

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### по проведению практического занятия №9

Тема занятия:

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

### 9.1. Основные сведения об аналогово-цифровых преобразователях (АЦП)

АЦП предназначен для автоматического преобразования непрерывного (аналогового) напряжения в цифровой сигнал (цифровое слово).

Условное обозначение АЦП показано на рис. 9.1.

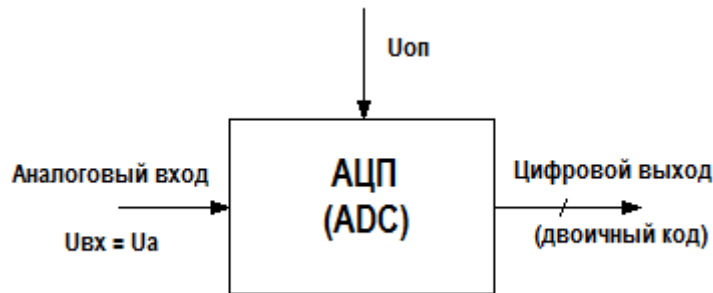


Рис. 9.1

В АЦП входное аналоговое напряжение  $U_{\text{вх}} = U_{\text{А}}$  приближенно представляется в виде доли опорного напряжения  $U_{\text{оп}}$ . При этом выходным сигналом такого преобразователя является цифровое слово в двоичном коде:

$$D_{(2)} = \{B_{n-1}, B_{n-2}, \dots, B_0\},$$

и, следовательно,

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{А}} = U_{\text{оп}} \cdot D_{(10)},$$

где  $D_{(10)} = U_{\text{вх}} / U_0 = B_{n-1} \cdot 2^{-1} + B_{n-2} \cdot 2^{-2} + \dots + B_0 \cdot 2^{-n}$  – десятичное число (по

основанию 10);

$n$  – длина цифрового слова (или число двоичных разрядов);

$B_{n-1}, B_{n-2}, \dots, B_0$  – разрядные коэффициенты, принимающие значения **0**

или **1**.

АЦП характеризуются статическими и динамическими параметрами.

Статические параметры (разрядность, разрешающая способность, шаг квантования, погрешности квантования и др.) определяются по характеристике преобразования.

К основным динамическим параметрам АЦП относятся частота преобразования (или частота дискретизации), максимальная частота дискретизации, время выборки, максимальное время преобразования.

Студентам предлагается вспомнить определения этих параметров и характеристик.

Преподавателю целесообразно напомнить студентам учебной группы принципы функционирования таких преобразователей на примере АЦП по методу поразрядного взвешивания (или по методу последовательных приближений), который широко применяется на практике (рис. 9.2).

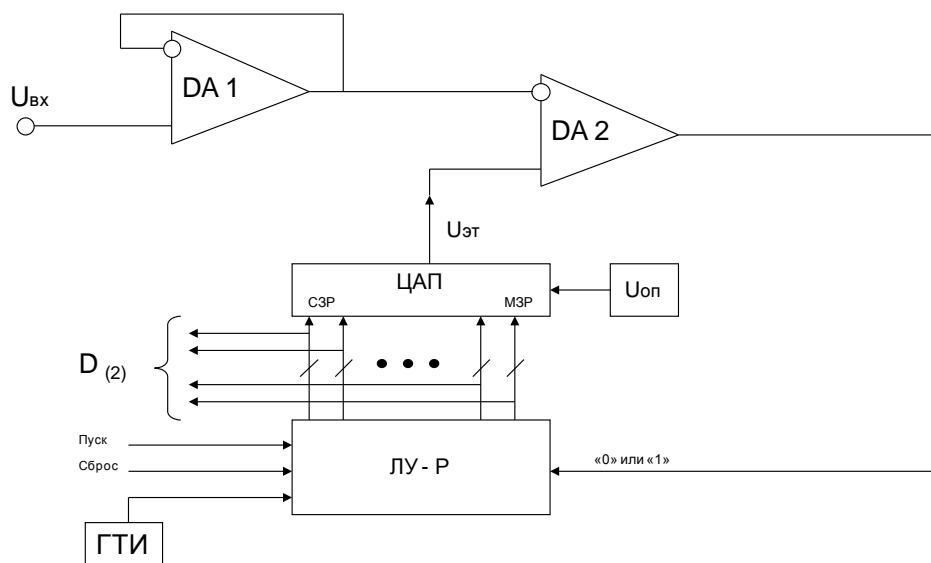


Рис. 9.2

Здесь введены следующие обозначения:

$DA1$  – неинвертирующий повторитель ( );

$DA2$  – компаратор (сравнивающее устройство);

$U_{оп}$  – источник опорного напряжения;

ЦАП – цифроаналоговый преобразователь;

ЛУ-Р – логическое устройство, в состав которого входят регистр последовательных приближений и регистр памяти («защёлка»);

ГТИ – генератор тактовых импульсов.

## 9.2. Основные сведения о цифро-аналоговых преобразователях (ЦАП)

ЦАП предназначен для преобразования цифрового сигнала, заданного в виде двоичного  $n$ -разрядного кода, в соответствующее напряжение (или ток).

Условное обозначение ЦАП приведено на рис. 9.3.

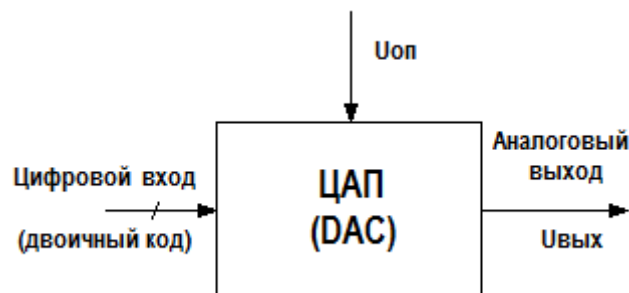


Рис. 9.3

На цифровой вход подаётся цифровое слово в двоичном коде

$$D_{(2)} = \{B_{n-1}, B_{n-2}, \dots, B_0\},$$

при этом аналоговый выходной сигнал – напряжение  $U_{вых}$  (или ток  $I_{вых}$ )

$$U_{вых} = U_{оп} \cdot D_{(10)} = U_{оп} \cdot (B_{n-1} \cdot 2^{-1} + B_{n-2} \cdot 2^{-2} + \dots + B_0 \cdot 2^{-n}),$$

где разрядные коэффициенты  $B_i$  могут принимать значения **0** или **1**;

$U_{оп}$  – опорное, эталонное напряжение.

ЦАП, как и АЦП, характеризуется статическими и динамическими параметрами. Статические параметры, такие как разрядность, разрешающая способность, погрешность полной шкалы и др., определяются по характеристикам преобразователя.

К основным динамическим параметрам ЦАП относятся частота преобразования, время установления, скорость нарастания, уровень шума.

Студентам предлагается вспомнить определения перечисленных выше параметров и характеристик.

Преподавателю целесообразно напомнить студентам принципы построения и работы таких преобразователей на примере ЦАП с резисторной матрицей  $R-2R$ , который нашёл широкое использование на практике (рис. 9.4).

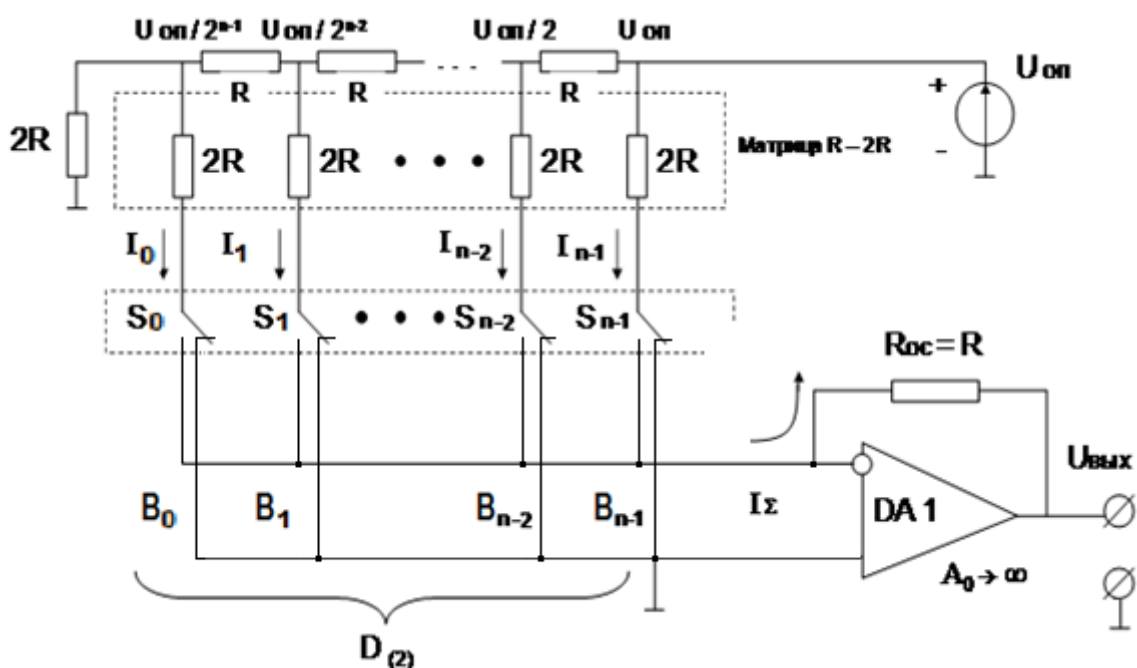


Рис. 9.4

На этом рисунке:

$U_{оп}$  – источник опорного (эталонного) напряжения;

$DA1$  – интегральный операционный усилитель напряжения.

### 9.3. Моделирование совместной работы АЦП и ЦАП

Демонстрация совместной работы АЦП и ЦАП производится с использованием примера AD16 из каталога DATA программного пакета *Micro-Cap 10 demo*.

Последовательное соединение АЦП и ЦАП показано на рис. 9.5.

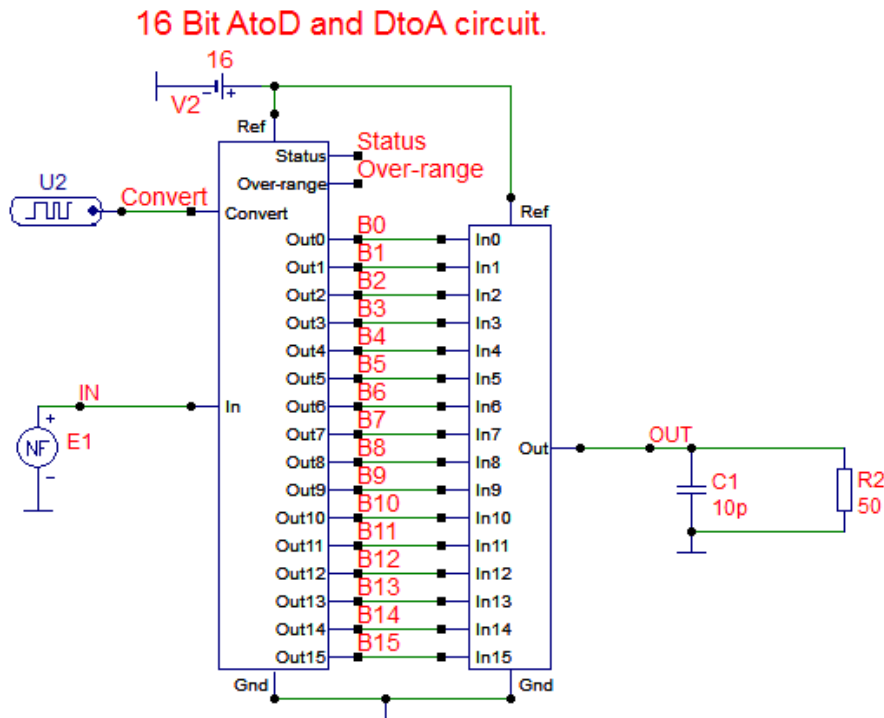


Рис. 9.5

Схема состоит из 16-разрядного АЦП, который преобразует сигнал от источника  $E_1$  в цифровую форму с периодом дискретизации, равным периоду повторения импульсов, выдаваемых генератором импульсных сигналов  $U_2$ . Входное напряжение  $E_1$  представляет собой сумму постоянного смещения и трёх гармонических колебаний. Эта сумма создаёт результирующее колебание положительной полярности.

Последовательно с АЦП включен 16-ти разрядный ЦАП, который перемножает цифровой код с выхода АЦП на опорное напряжение ЦАП, которое поступает от источника постоянного напряжения  $U_{оп}$ , равного 16 В.

Предлагается факультативно, если позволят ограниченные временные рамки данного занятия, познакомить студентов с компьютерными макромоделями АЦП и ЦАП.

Вызов соответствующих окон с параметрами таких макромоделей осуществляется нажатием левой клавиши мыши, когда курсор располагается на условном обозначении АЦП или ЦАП.

На выходе (узел *OUT*) имеем аналоговый сигнал, полученный в результате обработки входного сигнала (узел *IN*) посредством последовательного соединения АЦП и ЦАП.

Обсудим временные диаграммы входного и выходного сигналов (рис. 9.6), а также сигнала, который образуется на выходе АЦП (рис. 9.7).

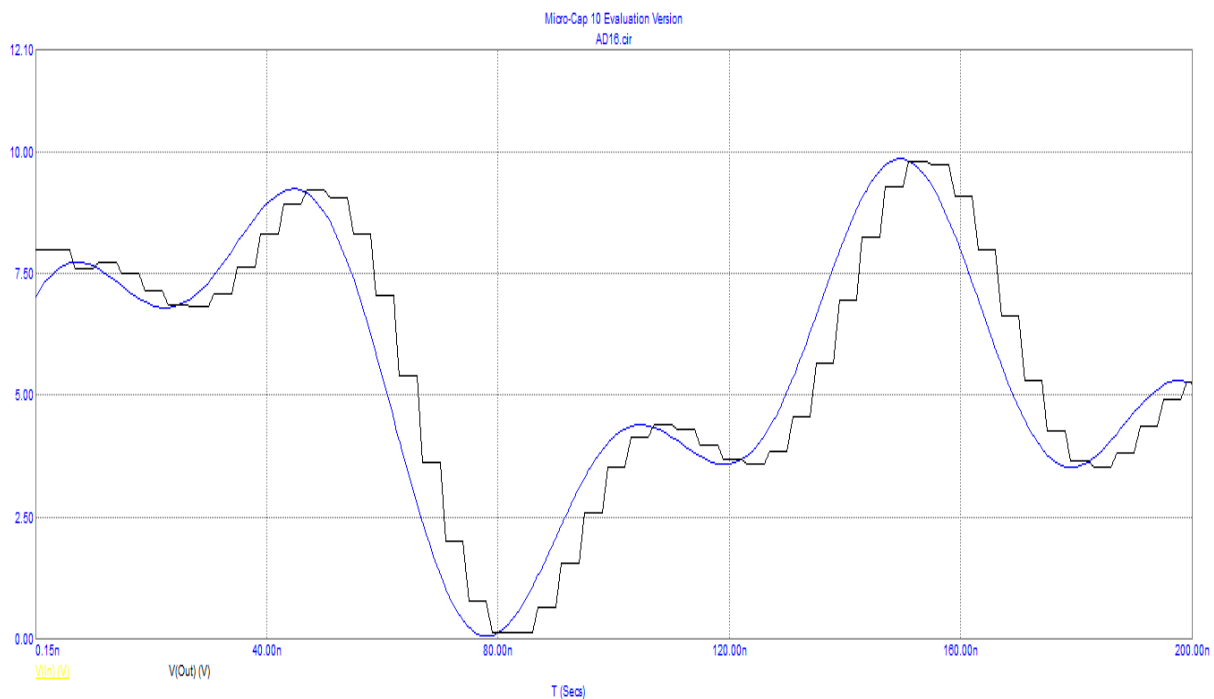


Рис. 9.6

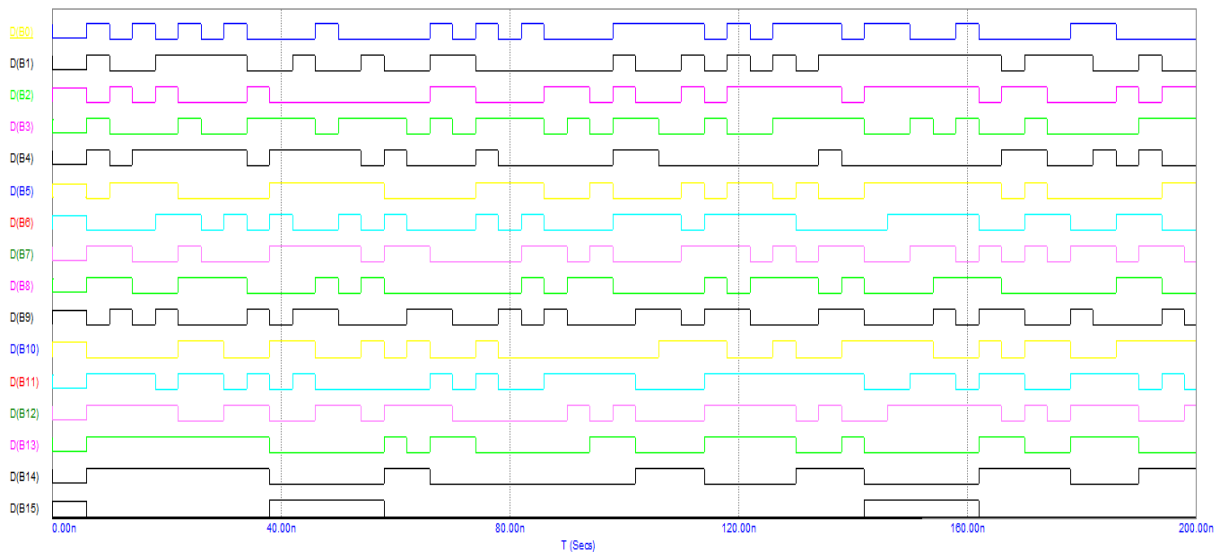


Рис. 9.7

Амплитуда сигнала на выходе ЦАП определяется цифровым кодом в сечении каждого разряда на выходе АЦП, а также абсолютной разрешающей способностью ЦАП.

Оценим амплитуду выходного сигнала  $V(OUT)$  во временных узлах  $t_1 = 40$  нс и  $t_2 = 65$  нс при  $U_{оп} = 16$  В и разрядности  $n = 16$ .

При  $t_1 = 40$  нс напряжение на входе АЦП  $V(IN) = 8,92$  В; на выходе АЦП этому значению соответствует цифровой код

$$D_{(2)} = \{1,0,0,0,0,1,0,0,1,1,1,1,1,0,0,0\},$$

что, в свою очередь, соответствует

$$V(OUT) = 8,314 \text{ В}.$$

Следовательно, при  $t_1 = 40$  нс погрешность преобразования такой схемой составляет 7,1 %.

При  $t_2 = 65$  нс напряжение на входе АЦП  $V(IN) = 3,16$  В; на выходе АЦП этому значению соответствует цифровой код

$$D_{(2)} = \{0,1,0,1,0,1,1,0,1,0,0,0,0,0,0,0\},$$

что, в свою очередь, соответствует

$$V(OUT) = 5,404 \text{ В}$$

Следовательно, при  $t_2 = 65$  нс погрешность достигает существенно большей величины и составляет 65 %.

Такая высокая погрешность обусловлена появлением задержки между сигналами  $V(IN)$  и  $V(OUT)$  в таком устройстве, равной примерно 5 нс. Если такая задержка будет отсутствовать, т.е. при совмещении зависимостей на рис. 9.6, погрешность резко уменьшится.