.856
61	55.7184751	-5.282	147	134.8974-12.103		232	212.1212	-19.879
62	56.6959922	-5.304	148	134.8974-13.103		233	213.0987	-19.901
63	57.6735093	-5.326	149	135.8749-13.125		234	214.0762	-19.924
64	58.6510264	-5.349	150	136.8524-13.148		235	215.0538	-19.946
65	59.6285435	-5.371	151	137.8299-13.17		236	216.0313	-19.969
66	60.6060606	-5.394	152	138.8074-13.193		237	217.0088	-19.991
67	61.5835777	-5.416	153	139.7849-13.215		238	217.9863	-20.014
68	62.5610948	-5.439	154	140.7625-13.238		239	217.9863	-21.014
69	63.538	-5.461	155	141.74	-13.26	240	218.9638	-21.036
70	64.516	-5.484	156	142.7175-13.282	241	219.9413	-21.059	
71	64.5161	-6.484	157	143.695-13.305		242	220.9189	-21.081
72	65.4936	-6.506	158	144.6725-13.327		243	221.8964	-21.104
73	66.471	-6.529	159	145.65	-13.35	244	222.8739	-21.126
74	67.4	-6.551	160	146.6276-13.372245	223.8514		-21.149	
75	68.426	-6.574	161	147.6051-13.395	246	224.8289	-21.171	
76	69.403	-6.596	162	145.5826	-16.417	247	225.8065	-21.194
77	70.3812	-6.619	163	149.5601	-13.44	248	226.784	-21.216

78	71.3587	-6.641	164	149.5601	-14.44	249	227.7615	-21.238
79	72.336	-6.664	165	150.5376	-14.462	250	228.739	-21.261
80	73.313	-6.686	166	151.5152	-14.485	251	229.7165	-21.284
81	74.2913001	-6.709	167	152.4927-14.507		252	230.694	-21.306
82	75.2688172	-6.731	168	153.4702-14.53		253	231.6716	-21.328
83	76.2463343	-6.754	169	154.4477-14.552		254	231.6716	-22.328
84	77.2238514	-6.776	170	155.4252-14.575		255	232.649	-22.328