

Лабораторная работа № 6.

Изучение принципов работы цифроаналоговых преобразователей

Цель работы: Ознакомление с особенностями работы интегрального цифроаналогового преобразователя.

2.6.1. Общие сведения о цифроаналоговом преобразовании

Устройство, осуществляющее автоматическое преобразование входных значений, представленных числовыми кодами, в эквивалентные им значения какой-нибудь физической величины (напряжения, тока и др.), называют цифроаналоговым преобразователем (ЦАП).

Основы классификации ЦАП представлены на рис. 2.47.

Подробная информация о ЦАП изложена, например, в [9]. Разделение на последовательные и параллельные устройства рассматривается с точки зрения параллельного или последовательного во времени преобразования сигналов.

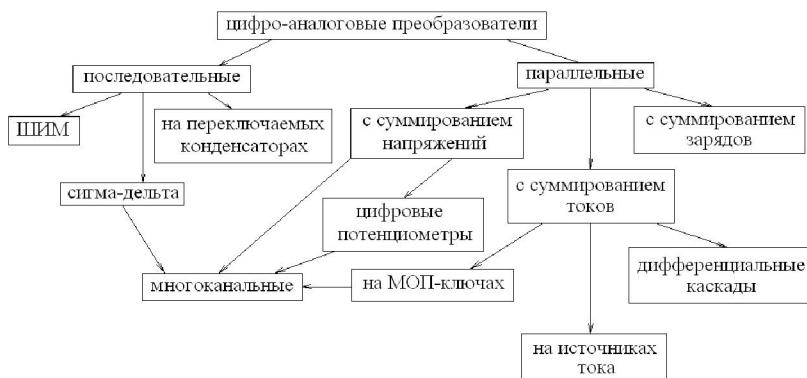


Рис. 2.48. Общая классификация ЦАП

2.6.1.1. Особенности работы параллельных ЦАП с суммированием токов

Существует два широко распространенных параллельных способа цифроаналогового преобразования посредством суммирования токов, показанных на рис. 2.49: с двумя номиналами сопротивлений $R-2R$ и с весовыми двоично-взвешенными сопротивлениями.

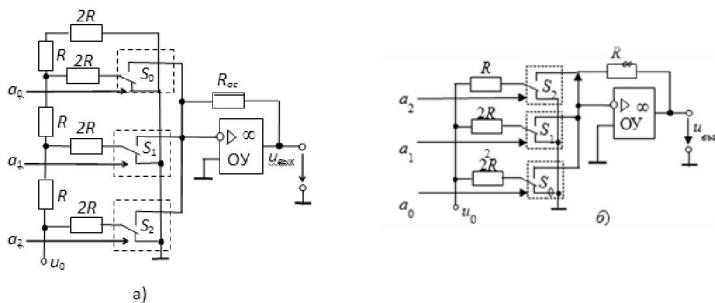


Рис. 2. 49. Параллельные 3-х разрядные ЦАП с суммированием токов на резистивных матрицах:

- а) с двумя номиналами сопротивлений $R-2R$;
- б) с весовыми двоично-взвешенными сопротивлениями

ЦАП с весовыми двоично-взвешенными сопротивлениями (рис. 2.49, б) состоит: из n переключателей S_i (по одному на каждый разряд), управляемых двоичным кодом A_i ; из матрицы двоично-взвешенных резисторов с сопротивлениями $2^{(n-1-i)}R$; источника опорного напряжения u_0 и выходного операционного усилителя ОУ, с помощью которого суммируются токи, протекающие через резисторы, для получения аналогового выходного напряжения $u_{\text{вых}}$.

Каждый i -ый разряд управляет переключателем S_i , который подключается к источнику опорного напряжения u_0 , когда a_i равно 1, или к общей шине, когда a_i равно 0. Сопротивления резисторов $2^{(n-1-i)}R$ (n – разрядность ЦАП), соединенных с ключами, таковы, что обеспечивают пропорциональность в них тока двоичному весу соответствующего разряда входного кода. Следовательно, ток на входе ОУ и выходное напряжение ЦАП определяются как:

$$i = \frac{a_{n-1}u_0}{R} + \frac{a_{n-2}u_0}{2R} + \dots + \frac{a_1u_0}{2^{n-1}R} + \frac{a_0u_0}{2^nR}; \quad u_{\text{вых}} = -R_{\text{oc}}i = -u_0 \frac{R_{\text{oc}}}{2^nR} \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i.$$

Напряжение на выходе ЦАП пропорционально «весу» присутствующего на входах кода, а максимальное значение имеет место, когда все разряды примут значение 1, т. е.

$$u_{max} = \left| u_0 \frac{(2^n - 1)R_{oc}}{2^n R} \right|,$$

и оно всегда меньше опорного напряжения на шаг квантования $u_0 R_{oc} / (2^n R)$.

Номиналы сопротивлений резисторов в младшем и старшем разрядах отличаются в 2^{n-1} раз и должны быть выдержаны с высокой точностью. Например, для 12-разрядного ЦАП использование в старшем разряде резистора с сопротивлением 10 кОм потребует включения в младший разряд преобразователя резистора с сопротивлением порядка 20 МОм. Широкий набор номиналов резисторов и требования их высокой точности, в особенности при значительном числе разрядов n входного кода, создают трудности при реализации ЦАП посредством интегральной технологии.

В схеме ЦАП (см. рис. 2.49, а) с **матрицей $R-2R$** используют резисторы с двумя номиналами сопротивлений, причем резисторы с сопротивлением R включены в каждый разряд, однако в этой схеме увеличиваются значения паразитных емкостей.

Принцип работы представленной схемы основан на свойстве резистивного делителя $R-2R$ сохранять постоянное сопротивление нагрузки для источника опорного напряжения при замыкании ключей. Вследствие этого на выводах резистора R , начиная со старшего $n-1$ разряда, опорное напряжение последовательно делится пополам, как и входящий в каждый узел матрицы ток. При этом напряжение на выходе преобразователя с матрицей $R-2R$:

$$u_{\text{вых}} = -u_0 \frac{R_{oc}}{R} (a_{n-1} 2^{-1} + a_{n-2} 2^{-2} + \dots + a_1 2^{-(n-1)} + a_0 2^{-n}) = -u_0 \frac{R_{oc}}{2^n R} \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i.$$

2.6.1.2. Основные технические характеристики

Основными параметрами ЦАП являются число разрядов кода, абсолютная разрешающая способность, точность ЦАП, максимальная частота преобразования.

Число разрядов кода, n , обычно составляет величину 8, ..., 24.

Абсолютная разрешающая способность – среднее значение минимального изменения сигнала на выходе ЦАП, обусловленное увеличением или уменьшением его кода на единицу.

Теоретически ЦАП, преобразующий n -разрядные двоичные коды, должен обеспечить 2^n различных значений выходного сигнала с разрешающей способностью $1/(2^n - 1)$. При числе разрядов $n = 8$, количество независимых квантов (ступеней) выходного напряжения ЦАП равно $2^8 - 1 = 255$, при $n = 12$, количество независимых ступеней равно $2^{12} - 1 = 4095$ и т. д.

Абсолютное значение минимального кванта напряжения определяется как предельным принимаемым числом $2^n - 1$, так и максимальным выходным напряжением ЦАП, также называемым напряжением шкалы или опорным напряжением u_o . Значение абсолютной разрешающей способности ЦАП, часто обозначается как ЗМР (значение младшего разряда).

При $n = 8$ и опорном напряжении $u_o = 5$ В, ЗМР = $u_o/(2^8 - 1) = 5/255 \approx 0,0196$ В = 19,6 мВ.

Отличие реального значения разрешающей способности от теоретического обусловлено погрешностями и шумами входящих в ЦАП узлов.

Точность ЦАП определяется значением абсолютной погрешности δ_a и нелинейностью преобразователя δ_n .

Абсолютная погрешность δ_a характеризуется отклонением максимального значения выходного напряжения u_{max} от расчетного, соответствующего конечной точке характеристики идеального преобразователя, и измеряется обычно в единицах ЗМР (рис. 2.49, линия 1).

Нелинейность преобразователя δ_n характеризует отклонение действительной характеристики 2 от идеальной 1 (рис. 2.49), проведенной через центры ступенек или через нуль и точку максимального значения выходного сигнала.

Нелинейность обычно определяется в относительных единицах, но в справочных данных приводится также и в ЗМР. Для характеристики, приведенной на рис. 2.50,

$$\delta_n = \frac{\varepsilon_j}{U_{\text{пп}}} \cdot 100 \%$$

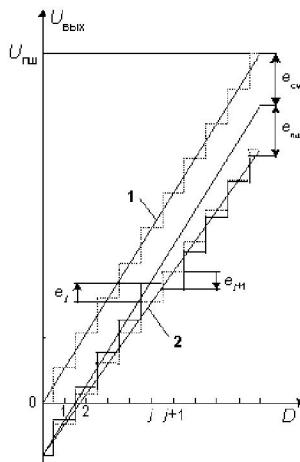


Рис. 2.49. Характеристики преобразования ЦАП:

1 – идеальная характеристика; 2 – реальная. $U_{шш}$ – погрешность полной шкалы

Дифференциальная нелинейность $\delta_{дл}$ – максимальное изменение (с учетом знака) отклонения реальной характеристики преобразования $U_{вых}(D)$ от оптимальной при переходе от одного значения входного кода к другому смежному значению. Обычно определяется в относительных единицах или в ЗМР. Для характеристики, приведенной на рис. 2.50

$$\delta_{дл} = \frac{\varepsilon_j + \varepsilon_{j+1}}{U_{шш}} \cdot 100 \%$$

Из динамических параметров наиболее важным параметром является **максимальная частота преобразования** f_{\max} (десяткы и сотни килогерц) – наибольшая частота дискретизации, при которой параметры ЦАП соответствуют заданным значениям.

Преобразование сигнала в ЦАП часто сопровождается специфическими переходными импульсами в выходном сигнале. Они возникают из-за разности времени открывания и закрывания аналоговых переключателей в ЦАП. Особенно сильное влияние переходных процессов проявляется, например, когда входной код 01...111 меняется кодом 10...000, а переключатель старшего разряда ЦАП открывается позже, чем закрываются переключатели младших разрядов.

Следует отметить, что современные микросхемы ЦАП отличаются особенностями подключения (интерфейсом) к микроконтроллеру: параллельным (как в рассматриваемой ниже модели), так и последовательными стандартными интерфейсами типа I²C или SPI [9].

2.6.2. Ход выполнения лабораторной работы

Задание 1. Собрать схему (рис. 2.50) для испытания интегрального ЦАП [10]. В схеме использован библиотечный виртуальный 8-разрядный цифроаналоговый преобразователь A1 (из группы элементов Mixed), на входы которого могут подаваться сформированные с помощью переключателей J1, ..., J8 (группа Basic), соответствующие заданию двоичные коды (табл. 2.16). Требуется измерить с помощью вольтметра V1 (группа Indicator) или осциллографа XSC1 выходные напряжения ЦАП, отвечающие входным кодам задания (табл. 2.16). Затем полученные результаты заносятся в отчет по лабораторной работе.

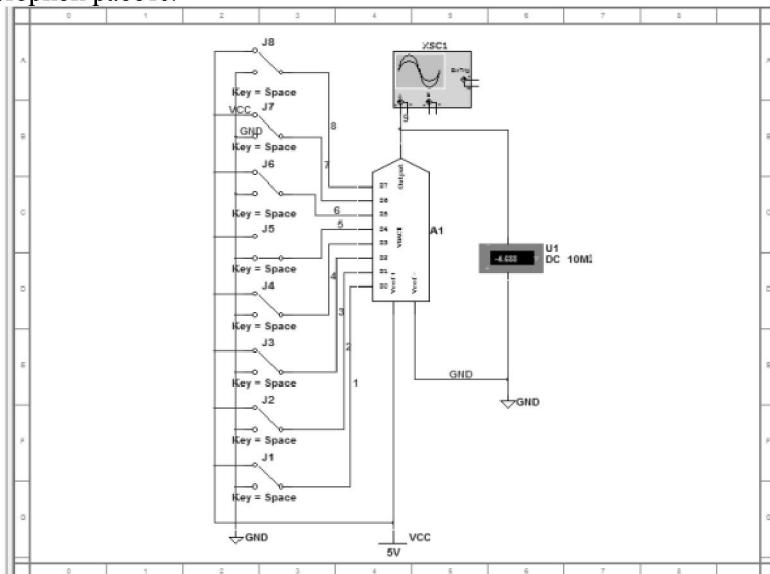


Рис. 2.50. Схема моделирования

Задание 2. Получить требуемые входные коды ЦАП при помощи микроконтроллера. Для этого создаем схемный проект Circuit6 (рис. 2.51), подключаем ЦАП к выводам порта P2 МК (или любого

другого порта). Полученные значения напряжения преобразования ЦАП сравниваем с результатами задания 1.

Программа совместной работы МК и ЦАП, написанная на С, показана ниже:

```
#include<8051.h>
void main()
{
    unsigned char var[3];
    //массив входных значений (согласно варианту задания);
    P2=0x00; // настройка порта P2 на выход;
    for(i=0;i<10;i++) // затем выводим код в цикле в порт P2;
    {
        P2 = var [ i ]; //преобразование переменной в аналого-
                        //вое значение;
        for(j=0;j<100;j++)
            //временная задержка для устойчивого измерения результата;
            continue;
    }
    while(1);
}
```

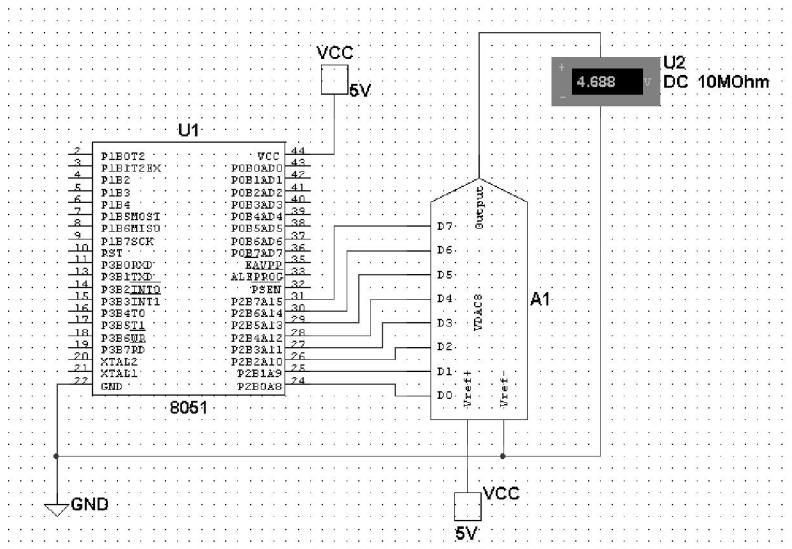


Рис. 2.51. Схема взаимодействия МК-51 с ЦАП

2.6.3. Задания для лабораторной работы

Требуемые значения входных 8-битных кодов ЦАП, соответствующие варианту задания (табл. 2.16), получить при помощи переключателей (см. рис. 2.50, задание 1) и при подключении ЦАП к одному из портов микроконтроллера (см. рис. 2.51, задание 2).

Таблица 2.16

Варианты задания

Параметры	Варианты задания									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коды	8 36 107	19 101 205	13 99 243	28 125 222	39 88 167	47 165 250	1 100 200	30 145 244	55 155 198	59 144 217
Порт подключения	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1

2.6.4. Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Копия схемного файла.
3. Копия программного файла (на ассемблере или на С) с подробными комментариями.
4. Полученные результаты и выводы по работе.

2.6.5. Вопросы для самоконтроля

1. Приведите примеры реализации последовательных ЦАП.
2. Назовите отличительные особенности ЦАП с двоично-взвешенными сопротивлениями от ЦАП на основе сопротивлений R-2R.
3. Назовите достоинства и недостатки ЦАП с последовательным интерфейсом.
4. Назовите достоинства и недостатки ЦАП с параллельным интерфейсом.
5. Приведите основные параметры ЦАП.
6. Какими параметрами определяется точность преобразования ЦАП?
7. Каковы схемные особенности использования порта P0 для подключения ЦАП?
8. Как определяется абсолютная разрешающая способность ЦАП при известном опорном напряжении и разрядности?
9. Почему возникают переходные процессы на выходе ЦАП?