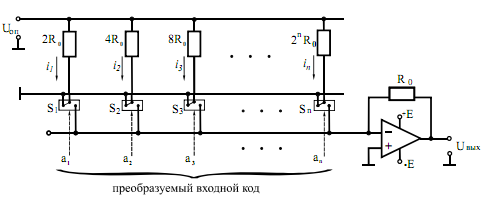
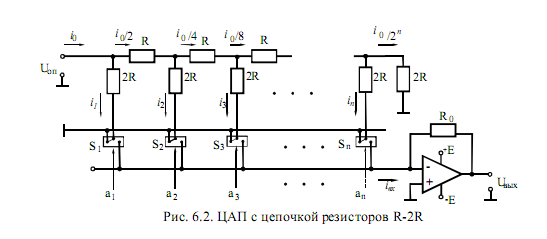
**26 Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП). ЦАП с взвешенными резисторами.**

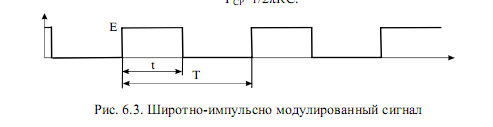
Цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) называется устройство для получения выходной аналоговой величины, соответствующей цифровому коду, поступающему на вход преобразователя. ЦАП применяют в трех случаях: 1) для согласования цифровых устройств с аналоговыми; 2) в качестве внутренних узлов в аналого-цифровых преобразователях (АЦП); 3) в качестве самостоятельных функциональных узлов и блоках радио- и электронной аппаратуры. При создании ЦАП применяют два метода: 1) суммирование единичных эталонных величин; 2) суммирование эталонных величин, веса которых отличаются. Работа ЦАП описывается выражением: X = P ( + + ) где X – выходная аналоговая величина; P – некий опорный уровень; a – коэффициенты соответствующие двоичным разрядам, они либо «1», либо «0»; b – количество разрядов преобразуемого двоичного числа. Эта запись отображает представление преобразуемого кода, представляющего собой правильную двоичную дробь. В качестве опорного сигнала P можно принимать постоянное либо переменное напряжение. Если в качестве опорного сигнала используется переменное напряжение, то ЦАП реализует также перемножение аналоговой величины на цифровой код. В ЦАП из опорного напряжения формируются эталонные величины, соответствующие значениям разрядов входного кода, которые затем суммируются и образуют дискретные значения выходной аналоговой величины. ЦАП классифицируются по следующим признакам: 1. По способу формирования выходного сигнала: • суммированием напряжении • делением напряжений; • суммированием токов. 2. По роду выходного сигнала: • с выходом по току; • с выходом по напряжению. 3. По полярности выходного сигнала: • униполярные; • биполярные. 4. По конструктивно логическому исполнению: • модульные; • гибридные; • интегральные. 5. По типу элементов использованных, для суммирования: • резистивные; • емкостные; • оптоэлектронные. В ЦАП интегрального исполнения в основном используется формирование выходного сигнала с суммированием токов. При этом применяются два основных схемотехнических способа: • ЦАП с взвешенными резисторами; • ЦАП с цепочкой типа R-2R. Широкое применение нашел также метод ЦАП на основе широтноимпульсной модуляции (ШИМ). Основными параметрами ЦАП являются: • разрядность преобразования, • диапазон выходных сигналов, • погрешность преобразования, • быстродействие. **ЦАП с взвешенными резисторами**  Наиболее простой ЦАП с взвешенными резисторами (рис. 6.1) состоит из четырех функциональных частей: источника опорного напряжения, набора резисторов, набора коммутаторов и суммирующего усилителя. Из источника опорного напряжения с помощью набора резисторов формируются токи, величины которых соотносятся между собой так, как соотносятся веса двоичных разрядов правильной дроби. Эти токи с помощью набора коммутаторов коммутируются либо на землю, либо в цепь суммирования. Коммутаторы управляются разрядами преобразуемого двоичного числа: если значение разряда равно 1, то ток поступает в цепь суммирования, в противном случае – на землю. Суммирующий усилитель включает в себя операционный усилитель (ОУ) и резистор обратной связи Roс. Работа такого ЦАП описывается выражением : X = ( + + ) Недостатком ЦАП с взвешенными резисторами является необходимость подбора резисторов с различными номиналами; при этом сопротивления резисторов изменяются в широких пределах и должны быть выдержаны с высокой точностью. Это создает большие трудности, особенно при реализации ЦАП в интегральном исполнении. Достоинство такого ЦАП – схемная простота. Достижимая разрядность преобразования порядка 8. 

**27.ЦАП с цепочкой резисторов R-2R**

ЦАП с цепочкой резисторов R-2R содержит резистивную матрицу R-2R и суммирующий усилитель. 

Принцип работы схемы в том, что ток в каждом из n узлов делится пополам, т.е. I1=I0/2; I2=I1/2 = I0/4 ; I3=I2/2 = I1/4 = I0 = 8; In = In-1 / 2 = … = I0 /2n . Подавая управляющие сигналы ai мы выбираем какие из ветвей делителя тока заземлить, а какие соединить со входом суммирующего усилителя. Таким образом, мы можем получить на входе сумматора ток от I0  до нуля с точностью I0/2n, что даст на выходе напряжение от Uоп до нуля с точностью Uоп/2n. Преимущество такой матрицы в том, что используются резисторы только двух номиналов, отличающиеся в два раза. ЦАП, выполненный на цепочке типа R-2R, является быстродействующим, так как источник опорного напряжения нагружен на постоянное сопротивление, равное R, что уменьшает длительность переходных процессов. В отличие от ЦАП со взвешенными резисторами, ЦАП с цепочкой резисторов типа R-2R не требует широкого диапазона сопротивлений, что упрощает задачу получения интегральной матрицы сопротивлений.

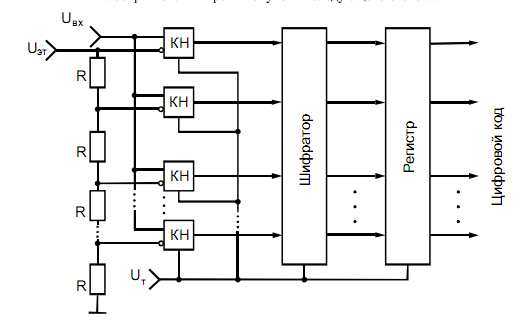
**28 ЦАП на основе широтно-импульсной модуляции.**

На рис. 1 показан широтно-импульсно модулированный сигнал. Он описывается тремя параметрами: амплитудой Е, периодом Т и длительностью t импульсов. При этом параметры Е и Т остаются постоянными, а t изменяется дискретно с точностью 1/2N, где N – разрядность кода для представления параметра t. Принцип цифроаналогового преобразования (ЦАП) на основе ШИМ заключается в выделении с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ) постоянной составляющей U0 ШИМ-сигнала. При этом U0= Е t / Т.Частота среза ФНЧ должна выбираться из условия требуемого подавления несущей частоты (1/Т) ШИМ-сигнала. Если, к примеру, в качестве ФНЧ используется интегрирующая RC-цепочка с постоянной времени τФНЧ=RC, то для обеспечения пульсаций выходного сигнала меньше единицы младшего разряда ЦАП ( Е/2N ) постоянная времени ФНЧ должна выбираться из условия: RC ≥ T·2N. При этом частота среза FСР ФНЧ может быть найдена из выражения FСР=1/2πRC. 

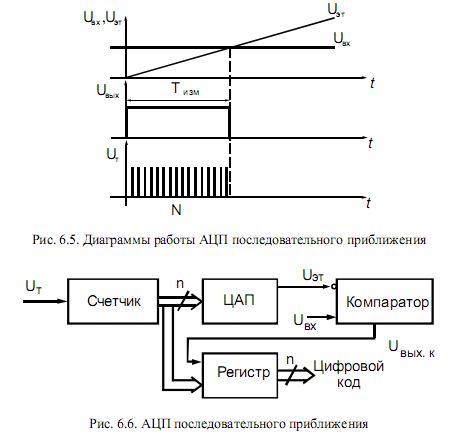
**29 Аналого-цифровые преобразователи (АЦП). АЦП параллельного действия.**

АЦП осуществляют преобразование аналогового сигнала в цифровой код с периодом дискретизации Т. Основные характеристики: 1) Разрешающая способность определяется разрядностью и динамическим диапазоном входного аналогового сигнала. 2) Точность (погрешность) квантования определяется разностью преобразования, зависит от нелинейности характеристики преобразования, погрешностью удержания нуля, погрешностью в передаточной характеристике тракта усиления. 3) Быстродействие – время от момента начала преобразования до момента получения выходного цифрового кода.

**АЦП параллельного преобразования**

Структурная схема АЦП параллельного действия показана на рис. 6.4. Она содержит: • резистивный делитель напряжения, который из опорного напряжения создает сетку опорных уровней квантования; • набор входных компараторов напряжения (КН), которые формируют позиционный код уровня входного сигнала; • шифратор, преобразующий позиционный код компараторов в двоичный код; • выходной регистр, в котором двоичный код уровня входного сигнала сохраняется на время получения следующего отсчета. При Uт = 0 выходы всех компараторов закрыты. На их прямых входах постоянно действует входной аналоговый сигнал Uвх, а на инверсные входы подано постоянное опорное напряжение с резисторов делителя, подключенных к источнику опорного напряжения Uэт. При Uт = 1 разрешается работа компараторов и на их выходах появляются сигналы, уровни которых при некотором значении Uвх равны «0» для компараторов, для которых Uвх< Uэт, и равны «1» для компараторов, у которых Uвх> Uэт. Сигналы с выходов компараторов поступают на шифратор, который при Uт = 1 закрыт по инверсному входу разрешения. При обратном переходе(«1» → «0») сигнала Uт компараторы выключаются, а шифратор выдает двоичный код на входы выходного регистра. При следующем прямом переходе («0» → «1») сигнала Uт происходит запись двоичного числа (N-го отсчета) в регистр и это число заменяет предыдущее (N–1 значение). В это же время (Uт = 1) в закрытом шифраторе хранится код (N+1)-го отсчета, а открытые компараторы обрабатывают (N+2)-й отсчет сигнала. Таким образом, в параллельном АЦП действует конвейер, при этом период следования отсчетов может быть равен времени задержки одного из трех узлов (худшего по быстродействию), а не сумме этих времен. Достоинством АЦП параллельного преобразования является высокое быстродействие, а недостатком – резкое увеличение аппаратной сложности с увеличением разрядности, а также высокие требования к точности изготовления резисторов в делителе, формирующем опорные напряжения для компараторов. Реализуемая разрядность преобразования – до 6. 

**30 АЦП последовательного приближения.**

Принцип работы такого АЦП показан на диаграммах (рис. 6.6). Если на прямом и инверсном входах сравнивающего элемента (интегрального компаратора) действуют соответственно входной (Uвx – постоянное напряжение, равное мгновенному значению преобразуемого сигнала) и эталонный (Uэт – линейно изменяющееся эталонное напряжение) сигналы, то длительность выходного импульса Тизм будет пропорциональна напряжению UBX. Таким образом осуществляется преобразование типа «напряжение – интервал времени». В интервале Тизм импульсы UT тактовой частоты суммируются двоичным счетчиком, на выходе которого получим двоичный код, пропорциональный интервалу Тизм и напряжению UBX. В этой схеме эталонное напряжение последовательно приближается к преобразуемому, в момент их равенства преобразование аналогового напряжения в цифровой код заканчивается. Эталонное напряжение UЭT можно сформировать как с помощью высоколинейной импульсной схемы генератора линейно-изменяющегося напряжения (ГЛИН), так и цифровой схемы ГЛИН. В последнем случае суммирующий счетчик и ЦАП формируют ступенчатое напряжение UЭТ, которое при необходимости может быть преобразовано в линейно изменяющееся напряжение с помощью фильтра нижних частот. Вариант такой схемы приведен на рис. 6.6. Эталонное напряжение для инверсного входа компаратора формируется суммирующим счетчиком и ЦАП. На прямом входе компаратора мгновенное значение входного сигнала: (в момент t = Тизм) переход из единичного состояния в нулевое выходного сигнала компаратора переписывает содержимое счетчика в выходной регистр. После переполнения счетчика преобразование повторяется. 

Общий недостаток АЦП с последовательного приближения – низкое быстродействие. Кроме того, время преобразования в таком АЦП пропорционально величине преобразуемого аналогового сигнала. Поэтому данные АЦП находят применение только в устройствах с низким быстродействием, например, в цифровых вольтметрах.