

Глава 14. АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) преобразуют аналоговый входной сигнал в цифровой код и предназначены для согласования аналоговых измерительных систем с цифровыми системами обработки информации. АЦП широко используется в промышленных системах управления, цифровых системах связи, радиолокации, радионавигации, станках с числовым программным управлением.

14.1. Параметры АЦП

Параметры аналого-цифровых преобразователей подразделяются на статические, динамические и эксплуатационные.

Разрядность (число разрядов) АЦП — это округленный до целого числа двоичный логарифм номинального числа значений выходного кода $L = \log_2 N$, где N — число значений выходного кода. При подаче на вход АЦП линейно изменяющегося напряжения на выходе АЦП наблюдается последовательное изменение кодов.

Характеристикой преобразования АЦП называют зависимость между значениями входного аналогового напряжения и выходного кода. Так же, как и для ЦАП, характеристика преобразования АЦП может быть задана математически, в виде таблицы или графика.

Характеристика преобразования определяется *шагом квантования*, т.е. разностью значений напряжении заданного и следующего за ним межкодового перехода. А погрешность квантования — это погрешность, вызванная значением шага квантования, определяемая как половина амплитуды младшего разряда (0,5 АМР).

Точностные параметры АЦП характеризуются несоответствием идеальной и действительной характеристик преобразования для конкретной реализации АЦП. К ним относятся: напряжение смещения нуля, отклонение коэффициента преобразования от номинального, монотонность характеристики, дифференциальная нелинейность, апертурная погрешность.

Напряжение смещения нуля — это напряжение, которое определяет параллельный сдвиг характеристики преобразования вдоль оси абсцисс. Это обусловлено наличием напряжения смещения нуля в компараторе и отклонением сопротивления первого резистора делителя опорных напряжений.

Отклонение коэффициента преобразования от номинального значения характеризуется погрешностью преобразования в конечной точке характеристики. Это обусловлено напряжением смещения нуля и отклонением сопротивления резисторов в другом конце делителя.

Дифференциальная нелинейность АЦП определяется отклонением действительных значений шагов квантования характеристики от их среднего значения.

Монотонность характеристики преобразования АЦП характеризуется наличием всех кодовых комбинаций на его выходе при подаче на вход изменяющего аналогового сигнала.

Апертурная погрешность определяется неопределенностью между значением входного сигнала в момент выборки и значением фактически преобразуемой величины входного аналогового сигнала.

Основными динамическими параметрами являются: время преобразования, время задержки запуска, частота дискретизации, апертурное время, апертурная неопределенность, монотонность характеристики преобразования при максимальной скорости изменения входного сигнала, время цикла кодирования.

Время преобразования — это отрезок времени с момента начала появления сигнала на входе АЦП (аналогового или цифрового) до появления на выходе устойчивого цифрового кода. Для АЦП, имеющих команду внешнего запуска, определяющего начало преобразования, время преобразования равно минимальному времени между импульсом запуска и моментом появления на выходе АЦП заданного значения кода.

Время задержки запуска определяется минимальным временем с момента подачи скачкообразного сигнала на аналоговый вход АЦП до момента подачи сигнала запуска АЦП, при котором выходной код отличается от номинального не более чем на значение статистической погрешности. Это время определяется переходными процессами во входных цепях АЦП.

Время цикла кодирования определяется временем, в течение которого осуществляется непосредственное преобразование установившегося значения входного сигнала. Оно определяется задержкой передачи сигнала в составных блоках АЦП.

Частота дискретизации — это максимальная частота преобразования входного сигнала, при которой выбранный параметр АЦП не выходит за заданные пределы. Этим параметром может быть нелинейность или монотонность характеристики преобразования как критерий нормальной работы АЦП.

Апертурное время — это время, в течение которого сохраняется неопределенность между моментом выборки входного сигнала и моментом времени, к которому оно относится. Физически это определяется инерционностью токовых переключателей и компараторов. Апертурное время определяется во всех точках характеристики преобразования и может иметь различное значение в различных точках характеристики. Это объясняется разбросом параметров отдельных узлов, значений резисторов, а также длины токопроводящих шин входного и тактового сигналов.

Апертурная неопределенность — случайное изменение апертурного времени, наиболее часто определяемое в конкретной точке характеристики преобразования. Она возникает из-за случайных изменений времени задержки во входных цепях компаратора и в цепях синхронизации АЦП. Апертурная неопределенность приводит к появлению различных кодовых комбинаций при кодировании быстроизменяющегося сигнала одной величины.

Из-за различных значений апертурного времени в разных точках характеристики преобразования появляется дополнительная динамическая погрешность.

Монотонность характеристики преобразования при максимально допустимой скорости изменения входного сигнала определяется той скоростью его изменения, при которой характеристика АЦП еще монотонна. Часто вместо монотонности характеристики преобразования пользуются дифференциальной нелинейностью. Кроме того, максимальная скорость изменения сигнала на входе АЦП ограничивается апертурной определенностью, апертурным временем, полосой пропускания компараторов в режиме сравнения.

При эксплуатации АЦП необходимо учитывать минимальный временной интервал между преобразованиями, который характеризует время возвращения АЦП в исходное состояние и может влиять на частоту дискретизации.

Для нормальной и устойчивой работы АЦП необходимо выполнять ограничения на следующие эксплуатационные параметры устройства:

правильность выбора напряжений источников питания и соблюдение последовательности их включения;

диапазон изменения входных и выходных сигналов;

длительность управляющих импульсов;

длительность фронта и среза импульсов;

используемый цифровой код.

На работу АЦП сильное влияние оказывают помехи, возникающие по цепи питания, электромагнитное излучение и др. Обеспечение помехозащищенности является одной из трудоемких задач: отсутствуют единые конкретные рекомендации по их устранению, поскольку помехи обычно имеют случайный характер и обусловлены разными источниками. В связи с этим используют полное или частичное экранирование, разделение общих шин входной и выходной цепей, аналоговой и цифровой частей прибора.

14.2. Классификация АЦП

Классифицировать АЦП можно по различным признакам. В основу классификации можно положить признак временного процесса преобразования аналоговой величины в цифровую. По этому признаку выборочные значения аналогового сигнала преобразуются в цифровые эквиваленты операциями квантования и кодирования с помощью либо последовательной, либо параллельной, либо последовательно-параллельной процедуры приближения цифрового эквивалента к аналоговой преобразуемой величине. Соответственно АЦП делятся на последовательные, параллельные и параллельно-последовательные. По структуре построения АЦП делятся на два типа: с применением цифроаналоговых преобразователей (ЦАП) и без них. К последовательным АЦП относятся преобразователи напряжение — частота, преобразователи интегрирующего типа и последовательных приближений. АЦП последовательного типа позволяют получить высокую разрядность, но обладают низким быстродействием.

Параллельные АЦП строятся по принципу одновременного преобразования сигнала методом его квантования с помощью компараторов. Параллельные АЦП обладают самым высоким быстродействием, что достигается усложнением схемы при увеличении разрядности. А это приводит, в свою очередь, к увеличению потребляемой мощности и размеров кристалла.

В последовательно-параллельных АЦП используется сочетание методов последовательного и параллельного преобразования. Этот тип преобразователей позволяет в значительной степени уменьшить объем параллельных преобразований и увеличить быстродействие последовательных. Основными недостатками последовательно-параллельных АЦП являются: наличие большого числа линейных узлов, требования к точностным и динамическим характеристикам которых очень высоки, трудность прецизионной стыковки линейных узлов друг с другом. В связи с этим

требуется настройка каждого преобразователя отдельно. Поэтому такие АЦП в интегральном исполнении практически не выпускаются.

Аналого-цифровые преобразователи в зависимости от области применения можно разбить на четыре группы:

- 1) преобразователи электрических величин (напряжений, токов, сопротивлений);
- 2) преобразователи интервалов времени;
- 3) преобразователи перемещений (линейных или угловых);
- 4) преобразователи следящего типа.

Наиболее экономичная и простая структурная схема АЦП с применением ЦАП представлена на (рис.14.1). Работа АЦП заключается в сравнении измеряемого аналогового напряжения (в нашем случае с амплитудой 3 В) с аналоговым эквивалентом цифрового кода, поступающего с выхода ЦАП на второй вход компаратора. Таблица истинности (см. табл.13.1) показывает, как должен работать АЦП. На его выходе находится счетчик. На первый вход компаратора подается аналоговое входное напряжение, которое преобразуется в течение N тактов, а на второй вход компаратора подается сигнал с выхода ЦАП, имеющий ступенчатую форму. Если аналоговое входное напряжение на входе 1 больше напряжения на входе 2, то тактовые импульсы через логическую схему И поступают на вход счетчика. Счетчик подсчитывает эти импульсы, увеличивая цифровой сигнал на выходе АЦП. Счет продолжается до тех пор, пока напряжение на выходе ЦАП (напряжение обратной связи) не превысит аналоговое входное напряжение.

Основным недостатком простейшей структуры АЦП является относительно невысокая точность и большое время преобразования.

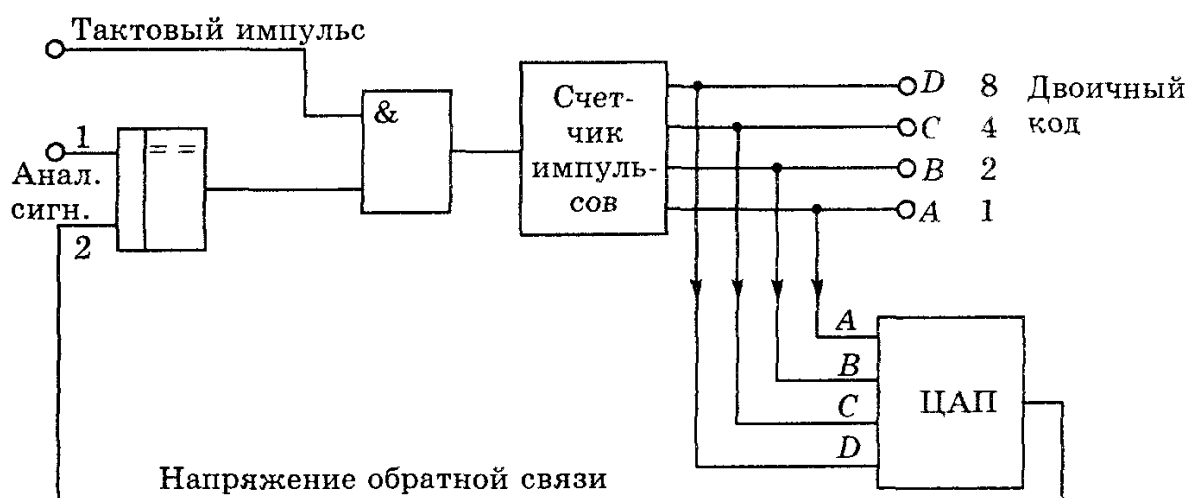


Рис.14.1. Структурная схема аналого-цифрового преобразователя

14.3. АЦП последовательного приближения

Одним из наиболее распространенных методов построения АЦП является метод последовательного приближения, который иногда называют методом поразрядного уравнивания. В АЦП, использующих данный метод, код в регистрах результата меняется так, чтобы обеспечить по возможности быстрое уравнивание входного напряжения или тока напряжением или током, получаемым с выхода ЦАП, который в свою очередь подключается к регистру. Упрощенная структурная схема АЦП последовательного приближения представлена на рис.14.2. Получив

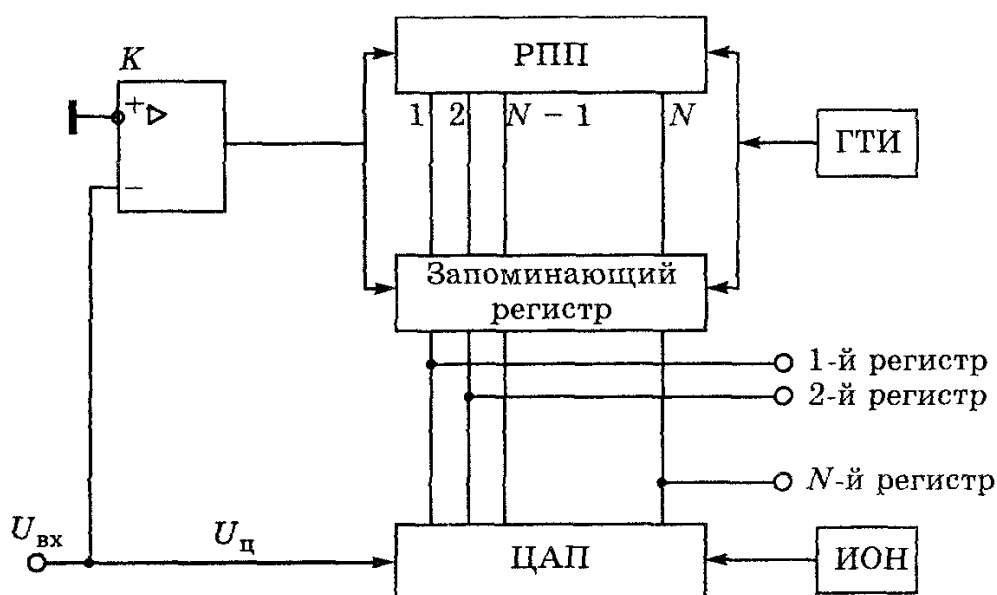


Рис.14.2. Упрощенная структурная схема АЦП последовательного приближения

команду на выполнение преобразования от генератора тактовых импульсов (ГТИ), регистр последовательных приближений (РПП) устанавливает значение логической единицы «1» в первом разряде запоминающего регистра и ЦАП. Если при этом $U_{вх} > U_{ц}$, то компаратор напряжения (К) выдает в РПП команду оставить логическую единицу в первом разряде запоминающего регистра и подать ее значение во второй разряд ЦАП. Если после этого $U_{вх} > U_{ц}$, то компаратор дает команду РПП оставить логическую единицу во втором разряде запоминающего регистра и ЦАП и подать напряжение логической единицы на третий разряд.