

### 13.13. АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ И ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Вся информация, обрабатываемая ЦВМ, должна быть представлена в цифровом коде. Поэтому входные аналоговые величины, к каким относятся, например, постоянные или меняющиеся по какому-либо закону напряжения, временные интервалы, линейные и угловые перемещения должны быть представлены в ЦВМ в цифровом коде. Эту задачу решают специальные устройства, называемые аналого-цифровыми преобразователями (АЦП).

С другой стороны, при использовании ЦВМ для управления работой различных объектов, отображения результатов расчета в виде графиков и других целей возникает необходимость представления цифровой информации, выдаваемой ЦВМ, в виде аналоговых величин. Это преобразование осуществляется с помощью цифроаналоговых преобразователей (ЦАП).

**Аналого-цифровые преобразователи.** На рис. 13.37, *а* показана схема АЦП напряжения в двоичный код, а на рис. 13.37, *б* — графики, поясняющие его работу.

Генератор тактовых импульсов *ГТИ* вырабатывает импульсы стабильной частоты, которые поступают на один вход ЛЭ И и на делитель частоты *ДЧ*. Импульсы с выхода *ДЧ* определяют цикл преобразования  $T_{ц.п.}$ . Они используются для установки счетчика *СТ* в нулевое положение, запуска генератора пилообразного напряжения *ГПН* и

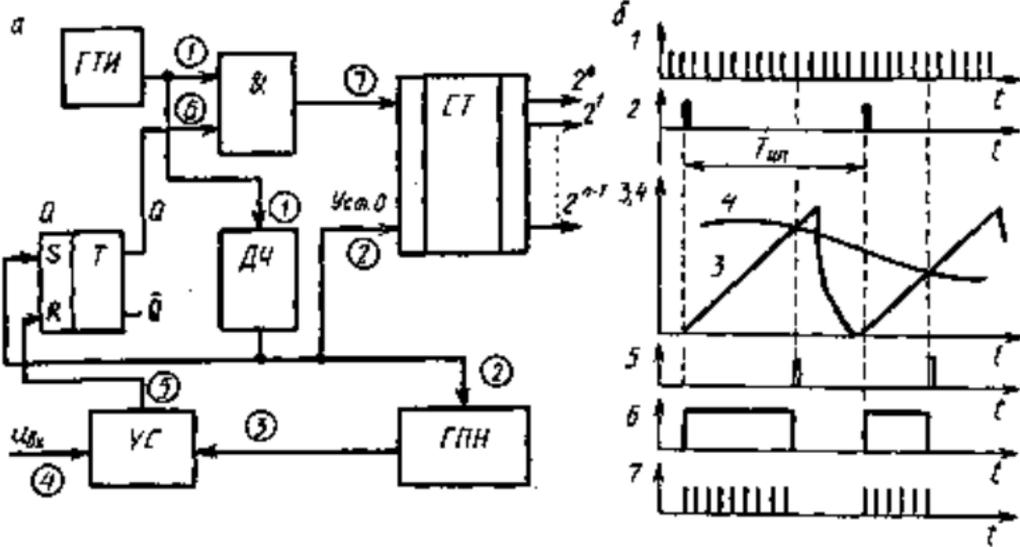


Рис. 13.37. Функциональная схема АЦП напряжения в двоичный код (а) и графики, поясняющие его работу (б)

триггера  $T$ , устанавливая последний в единичное состояние.  $ГПН$  формирует линейно возрастающее напряжение с амплитудой, превышающей возможные значения входного напряжения  $u_{вх}$ . Напряжения с выхода  $ГПН$  и  $u_{вх}$  поступают на устройство сравнения  $УС$ , которое в момент равенства этих напряжений вырабатывает импульс, поступающий на второй вход триггера и устанавливающий его в нулевое состояние. Сигнал с выхода триггера подается на второй вход ЛЭ И.

Таким образом, тактовые импульсы поступают на счетчик через ЛЭ И в течение времени, равного пребыванию триггера в состоянии 1. Так как это время пропорционально значению  $u_{вх}$ , то число подсчитанных счетчиком импульсов также будет пропорционально входному напряжению.

По такому же принципу строится АЦП временного интервала в код. При этом отпадает необходимость в делителе частоты, ГПН и устройстве сравнения.

Иногда применяются АЦП с обратной связью по выходу (рис. 13.38), называемые балансными. В состав таких преобразователей включают ЦАП, который преобразует двоичный код, полученный на выходе счетчика  $СТ$ , в управляющее напряжение  $u_y$ . Это напряжение поступает вместе с входным напряжением на устройство сравнения  $УС$ . В момент равенства  $u_{вх}$  и  $u_y$   $УС$  прекращает выдачу положительного напряжения на ЛЭ И, и поступление тактовых импульсов от ГТИ на вход счетчика прекращается. В результате цифровой двоичный код на выходе

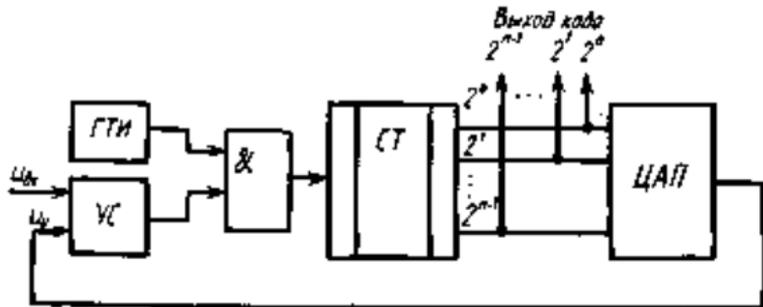


Рис. 13.38. Функциональная схема балансного АЦП напряжения в двоичный код

счетчика оказывается пропорциональным входному напряжению.

В рассмотренных АЦП точность преобразования определяется стабильностью и частотой повторения тактовых импульсов, линейностью напряжения на выходе ГПН и стабильностью работы ГПН. Для уменьшения ошибки, вызванной дискретностью преобразования, необходимо увеличивать частоту повторения тактовых импульсов.

**Цифроаналоговые преобразователи.** В зависимости от вида выходной величины ЦАП делятся на *электрические* и *механические*. В электрических ЦАП выходными величинами являются напряжение, ток или временной интервал, а в механических — линейное или угловое перемещение, скорость и т. п.

На рис. 13.39 приведена схема электрического ЦАП, выполненного на базе ОУ и преобразующего трехразрядный двоичный код  $x_0, x_1, x_2$  в напряжение. Преобразователь работает по принципу суммирования входных токов:

$$I_{oc} = x_0 I_0 + x_1 I_1 + x_2 I_2.$$

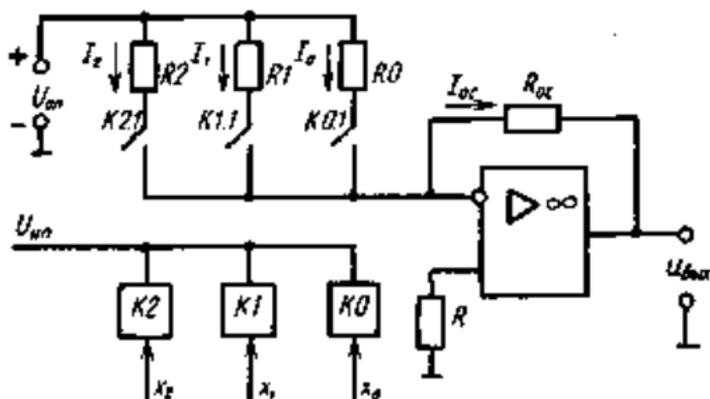


Рис. 13.39. Схема ЦАП двоичного кода в напряжение

В этом выражении  $x_0, x_1$  и  $x_2$  — двоичные коэффициенты, принимающие значения 0 или 1 в соответствии с кодом преобразуемого трехразрядного двоичного числа. Коммутация токов  $I_0, I_1$  и  $I_2$  осуществляется контактами реле  $K0, K1$  и  $K2$ , которые срабатывают в том случае, когда состояния подключенных к ним соответствующих разрядов двоичного числа  $x_0x_1x_2$  равны 1.

Считая в данном выражении  $I_0 = \frac{U_{\text{он}}}{R0}, I_1 = \frac{U_{\text{он}}}{R1}, I_2 = \frac{U_{\text{он}}}{R2}, I_{\text{ос}} = -\frac{U_{\text{ос}}}{R_{\text{ос}}}$ , получаем  $u_{\text{вых}} = -U_{\text{он}}R_{\text{ос}} \left( \frac{x_0}{R0} + \frac{x_1}{R1} + \frac{x_2}{R2} \right)$ .

Значения токов должны соответствовать весу соответствующего разряда двоичного числа, т. е.  $I_1 = 2^1 I_0 = 2I_0, I_2 = 2^2 I_0 = 4I_0$ . Это достигается выбором сопротивлений резисторов  $R0, R1$  и  $R2$ . Так как при замкнутых контактах  $K0.1$  и  $K1.1$  имеем  $I_0 = U_{\text{он}}/R0$  и  $I_1 = U_{\text{он}}/R1$ , то из условия  $I_1 = 2I_0$  следует  $R1 = R0/2$ . Аналогичным образом можно получить выражение для  $R2$ :  $R2 = R0/4$ . С учетом найденного соотношения для сопротивлений резисторов  $R0, R1$  и  $R2$  последнее уравнение можно записать в виде

$$u_{\text{вых}} = -U_{\text{он}} \frac{R_{\text{ос}}}{R0} (x_0 + 2x_1 + 4x_2).$$

Если число разрядов двоичного числа больше трех, необходимо параллельно резисторам  $R0, R1$  и  $R2$  подключить аналогичным способом резисторы  $R3 = R0/8, R4 = R0/16$  и т. д.

Точность работы такого ЦАП определяется точностью подбора сопротивлений резисторов  $R0, R1$  и  $R2, \dots$  Наиболее жесткие требования предъявляются к точности старших разрядов, так как разброс токов в этих разрядах не должен превышать тока младшего разряда. Поэтому на практике часто в ЦАП используется резистивная матрица постоянного импеданса, или матрица типа  $R-2R$  (рис. 13.40). В таком ЦАП применяются перекидные ключи, подключающие резисторы матрицы либо к узлу суммирования токов, либо к нулевому проводу. Благодаря этому нагрузка источника опорного напряжения независимо от значимости разрядов кода двоичного числа остается постоянной и равной  $R$ . Это уменьшает длительность переходных процессов и повышает быстродействие преобразователя. В ЦАП, показанном на рис. 13.40, выходное напряжение определяется выражением

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{оп}} \frac{R_{\text{ос}}}{8R} (x_0 + 2x_1 + 4x_2).$$

На рис. 13.41 приведен ЦАП, осуществляющий преобразование двоичного кода числа в угол поворота. Работает такой преобразователь следующим образом.

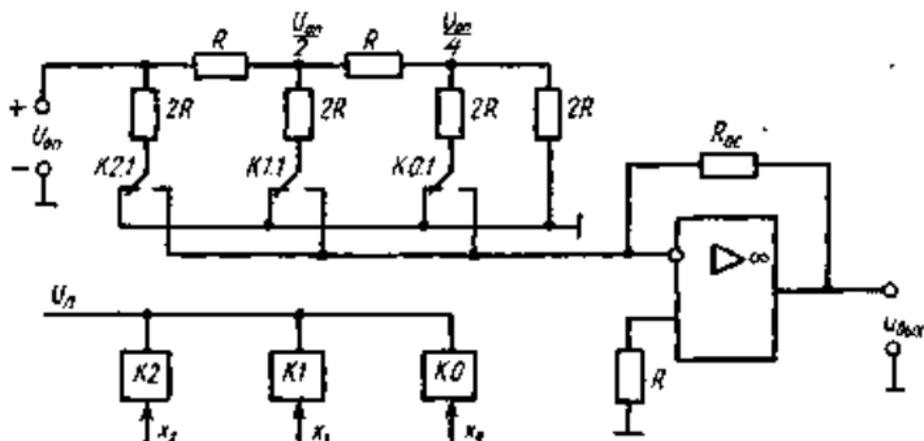


Рис. 13.40. Схема ЦАП с резистивной матрицей

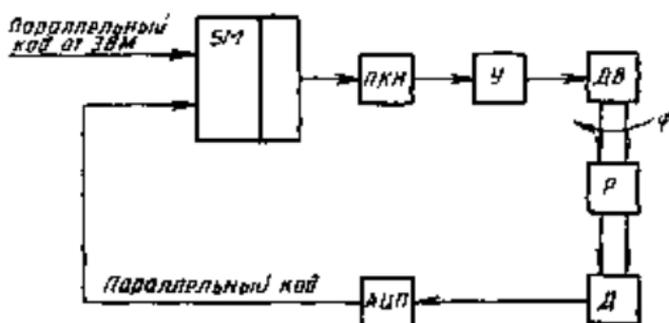


Рис. 13.41. Функциональная схема ЦАП, осуществляющего преобразование двоичного кода числа в угол поворота вала двигателя

На сумматор  $SM$  поступают параллельные коды двоичных чисел от ЭВМ и АЦП. На выходе сумматора образуется двоичный код, представляющий разность входных кодов, который поступает на преобразователь кода в напряжение  $ПКН$ . В  $ПКН$  этот код преобразуется в напряжение, которое усиливается усилителем  $У$  и поступает на обмотку возбуждения двигателя  $ДВ$ , вызывая вращение его вала. Двигатель через редуктор  $Р$  поворачивает вал датчика  $Д$ , создавая на его выходе напряжение, пропорциональное углу поворота. Это напряжение преобразуется АЦП в двоичный код и поступает на один из входов сумматора. Как только значения кодов на входах сумматора станут равными, сигнал на его выходе умень-

шится до нуля и двигатель остановится. Изменение кода, поступающего от ЭВМ, приведет к появлению сигнала на выходе сумматора и изменению углового положения вала двигателя. При этом на выходе АЦП образуется двоичный код, равный новому значению двоичного кода, поступающего от ЭВМ. Следовательно, система, представленная на рис. 13.41, работает по сигналу, имеющемуся на выходе сумматора, сводя его к нулю. Такие системы называют с л е д я щ и м и.

Элементную базу АЦП и ЦАП с высокими техническими характеристиками составляют устройства в интегральном исполнении: логические элементы, операционные усилители, источники опорных напряжений, аналоговые ключи и коммутаторы, аналоговые компараторы (сравнивающие устройства) напряжений и др. Логические элементы являются основой цифровой и логической частей АЦП и ЦАП. На ОУ выполняются устройства, осуществляющие операции сложения, вычитания и умножения, генераторы и стабилизаторы тока и напряжения, усилительные, буферные и другие устройства.

В последние годы для построения цифровой и логической частей АЦП и ЦАП стали широко применяться микропроцессоры, что позволило значительно сократить объем устройств управления и совместить процессы преобразования и предварительной обработки информации.

