

Лекция 13.

Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи

Электронные устройства делятся на аналоговые и цифровые. В системах управления различными процессами участвуют устройства обоих типов.

Аналоговые устройства используют для съема первичной информации с датчиков системы управления приводами, механизмами, микрофонов в звуковых системах и.т.п.

Цифровые устройства выполняют управление процессами в соответствии с заданным алгоритмом, передачу информации в современных цифровых системах связи выполняют. После цифровой обработки сигналов и их приёма требуется обратное преобразование в аналоговую форму для включения двигателей постоянного или переменного тока и воспроизведения звуковых сигналов в динамиках. Взаимодействие между аналоговой ча-

стью системы и цифровой обеспечивают цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

10.1. Цифроаналоговое преобразование

Цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) преобразует цифровую информацию в аналоговую. В цифровой технике информация существует чаще всего в бинарном коде, который кодируется по определенному коду. Для этого кода должен быть свой цифроаналоговый преобразователь. Код должен быть весовым. Например, каждому элементу двоичного кода, т.е. каждому разряду поставлен в соответствие вес, или степень числа 2.

Суммирование весовых токов

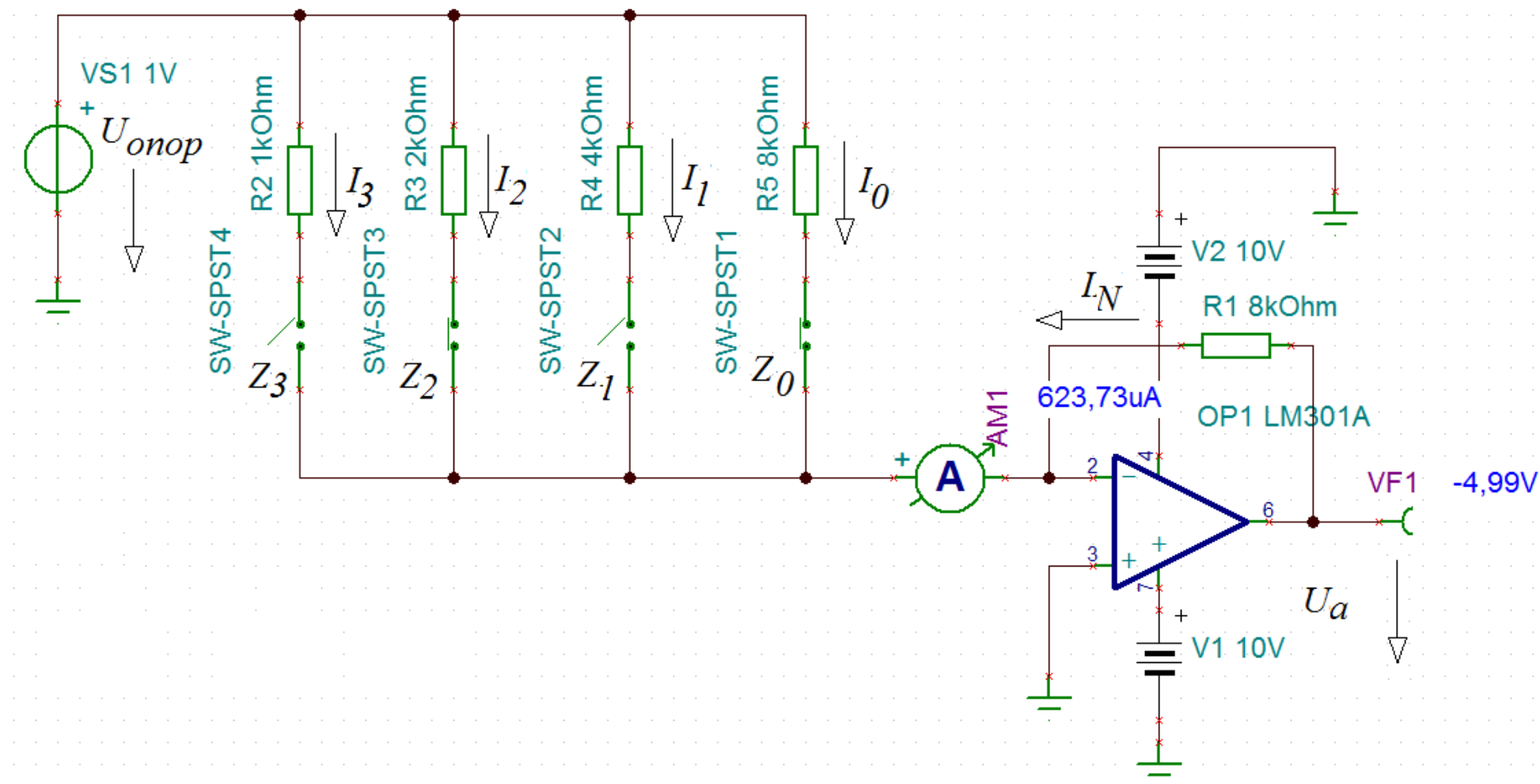


Рис.10.10

$$I_0 + I_1 + I_2 + I_3 = -I_N; U_{опорн} \left(\frac{1}{R_0} + \frac{2}{R_0} + \frac{4}{R_0} + \frac{8}{R_0} \right) = -\frac{U_a}{R_N}.$$

$$U_a = -U_{опорн} \left(\frac{R_N}{R_0} \right) (8Z_3 + 4Z_2 + 2Z_1 + Z_0).$$

Значения $Z_0 \div Z_3 = 0;1$.

Недостатки схемы: меняется нагрузка опорного источника.

Применяют перекидные ключи.

ЦАП с резистивной матрицей постоянного импеданса (матрица $R-2R$)

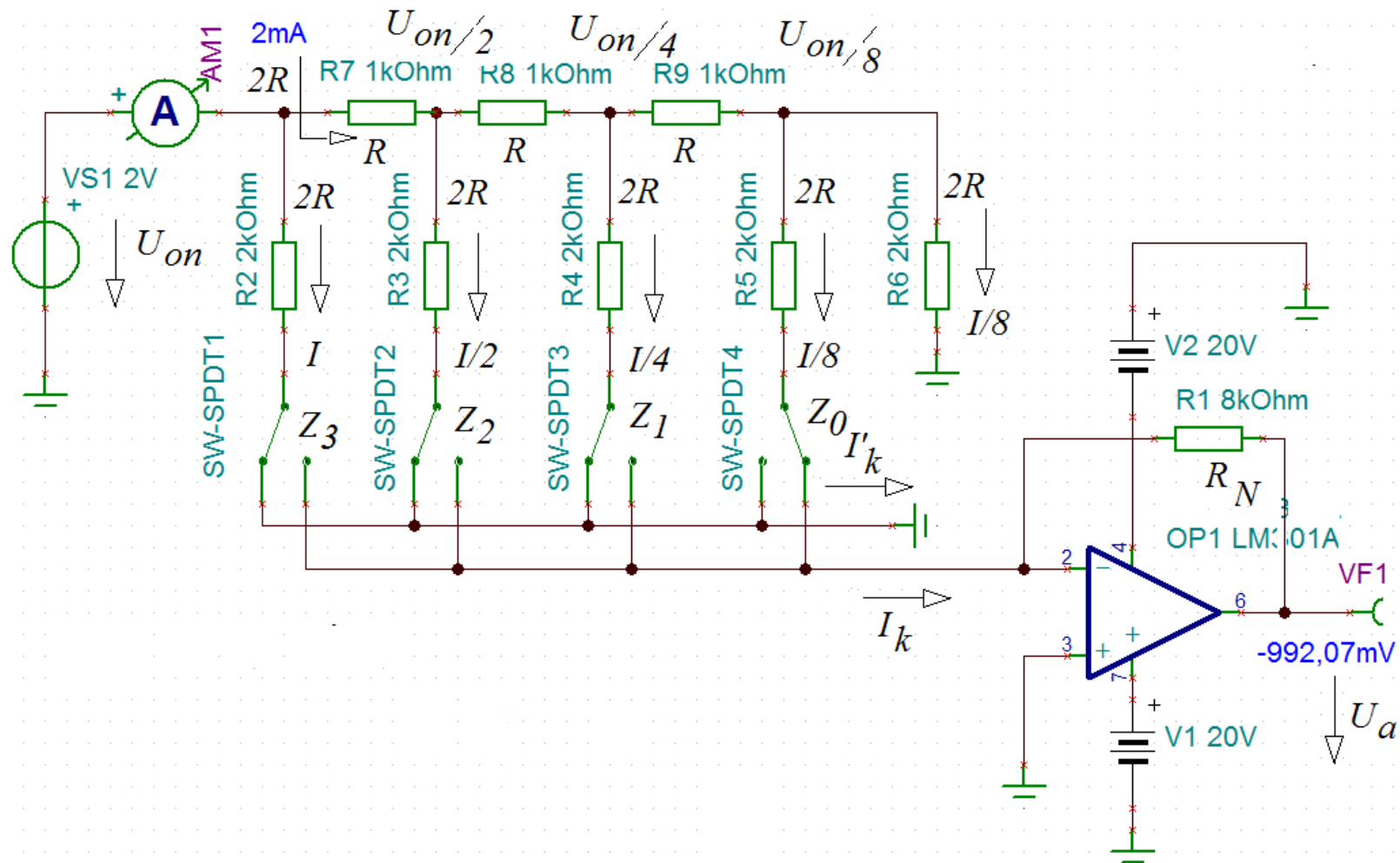


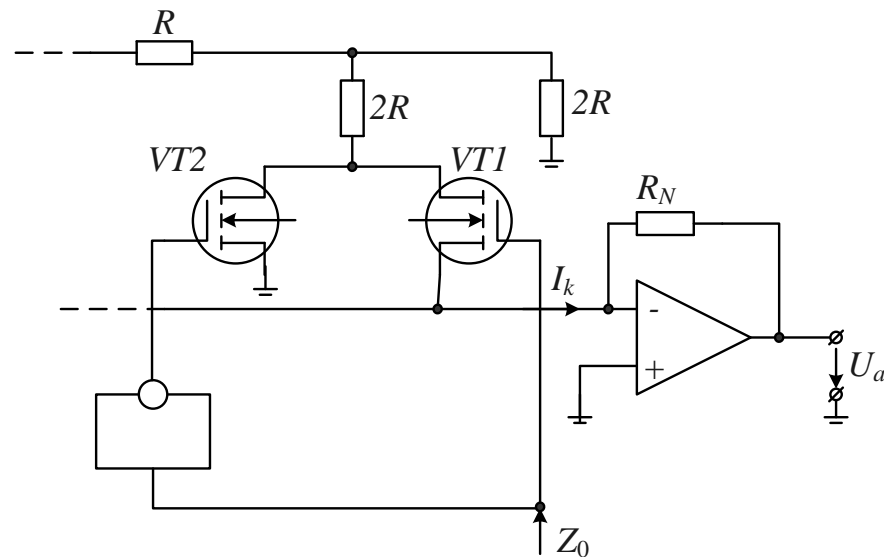
Рис.10.11

$$I_k = U_{\text{опорн}} \left(\frac{1}{2R} + \frac{1}{4R} + \frac{1}{8R} + \frac{1}{16R} \right) =$$

$$= \frac{U_{\text{опорн}}}{16R} (8Z_3 + 4Z_2 + 2Z_1 + Z_0) = -\frac{U_a}{R_N}.$$

$$U_a = -U_{\text{опорн}} \frac{R_N}{16R} Z.$$

Резистивная матрица с МОП ключами



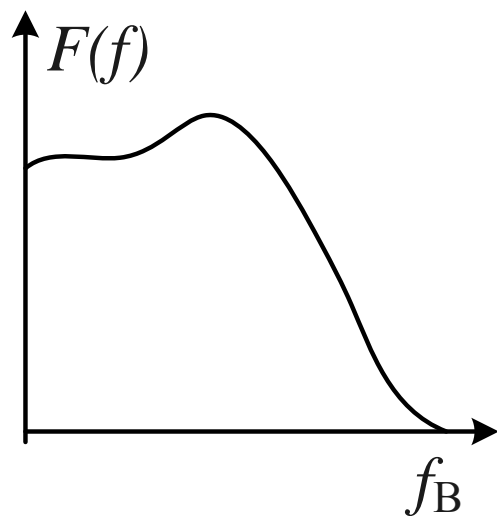
Аналого-цифровые преобразователи

В электронике и связи сигналы применяют в аналоговой и цифровой форме.

Теорема В.А. Котельникова

Аналоговой непрерывный сигнал с ограниченным спектром можно представить последовательностью отсчетов с периодом дискретизации

$$T \leq \frac{1}{2f_B}.$$

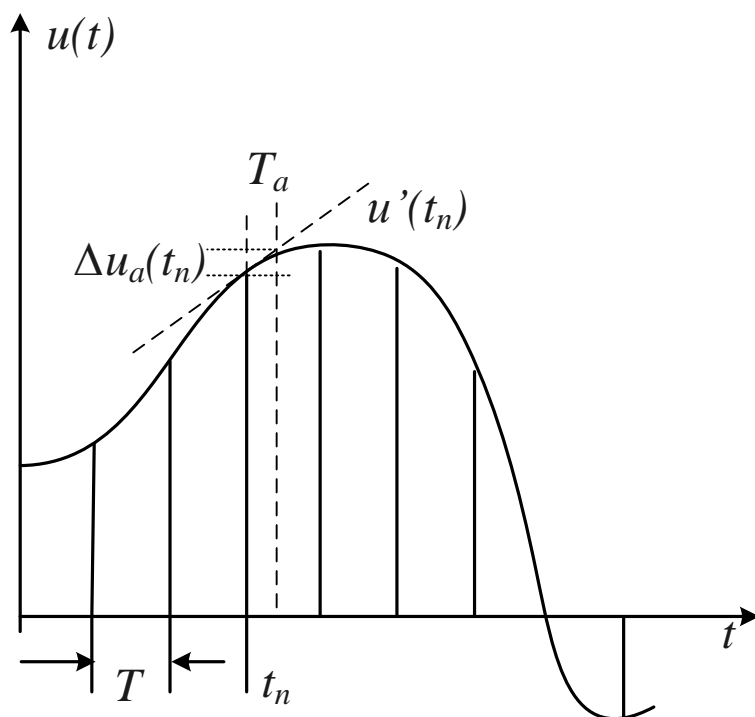


Энергетический спектр

Импульсный сигнал можно восстановить в непрерывный.

Этапы аналого-цифрового преобразования

1. Дискретизация по времени



T_a - апертурное время преобразования;

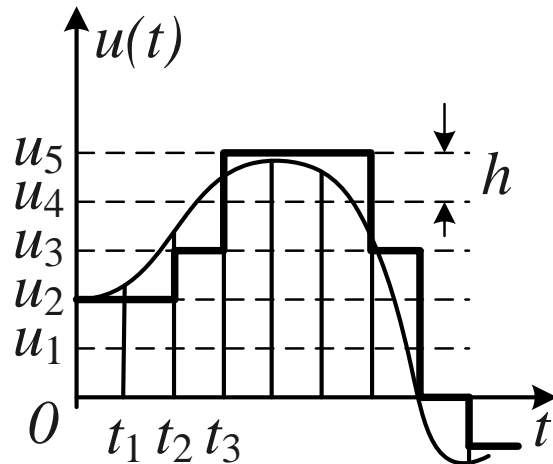
$u'(t_n)$ - скорость изменения сигнала;

$\Delta u_a(t_n)$ - апертурная погрешность.

Для гармонического сигнала относительная апертурная погреш-

ность:
$$\delta_a = \frac{\Delta u_a}{U_m} = \omega T_a.$$

2. Квантование по амплитуде



h – шаг квантования.

Максимальная погрешность квантования $\pm 0,5h$.

Среднеквадратическая погрешность $\sigma_{кв} = \frac{h}{\sqrt{12}}$.

В АЦП погрешность квантования определяются как единица младшего разряда (ЕМР).

Апертурная погрешность будет меньше погрешности квантования, если: $T_a < \frac{h}{2U_m \omega_m}$. Частота дискретизации возрастает.

3. Кодирование сигнала

Дискретные квантованные величины преобразуют в цифровой код.

Схема параллельного АЦП

Опорное напряжение:

$$U_{\text{опорн}} = 7h.$$

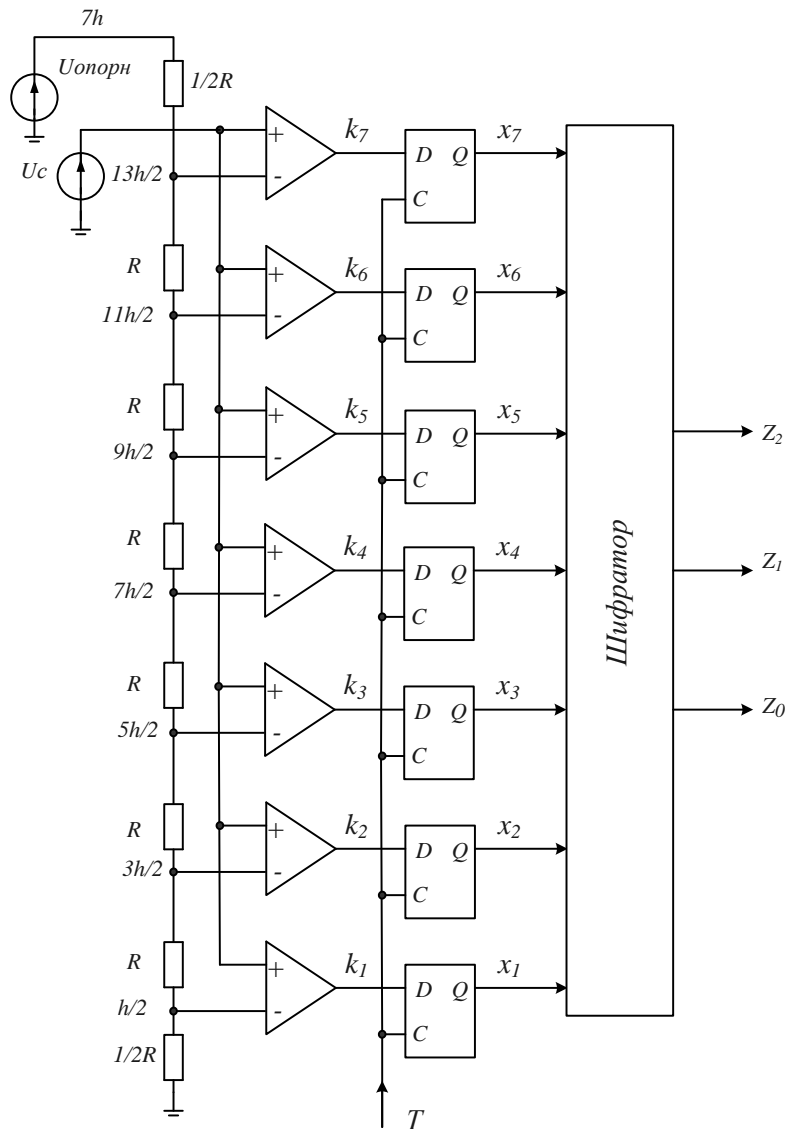
Компараторы на ОУ сравнивают входное напряжение U_e с напряжениями на резисторах делителя и устанавливают «1», если

$$U_e > \left(n - \frac{1}{2}\right)h.$$

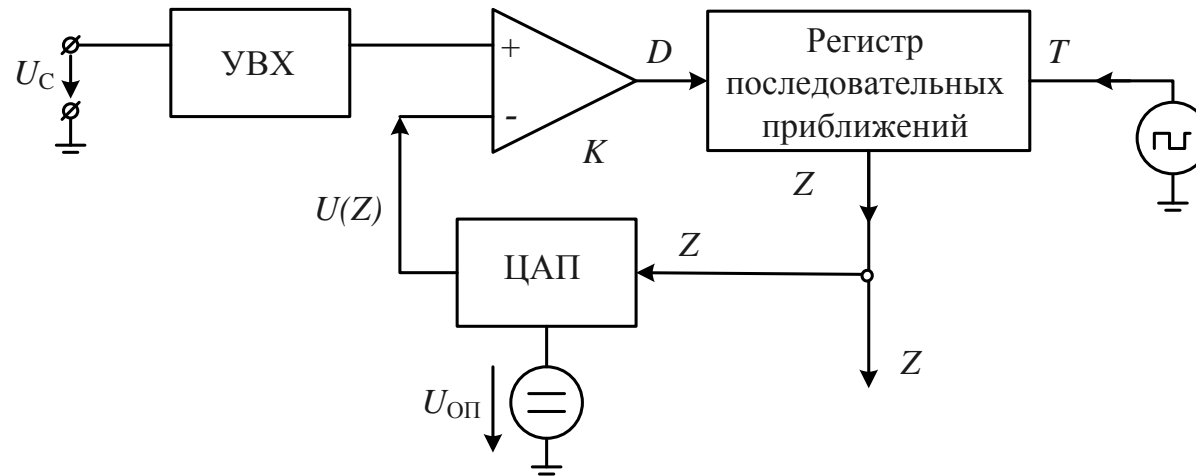
Тактовый импульс записывает состояния компараторов в триггеры.

Шифратор преобразует данные в трехразрядный код.

Имеем 8 уровней квантования.



АЦП, работающий по весовому методу



Этапы работы восьмиразрядного АЦП:

1. Память обнуляется.

2. Запись $Z_7 = 1$. На выходе ЦАП $U_Z = 2^7 h = \frac{U_{max}}{2}$.

Если $U_e > U_Z$, сохраняем $Z_7 = 1$. Если $U_e < U_Z$, обнуляем $Z_7 = 0$.

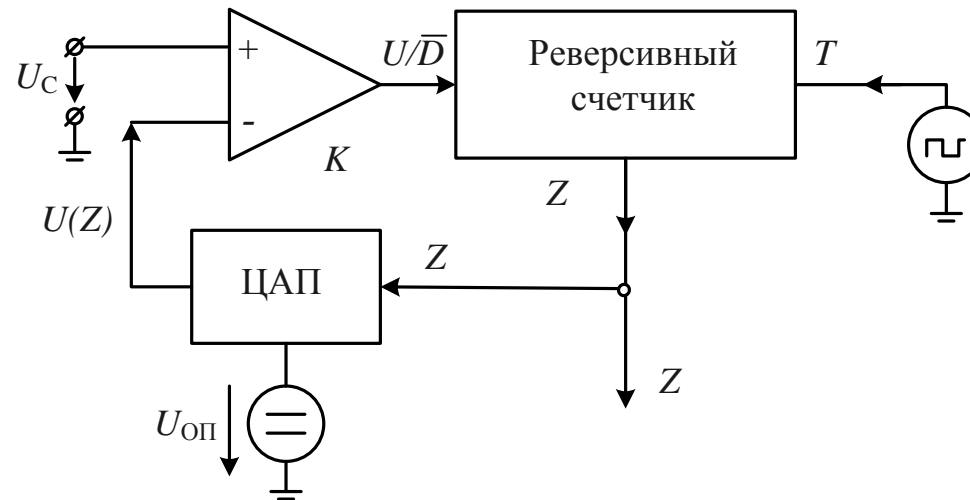
3. Записываем $Z_6 = 1$. Сравниваем $U_e - (Z_7 2^7 h + Z_6 2^6 h)$. Если $U_e > U_Z$, сохраняем $Z_6 = 1$. Если $U_e < U_Z$, обнуляем $Z_6 = 0$.

После восьми шагов в памяти будет двоичное число $Z = \frac{U_e}{h}$.

10.8. АЦП, использующие методы счета

Аналого-цифровое преобразование, использующие метод счета, требует наименьших схемотехнических затрат, но длительность преобразования заметно больше по сравнению с остальными методами и, как правило, составляет от 1 мс до 1 с.

Компенсационный цифровой АЦП



Входное напряжение сравнивается с компенсирующим. Если $U_e - U(Z) > \frac{h}{2}$, счетчик суммирует импульсы, если $U_e - U(Z) < \frac{h}{2}$ - вычитает. Компенсирующее напряжение отслеживает входное. На выходе счетчика двоичный код входного напряжения.

10.8.2. Метод пилообразного напряжения

Действует по принципу преобразования входного напряжения в пропорциональный ему временной интервал. Для этого служит генератор пилообразного напряжения в сочетании со строб-компаратором K_1 , K_2 и G_1 .

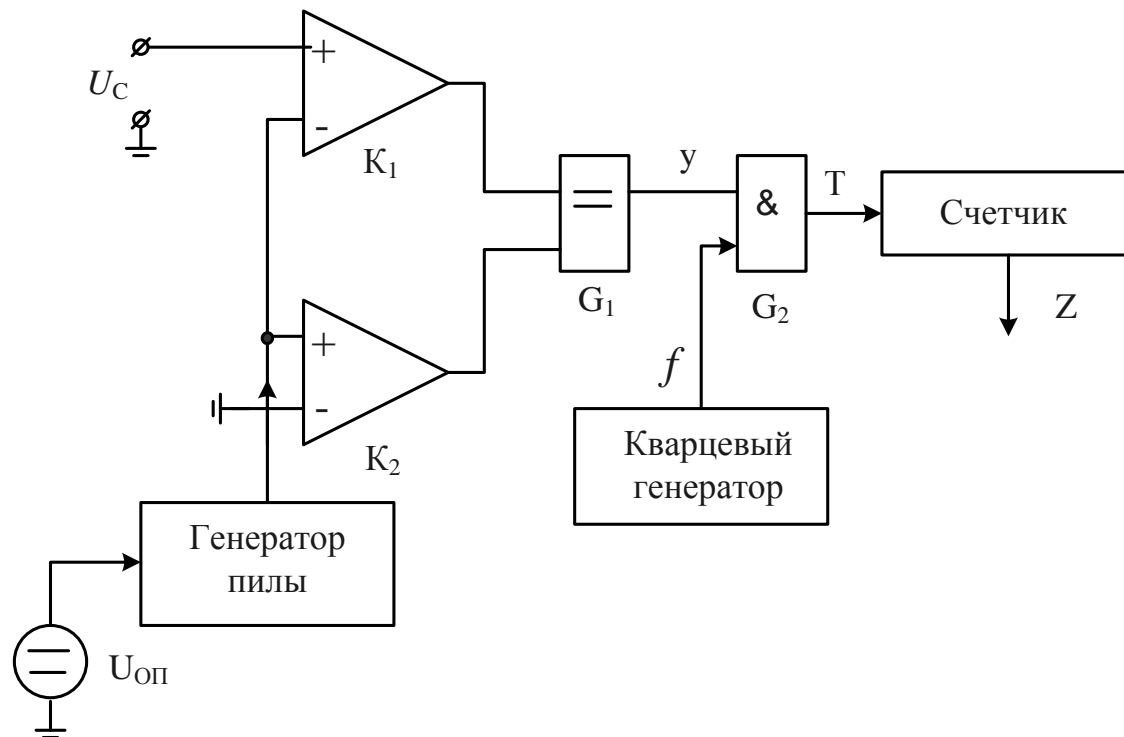
Пилообразное напряжение изменяется от отрицательного значения до положительного по закону: $V_s = \frac{U_{on}}{\tau} t - V_0$.

Время нарастания пилы $\Delta t = \tau \frac{U_c}{U_{on}}$ измеряется числом колебаний

кварцевого генератора. Если в начале измерений счетчик сбросить на нуль, по достижении верхнего порога компаратора он покажет число:

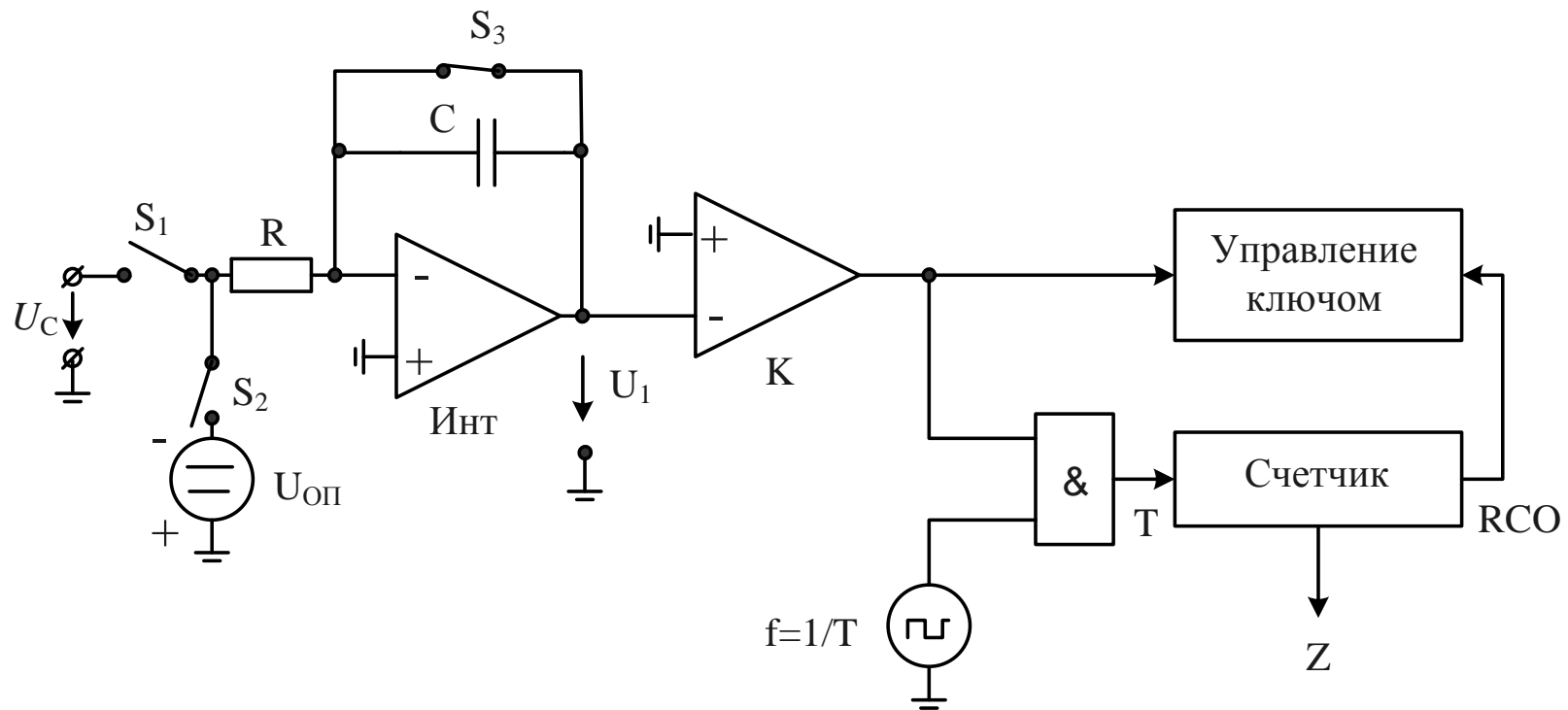
$$Z = \frac{\Delta t}{T} = \tau f \frac{U_c}{U_{on}}.$$

Недостаток: зависит от τ .
Точность не более 0,1%.



10.8.3. Метод двойного интегрирования

Метод предусматривает интегрирование не только опорного, но и входного напряжения. В исходном состоянии ключи S_1 и S_2 разомкнуты, а ключ S_3 замкнут (рис. 10.11), благодаря чему напряжение на выходе интегратора равно нулю.



1. В исходном состоянии ключи S_1 и S_2 разомкнуты, а ключ S_3 замкнут (рис. 10.11), благодаря чему напряжение на выходе интегратора равно нулю. Число Z также оказывается равным нулю:

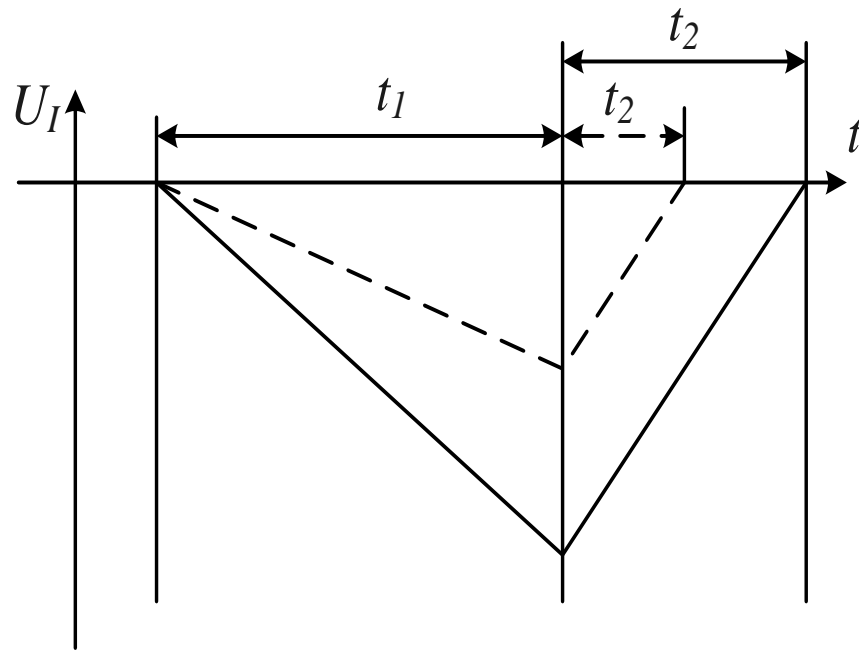
$$Z = (Z_{max} + 1) \frac{U_c}{U_{on}}. \quad (10.8)$$

2. К началу измерений счетчик обнулен, ключ S_3 разомкнут, а S_1 — замкнут, в силу чего происходит интегрирование входного напряжения U_c . Напряжение на выходе интегратора будет отрицательным, и компаратор К с помощью схемы И разблокирует тактовый генератор.

Первая фаза интегрирования t_1 завершается обнулением счетчика вслед за его переполнением после $Z_{max} + 1$ тактов.

3. После обнуления схема управления изменяет состояние ключей: размыкается ключ S_1 и замыкается S_2 . Интегрируется опорное напряжение. Поскольку оно отрицательно, выходное напряжение вновь нарастает. В конце второй фазы интегрирования U_1 достигает нуля. Тогда компаратор сбрасывается на нуль и останавливает счетчик.

Его показание равно количеству тактовых импульсов за время t_2 и, следовательно, пропорционально входному напряжению.



Тактовая частота $1/T$ и постоянная интегрирования $\tau = RC$ не входят в окончательное уравнение. Требуется лишь соблюдать постоянство тактовой частоты за время $t_1 + t_2$. Кратковременное постоянство частоты обеспечивается простым тактовым генератором, что позволяет данному методу легко обеспечивать

точность 0,01%.