

ГУАП

КАФЕДРА № 42

ОТЧЕТ  
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ \_\_\_\_\_  
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

канд. техн. наук, доцент \_\_\_\_\_  
должность, уч. степень, звание \_\_\_\_\_ подпись, дата \_\_\_\_\_  
А.В. Аграновский  
ициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №8

Цифроанalogовые и analogово-цифровые преобразователи

по курсу: ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА И ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. № \_\_\_\_\_ 4329 \_\_\_\_\_ подпись, дата \_\_\_\_\_  
Д.С. Шаповалова  
ициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2025

## **1. Цель работы:**

Изучение и практическое исследование в среде программного приложения MicroCap характеристик цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей сигналов.

## **2. Электронные модели исследуемых устройств:**

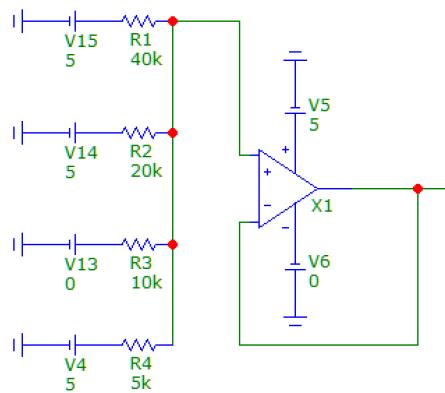


Рисунок 1.1 – Схема ЦАП 1

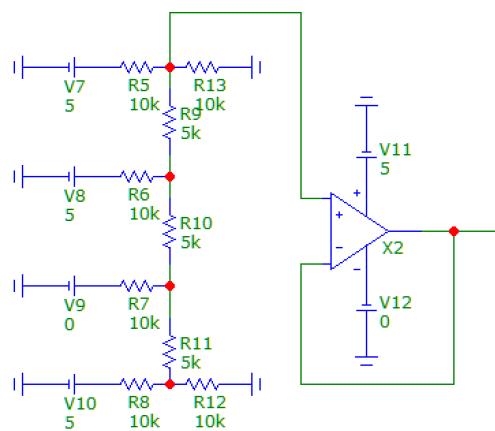


Рисунок 1.2 – Схема ЦАП 2

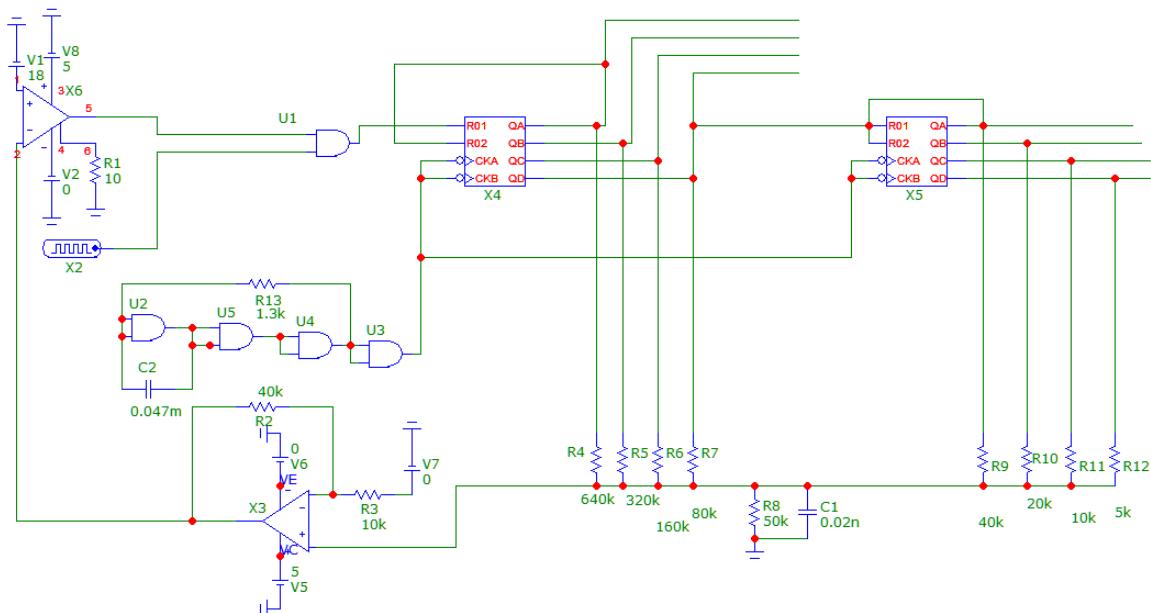


Рисунок 2.1 – Последовательный АЦП со ступенчатым пилообразным напряжением

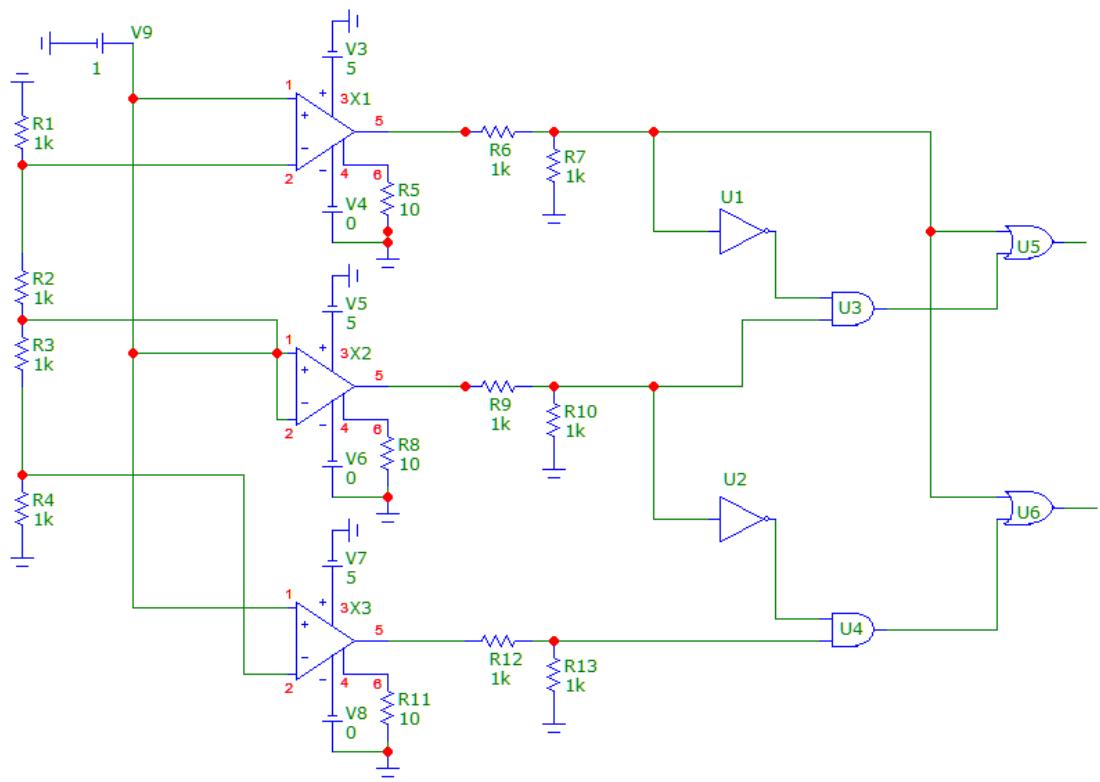


Рисунок 2.2 – Схема АЦП параллельного типа

### **3. Выполнение задания:**

#### **3.1 Таблицы с результатами практических исследований**

В таблице 1 приведены результаты измерений выходного напряжения в ЦАП по первой схеме.

Таблица 1 – Зависимость выходных значений ЦАП от входных, первая схема

$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_{\text{вых}}$
0	0	0	0	1,45
5	0	0	0	1,45
0	5	0	0	1,45
0	0	5	0	1,46
0	0	0	5	2,67
5	5	0	0	1,45
5	0	5	0	1,67
5	0	0	5	3,00
0	5	5	0	2,00
0	5	0	5	3,33
0	0	5	5	3,55
5	5	5	0	2,33
5	0	5	5	3,55
5	5	0	5	3,55
0	5	5	5	3,55
5	5	5	5	3,55

В таблице 2 отображены результаты измерений выходного напряжения в ЦАП по второй схеме.

Таблица 2 – Зависимость выходных значений ЦАП от входных, вторая схема

$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_{\text{вых}}$
0	0	0	0	1,45
5	0	0	0	1,67
0	5	0	0	1,45
0	0	5	0	1,45
0	0	0	5	1,45
5	5	0	0	2,50

5	0	5	0	2,08
5	0	0	5	1,88
0	5	5	0	1,45
0	5	0	5	1,45
0	0	5	5	1,45
5	5	5	0	2,92
5	0	5	5	2,29
5	5	0	5	2,71
0	5	5	5	1,48
5	5	5	5	3,13

В таблице 3 результаты измерений выходного кода параллельного АЦП.

Таблица 3 – Зависимость выходного кода от входного напряжения, параллельная схема

$U_{BX}, \text{В}$	$d_0$	$d_1$
1,0	0	0
1,2	0	0
1,5	0	1
2,00	0	1
2,4	0	1
2,6	1	0
3,00	1	0
3,5	1	0
4,00	1	1
5,00	1	1

### 3.2 Временные реализации для последовательного АЦП

На рисунке 3 изображены временные реализации последовательного АЦП: ступенчато нарастающее выходное напряжение, выход тактового генератора и выход компаратора.

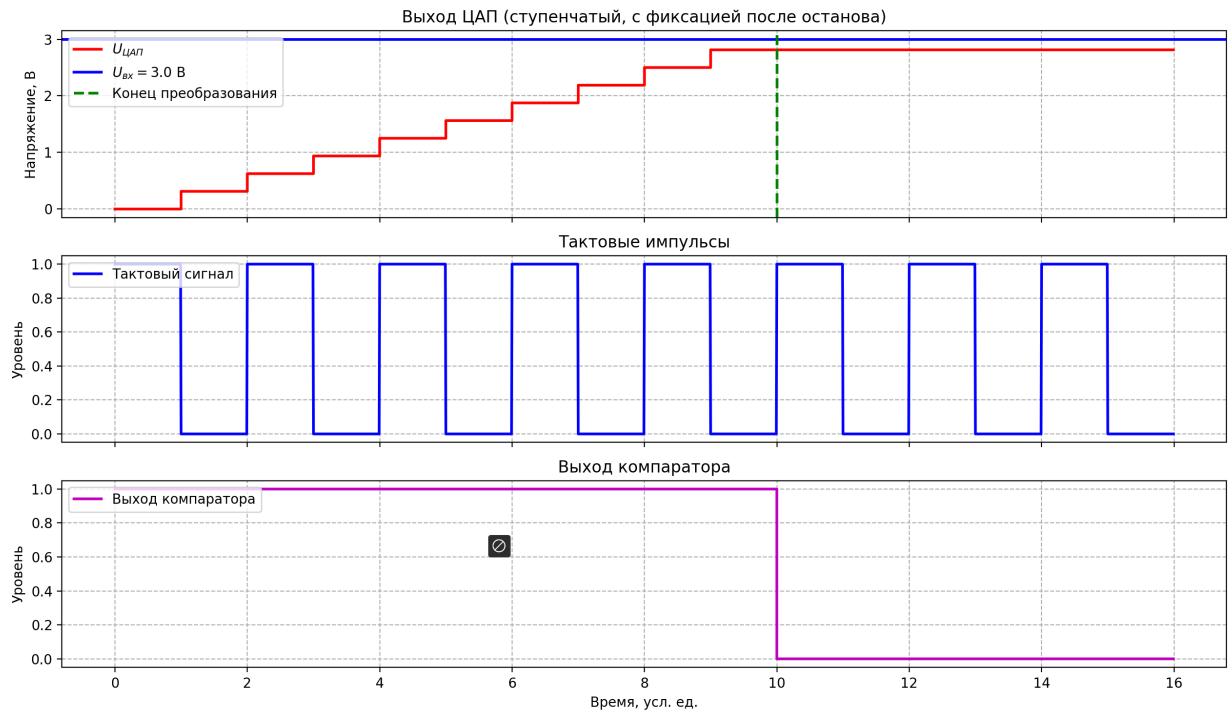


Рисунок 3 – Временные диаграммы для последовательного АЦП

### 3.3 Статические характеристики ЦАП и АЦП

Статические характеристики цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей описывают связь между входной и выходной величинами в установившемся режиме, когда входной сигнал не изменяется во времени. Такие характеристики позволяют оценить линейность, монотонность и точность преобразования.

В ходе лабораторной работы были исследованы два типа 4-разрядных цифро-аналоговых преобразователей: на основе весовых резисторов и на резистивной матрице R–2R.

В ЦАП с весовыми резисторами наблюдается значительная неравномерность вклада отдельных разрядов. Так, при нулевом входном коде выходное напряжение составляет 1,45 В, что, вероятно, связано с особенностями схемы в Micro-Cap. При активации только старшего разряда ( $U_4 = 5$  В) напряжение резко возрастает до 2,67 В, что отражает высокий вес этого бита в весовой схеме. Однако при заполнении младших разрядов изменения выходного напряжения незначительны или отсутствуют: например, сочетания 0010, 0100 и даже 0110 дают напряжение около 1,45–2,00 В. Наиболее высокое значение (3,55 В) достигается уже при нескольких комбинациях, включая неполные коды (например, 0011), что свидетельствует о низкой линейности и плохой монотонности данной схемы.

В отличие от этого, ЦАП на матрице R-2R демонстрирует более предсказуемое и сбалансированное поведение. При нулевом коде выходное напряжение также составляет 1,45 В, но с включением старших разрядов оно нарастает последовательно:

- код 1000 → 1,67 В,
- код 1100 → 2,50 В,
- код 1110 → 2,92 В,
- полный код 1111 → 3,13 В.

Хотя вклад младших битов ( $U_2, U_3$ ) в отдельных случаях слабо выражен, в целом схема обеспечивает более линейную и монотонную статическую характеристику по сравнению с весовой матрицей.

Что касается аналого-цифрового преобразователя, в работе исследовался 2-разрядный параллельный (флэш) АЦП. Его статическая характеристика имеет ступенчатый вид с тремя порогами срабатывания компараторов. Экспериментально установлены следующие интервалы:

- при  $U_{\text{вх}} = 1,0\text{--}1,2$  В – код 00,
- при  $U_{\text{вх}} = 1,5\text{--}2,4$  В – код 01,
- при  $U_{\text{вх}} = 2,6\text{--}3,5$  В – код 10,

- при  $U_{вх} = 4,0\text{-}5,0$  В – код 11.

Характеристика является монотонной: с ростом входного напряжения код не уменьшается. Ширина ступеней соответствует ожидаемым значениям для 2-битного преобразователя с опорным напряжением 5 В (теоретические пороги – 1,25 В, 2,5 В, 3,75 В), что подтверждает корректную работу схемы.

## **ВЫВОД**

В ходе выполнения лабораторной работы были исследованы статические характеристики двух типов цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) – на основе весовых резисторов и на резистивной матрице R-2R – а также проведён анализ работы 2-разрядного параллельного аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Экспериментальные данные показали, что ЦАП с весовыми резисторами обладает низкой линейностью: выходное напряжение слабо зависит от младших разрядов и резко возрастает при активации старшего бита ( $U_4$ ), что приводит к неравномерному распределению уровней выходного сигнала и даже к повторяющимся значениям при разных входных кодах (например, множество комбинаций даёт напряжение 3,55 В). Это свидетельствует о высокой чувствительности схемы к погрешностям подбора резисторов и делает её непригодной для точных преобразований.

В то же время ЦАП на матрице R-2R продемонстрировал значительно более сбалансированное и предсказуемое поведение: с ростом цифрового кода выходное напряжение увеличивается последовательно, а вклад старших разрядов соответствует их двоичному весу. Хотя младшие биты в некоторых случаях почти не влияют на результат (возможно, из-за ограничений моделирования в Micro-Cap), в целом схема обеспечивает лучшую монотонность и линейность по сравнению с весовой матрицей.

Анализ параллельного АЦП подтвердил корректность его работы: при увеличении входного напряжения выходной код последовательно изменяется от 00 до 11, переходы происходят вблизи теоретических порогов (1,25 В, 2,5 В, 3,75 В), а характеристика остаётся монотонной – код никогда не уменьшается при росте входного сигнала.

Таким образом, можно сделать вывод, что архитектура преобразователя напрямую влияет на качество его статических характеристик, и для практических применений, требующих точности и линейности, предпочтение следует отдавать схемам на основе резистивной матрицы R-2R, а не весовых резисторов.