

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Аналого-цифровой преобразователь – это устройство, которое преобразует информацию в виде аналоговых сигналов в цифровой код. Этот цифровой код может быть представлен в виде, удобном для работы вычислительной машины (обычно это двоичный код), либо в форме, удобной для визуального восприятия, то есть в виде десятичного числа. Аналого-цифровой преобразователь (в дальнейшем АЦП) в устройствах автоматики является промежуточным звеном между датчиками различных физических величин (напряжение, температура, давление) и процессором, роль которого выполняет вычислительная машина той или иной степени сложности, соответствующей комплексу решаемых задач.

АЦП может быть самостоятельным измерительным прибором, измеряющим какие-либо физические величины, например, амперметром, вольтметром, измерителем индуктивности, емкости и т. д.

Цифровые измерительные приборы отличаются от аналоговых (стрелочных) прежде всего гораздо большей (на несколько порядков) точностью, удобством считывания результатов измерения, возможностью стыковки с вычислительными комплексами. Недостатком является значительно бóльшая сложность. В отличие от аналогового прибора, АЦП (как и другие цифровые приборы) работает циклично. В стрелочном вольтметре, например, после подключения его к источнику напряжения за доли секунды или за несколько секунд происходит отклонение или успокоение стрелки, и затем она стоит неподвижно, непрерывно показывая значение измеряемой величины. Если величина напряжения изменяется, то и стрелка будет плавно смещаться. В АЦП процесс измерения происходит отдельными циклами. Сначала в приборе производится преобразование аналоговой информации в цифровой вид, затем результат в течение некоторого времени, необходимого для считывания, выдерживается на индикаторе, и весь процесс повторяется сначала.

Таким образом, длительность одного цикла определяется временем измерения и временем индикации. Время индикации в приборах, предназначенных для выдачи информации человеку, обычно может регулироваться самим человеком от доли секунды до нескольких секунд. Если же прибор выдает результаты измерения в машину, то это время может быть уменьшено до микросекунд. При этом большую часть цикла измерения составляет время непосредственной переработки аналоговой информации в цифровую. В сложных быстропротекающих процессах, например, в полете ракеты, быстродействие всех систем управления,

куда входит АЦП, становится важным параметром. Время преобразования современных АЦП составляет примерно микросекунду на каждый разряд числа, выдаваемого прибором.

Рассмотрим функционирование конкретного АЦП, изучаемого в данной работе. Блок-схема прибора приведена на рис. 9.1.

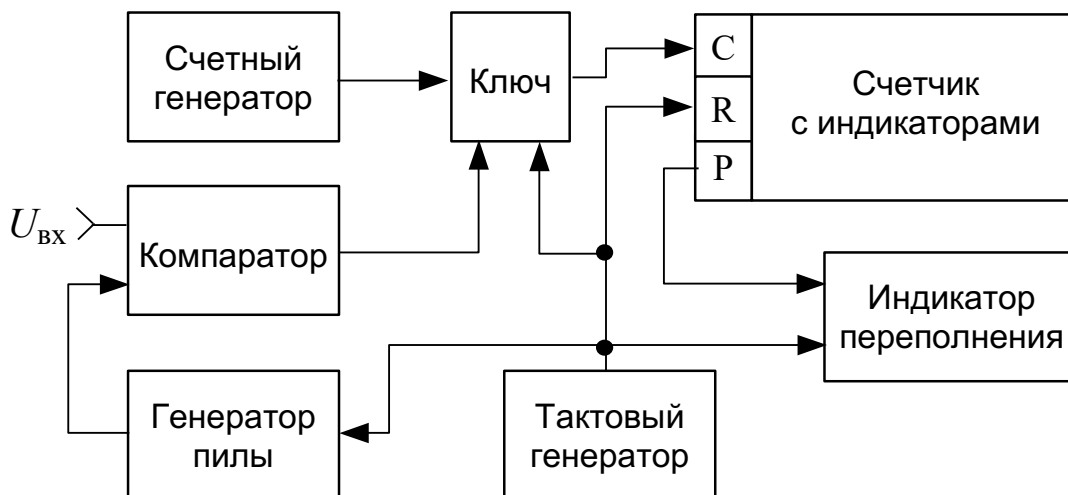


Рис. 9.1

Работа всего устройства управляется тактовым генератором. Этот генератор выдает импульсы, показанные на рис. 9.2а. В момент времени t_0 на выходе тактового генератора возникает высокий уровень потенциала (логическая 1). Этот уровень подается на счетчик и на генератор пилы. При этом на счетчике устанавливаются нулевые показания независимо от его предыдущих показаний. На генераторе пилы этим же потенциалом устанавливается нулевое напряжение на выходе. Выход генератора пилы поступает на один из входов компаратора, на другой вход компаратора подается измеряемое напряжение $U_{вх}$.

Компаратор – это устройство, которое сравнивает два аналоговых напряжения и выдает на выходе высокий или низкий уровень напряжения в зависимости от того, на каком входе напряжение больше. Входное напряжение $U_{вх}$ и напряжение с генератора пилы поданы на вход компаратора так, что при нулевом напряжении генератора пилы и некотором постоянном напряжении $U_{вх}$ на выходе компаратора есть высокий потенциал. Этот потенциал подается на ключ и держит ключ в открытом состоянии, при этом импульсы счетного генератора, который работает непрерывно, проходят на счетчик, но не изменяют показания счетчика, так как он удерживается в нулевом состоянии высоким потенциалом тактового генератора.

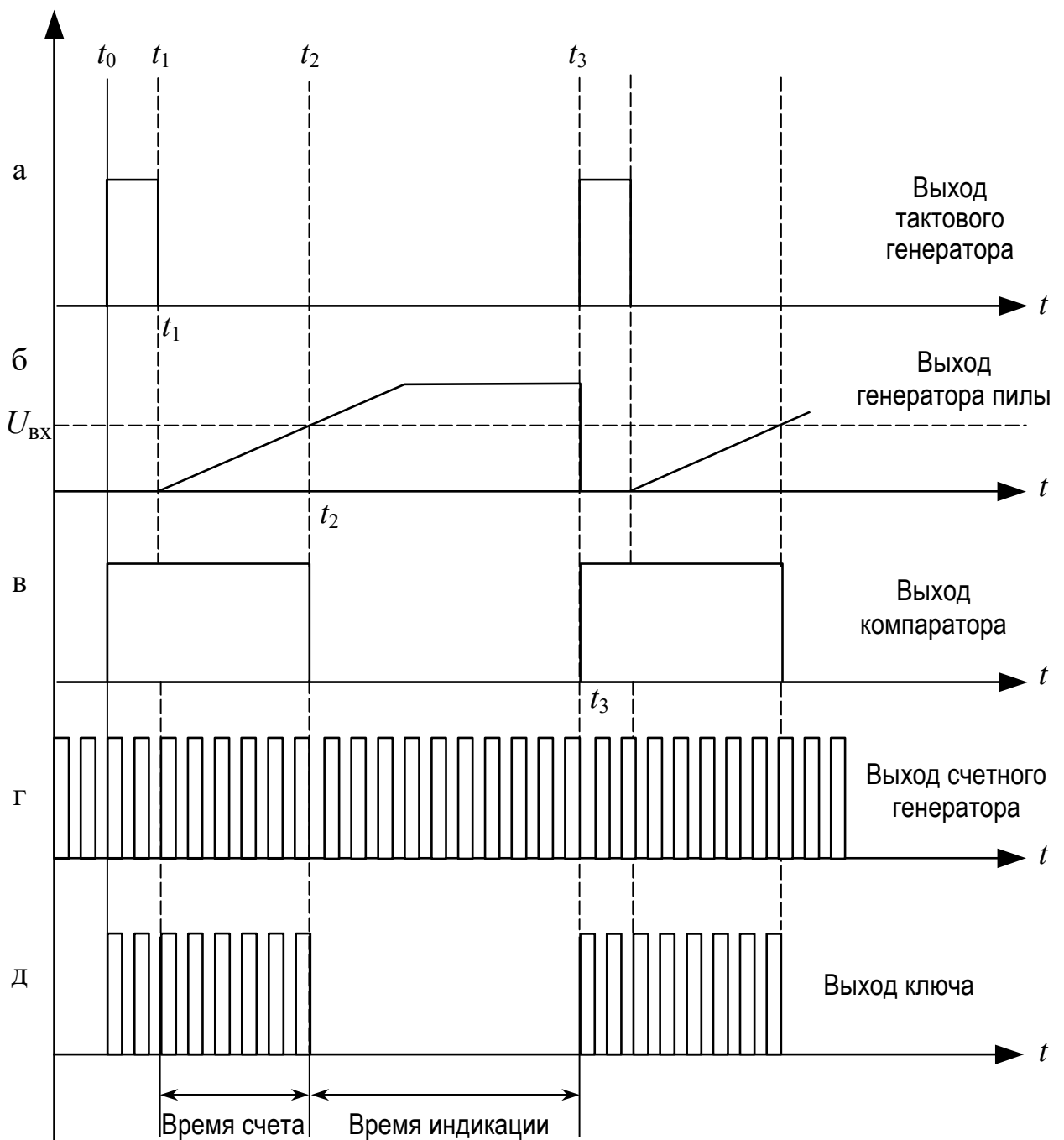


Рис. 9.2. Временные диаграммы работы АЦП

Такое состояние схемы продолжается от момента t_0 до момента t_1 . Длительность этого отрезка времени выбирается такой, чтобы все переходные процессы в счетчике и в генераторе пилы окончились. В момент времени t_1 исчезает высокий потенциал на выходе тактового генератора, снимается запрет на счет в счетчике, и он начинает считать импульсы счетного генератора. Одновременно начинает работать генератор пилы. На его выходе начинает нарастать напряжение по линейному закону (пилообразное напряжение, рис. 9.2б). В момент времени t_2 напряжение пилы достигает значения U_{BX} и становится больше его. Потенциал на выходе компаратора резко падает и запирает ключ.

При этом прекращается прохождение импульсов счетного генератора на счетчик, и счет прекращается. На счетчике остается число, соответствующее количеству импульсов счетного генератора, которое прошло на счетчик за отрезок времени от t_1 до t_2 . Это число остается на индикаторе до момента t_3 , когда на выходе тактового генератора снова возникает высокий потенциал, который обнуляет счетчик и сбрасывает к нулю напряжение на выходе генератора пилы. На этом заканчивается цикл измерения, и затем снова происходят все процессы, описанные выше.

Количество импульсов, прошедших на счетчик, а следовательно, и его показания будут (см. рис. 9.2) пропорциональны частоте счетного генератора и длительности интервала времени от t_1 до t_2 , в течение которого открыт ключ. Это время пропорционально величине $U_{\text{вх}}$ (чем выше $U_{\text{вх}}$, тем позже напряжение пилы сравняется с ним) и обратно пропорционально скорости нарастания пилы (чем выше скорость, тем меньше времени нужно, чтобы напряжение пилы сравнялось с $U_{\text{вх}}$). Таким образом:

$$N = F \cdot T = U_{\text{вх}} \cdot F / (dU/dt),$$

где N – число импульсов на индикаторе счетчика; F – частота счетного генератора; T – время, равное $(t_2 - t_1)$; (dU/dt) – скорость нарастания пилообразного напряжения.

Величину $F/(dU/dt)$ можно всегда выбрать так, чтобы она численно была равна единице, тогда $N = U_{\text{вх}}$, т.е. показание счетчика будет равно напряжению $U_{\text{вх}}$, выраженному в вольтах или в десятых (сотых, тысячных и т. д.) долях вольт. Тогда на цифровом индикаторе нужно в соответствующем месте высветить запятую.

Рассмотрим теперь, как технически реализованы каждый из функциональных блоков, показанных на рис. 9.1.

Счетный генератор. Счетный генератор представляет собой часто используемый в цифровой технике мультивибратор на логических элементах. Здесь, в частности, применены логические элементы 2И-НЕ. Это элементы DD3.1 и DD3.2 (см. рис. 9.3). Эти и другие логические элементы 2И-НЕ, используемые в данном АЦП, содержатся в микросхемах К176ЛА7. Каждая такая микросхема содержит 4 независимых элемента 2И-НЕ. В приборе согласно принципиальной схеме (рис. 9.3) необходимы 7 логических элементов, для этого понадобилось 2 микросхемы К176ЛА7, один элемент остается свободным. Частота мультивибратора определяется цепочкой R2, C1 и может меняться в широких пределах подбором этих элементов.

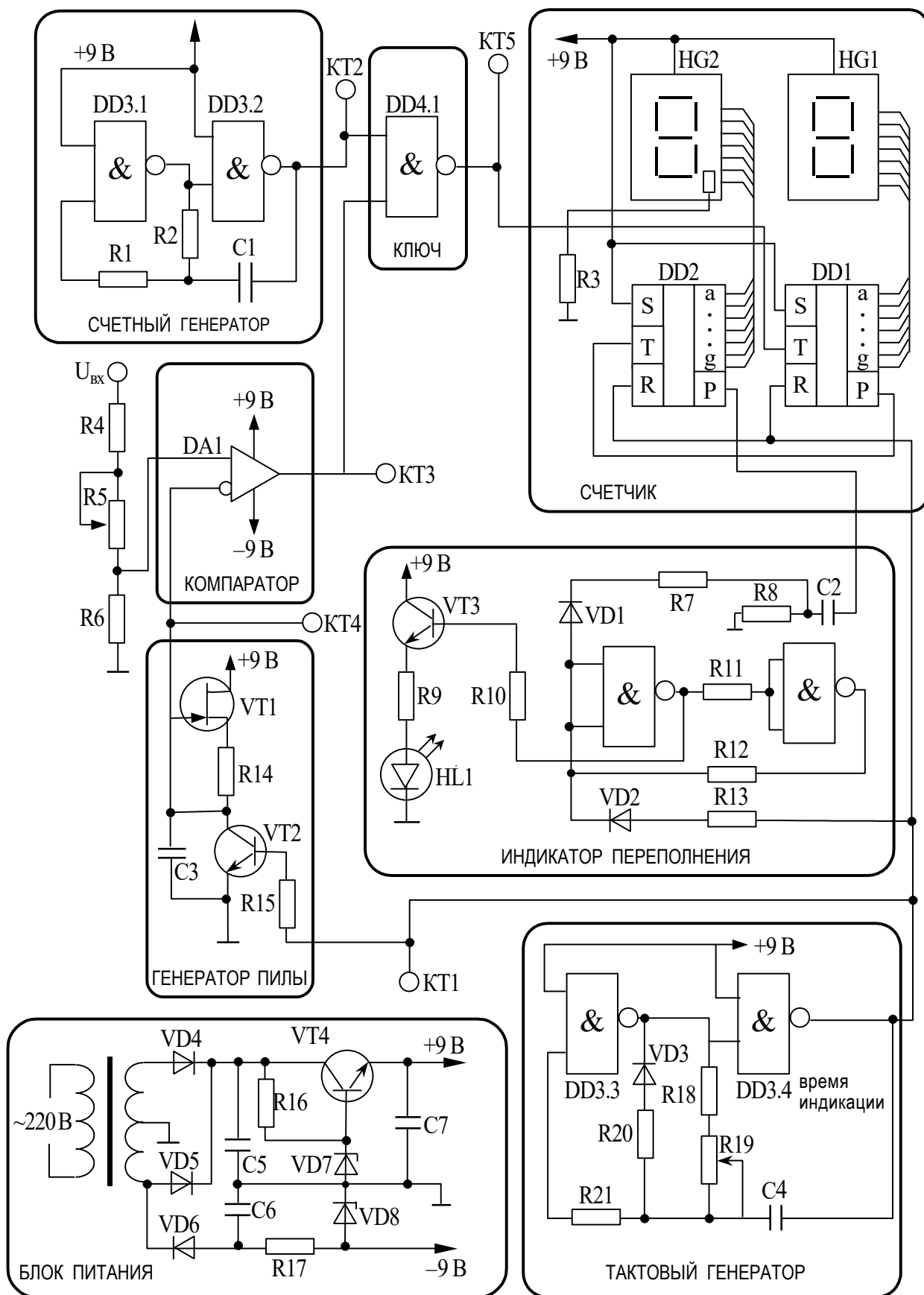


Рис. 9.3. Электрическая принципиальная схема АЦП

Ключ. В качестве ключа используется логический элемент 2И-НЕ DD4.1. Если на одном из входов этого элемента присутствует логический ноль, то состояние выхода не будет зависеть от состояния второго входа.

Если же на один из входов, в нашем случае – это нижний вход на схеме, подать логическую единицу, то на выходе состояние будет меняться, если на втором входе происходит чередование нулей и единиц (в нашем случае это импульсы счетного генератора, подаваемые на верхний по схеме вход ключа). Входные и выходные импульсы будут сдвинуты на 180 градусов по фазе за счет операции НЕ, но для работы данного прибора это не важно.

Счетчик. Счетчик собран на микросхемах К176ИЕ4, индикаторами служат 7-сегментные светодиодные матрицы АЛ 304. Емкость счетчика – два десятичных разряда. Так как используемые светодиодные матрицы имеют общий анод, то на входы S микросхем DD1 и DD2 подана логическая единица, при этом выходы этих микросхем а, b, с ... g, которые должны зажечь соответствующие цифры, имеют низкий потенциал. Прибор предназначен для измерения постоянного напряжения от 0 до 9,9 В, поэтому после старшего разряда включена запятая, для чего вывод матрицы Н через резистор R3 соединен с общим проводом. Импульсы с выхода ключа подаются на счетный вход Т младшего разряда, выполненного на микросхеме DD1. Каждый десятый импульс приводит к появлению падающего фронта на выходе Р, который соединен со счетным входом следующего разряда и изменяет состояние счетчика DD2 на единицу. Когда на счетчике появится число 9,9, то следующий импульс счетного генератора приведет к обнулению счетчика и появлению падающего фронта на выходе Р старшего разряда. Этот фронт используется для зажигания индикатора переполнения.

Индикатор переполнения. Так как данный АЦП имеет 2 десятичных разряда, то на счетчик не должно поступать более 99 импульсов,

в противном случае показания цифрового индикатора не будут соответствовать истине. Момент переполнения фиксируется индикатором

переполнения, в основе которого лежит триггер, собранный на логических элементах DD4.2 и DD4.3. В начале каждого цикла измерения тактовым импульсом через цепочку VD2, R13 триггер устанавливается (независимо от предыдущего состояния) в такое состояние, когда на выходе элемента DD4.2 присутствует низкий потенциал (логический нуль). Этот низкий потенциал через резистор R10 удерживает в закрытом состоянии транзистор VT3 и, следовательно, светодиод HL1 не светится. Если же в каком-либо цикле измерения число импульсов, поступивших на счетчик, превысит 99, то на выходе Р старшего разряда появится падающий фронт импульса. Этот фронт выделяется дифференцирующей цепочкой R8, C2 с диодом VD1 и приводит триггер в такое состояние, что на выходе элемента DD4.2 появляется высокий потенциал

(логическая единица) и через транзистор VT3 зажигается светодиод HL1, это означает, что счетчик переполнен и его показания не соответствуют измеряемой величине. Свечение индикатора продолжается до следующего тактового импульса, которым триггер сбрасывается в исходное состояние, светодиод гаснет на короткое время, пока снова заполняется счетчик, и зажигается вновь, если напряжение на входе превышает допустимые 9,9 В.

Тактовый генератор. Тактовый генератор представляет собой несимметричный мультивибратор, собранный на логических элементах DD3.3 и DD3.4. Длительность пребывания мультивибратора в каждом из двух состояний определяется временем зарядки и перезарядки конденсатора С4. Зарядка, т.е. возрастание положительного потенциала на левой обкладке, происходит током по цепи R18, R19, разрядка же в основном происходит через малый резистор R20 и открытый в это время диод VD3. Форма сигнала на выходе показана на рис. 9.2а. Время индикации результата измерений определяется расстоянием между тактовыми импульсами и может регулироваться переменным резистором R19.

Генератор пилы. Для получения пилообразного напряжения, необходимого для работы АЦП, используется принцип зарядки конденсатора током постоянной величины. Он получается с помощью простейшего стабилизатора на полевом транзисторе VT1. Стабилизация происходит следующим образом. Ток от источника +9 вольт проходит через транзистор VT1, резистор R14 и заряжает конденсатор С3. Падение напряжения на резисторе R9 оказывается приложенным между затвором и истоком транзистора VT1 таким образом, что при увеличении тока это напряжение стремится закрыть транзистор и не дать току увеличиться. При уменьшении тока зарядки емкости С3 транзистор становится более открытым и поддерживает величину тока. Начало пилы определяется тактовым импульсом, подаваемым на транзистор VT2. При наличии высокого потенциала на базе VT2 он открыт, и напряжение на конденсаторе С3 равно 0. Как только тактовый импульс исчезает, сопротивление транзистора VT2 становится очень велико и не препятствует зарядке конденсатора.

Компаратор. Его роль выполняет операционный усилитель DA1. Работа операционного усилителя заключается в следующем. Если на один из входов подать напряжение, то на выходе усилителя появится напряжение такого же знака, усиленное в K раз (K – коэффициент усиления). Этот вход называется неинвертирующим. Если же напряжение подать на другой вход, то на выходе будет усиленное в K раз напряжение другого знака. Этот вход называется инвертирующим

(обозначается на схеме кружочком). Если же независимые напряжения подаются одновременно на оба входа, то выходное напряжение будет:

$$U_{\text{вых}} = (U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}}) \cdot K.$$

В исследуемом АЦП на неинвертирующий вход компаратора подается часть постоянного измеряемого входного напряжения. На другой вход подается пилообразное напряжение, которое формируется генератором пилы. Пока напряжение пилы меньше, чем постоянное напряжение на другом входе, на выходе DA1 имеется высокий потенциал, почти равный напряжению питания. При этом ключ пропускает на счетчик импульсы счетного генератора. Как только напряжение пилы превысит постоянное напряжение на неинвертирующем входе, выходное напряжение меняет знак и закрывает ключ. Смена знака напряжения должна происходить как можно быстрее, для этого коэффициент усиления и быстродействие компаратора делаются возможно большими. Коэффициент усиления обычно равен 10000. Быстродействие численно измеряется величиной изменения напряжения за единицу времени и на практике имеет значение 10 В/мкс.

Практические задания

1. Объяснить работу всего устройства.
2. Определить длительность тактового импульса и максимальное время индикации. Для этого использовать контрольные точки КТ1 ... КТ5.
3. Подключить на вход прибора источник постоянного напряжения и получить осциллограммы, показанные на рис. 9.2а, б, в, г, д.
4. Определить частоту счетного генератора с помощью частотомера.
5. Используя промышленный цифровой вольтметр, градуировать изучаемый АЦП. Для этого подключить к источнику регулируемого напряжения промышленный (эталонный) вольтметр и изучаемый АЦП. Подать напряжение, близкое к верхнему пределу измерения (например 9,5 В) по показаниям эталонного прибора. Градуировочным резистором выставить такое же напряжение на индикаторе АЦП. Затем пройти весь диапазон напряжений от 0 до 10 В с шагом 1 В и построить градуировочный график: ось ординат – показания эталонного прибора, ось абсцисс – показания АЦП. Определить максимальное расхождение и объяснить возможные причины.
6. Пронаблюдать работу индикатора переполнения. Определить, при каком показании индикатора загорается сигнал переполнения.