

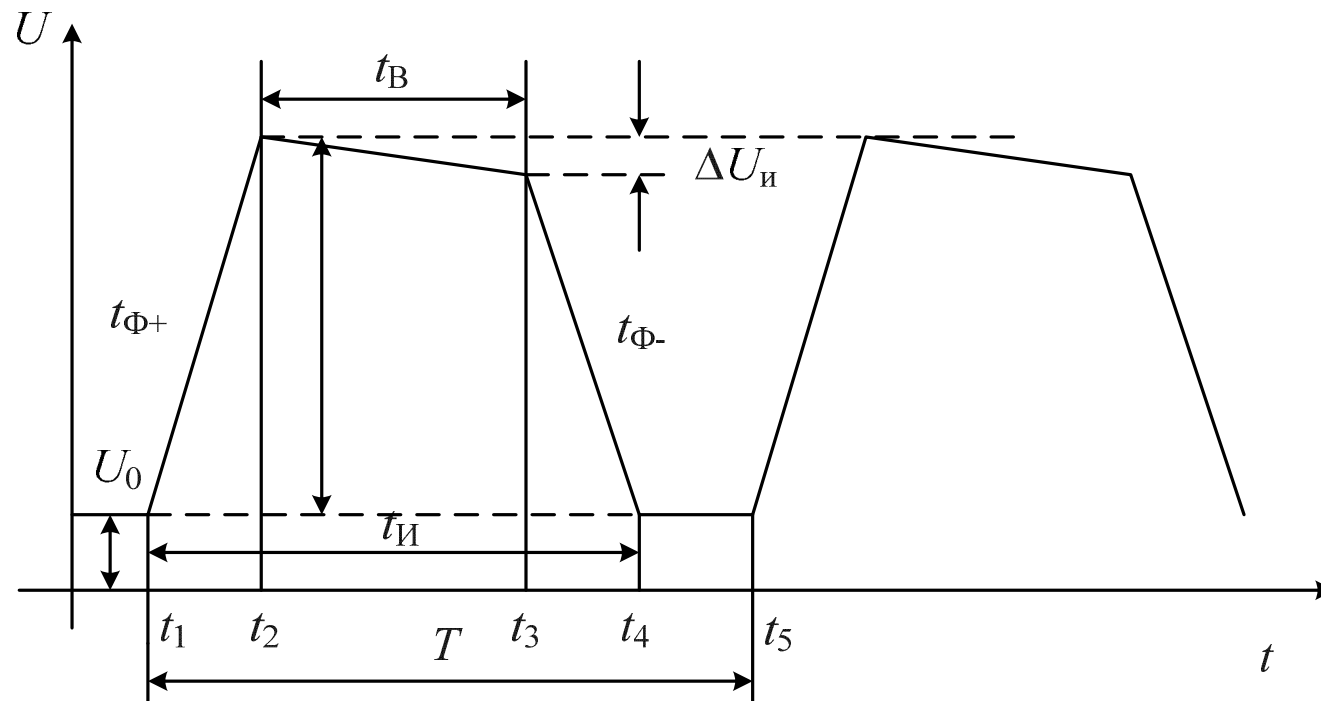
## Занятие 10

### Цифровые микросхемы

Цифровые интегральные микросхемы (ИМС) предназначены для преобразования и обработки дискретных импульсных сигналов и выполнения логических функций.

В цифровых ИМС используют сигналы, близкие к прямоугольным.

### Основные параметры импульсных сигналов



## 1. Амплитудные параметры

$U_0$  - начальное значение сигнала (низкий уровень);

$U_u$  - амплитуда импульса;

$\Delta U_u$  - спад вершины.

## 2. Временные параметры

$t_u = t_4 - t_1$  - длительность импульса;

$t_v = t_3 - t_2$  - длительность вершины импульса;

$t_\phi^+ = t_2 - t_1$  - длительность переднего фронта;

$t_\phi^- = t_4 - t_3$  - длительность заднего фронта;

$T = t_5 - t_1$  - период следования импульсов;

$\frac{1}{T} = f$  - частота следования импульсов;

$Q = \frac{T}{t_u}$  - скважность импульсов;

$$\eta = \frac{1}{Q} = \frac{t_u}{T} \text{ -коэффициент заполнения импульсов.}$$

## Ключевые схемы

### Диодные ключи

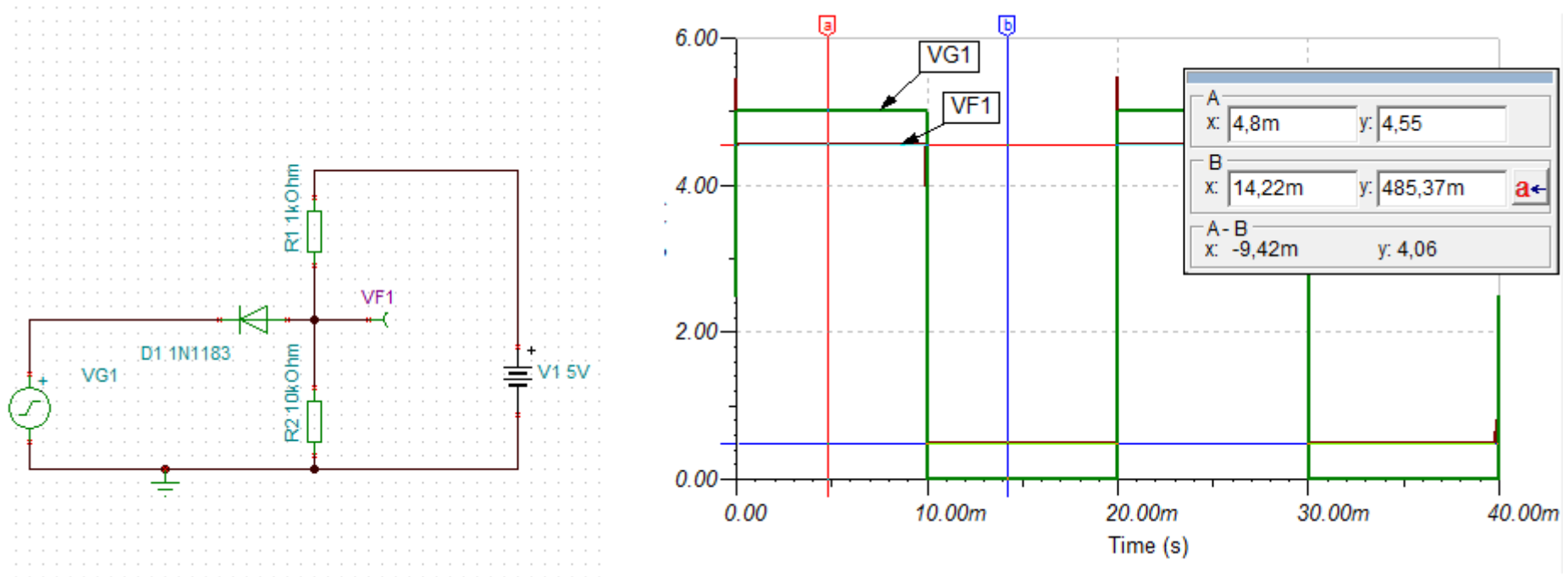


Рис.10.1

Если  $U_{вх} = 0, U_{вых} = U_{пр} = 0,5 - 0,7 \text{ В.}$

Если  $U_{\text{вх}} = +E$ , диод закрыт,  $U_{\text{вых}} = \frac{ER_2}{R_1 + R_2} \approx 0,9E$ ,  
 $(R_2 \gg R_1)$ .

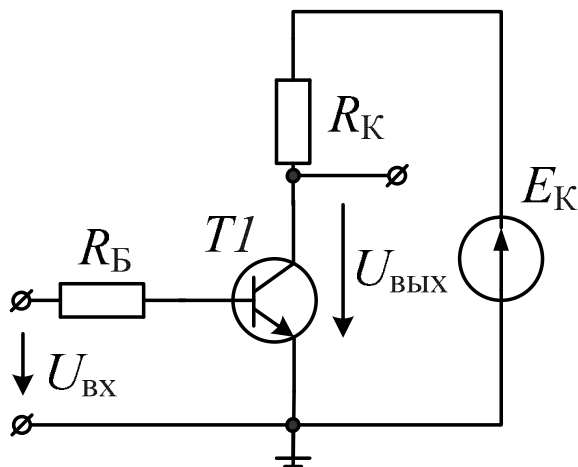
Время переключения 10 пс – 1нс. Используют в быстродействующих устройствах. Недостаток: большая мощность переключения.

### Ключи на биполярных транзисторах

Дано:  $E_K = 5\text{ В}$ ,  $R_B = 10\text{ кОм}$ ,  $R_K = 100\text{ Ом}$

Низкий уровень  $U_{\text{вх}0} = 0,8\text{ В}$ .

Высокий уровень  $U_{\text{вх}1} = 4\text{ В}$ ,



## Расчет входной цепи

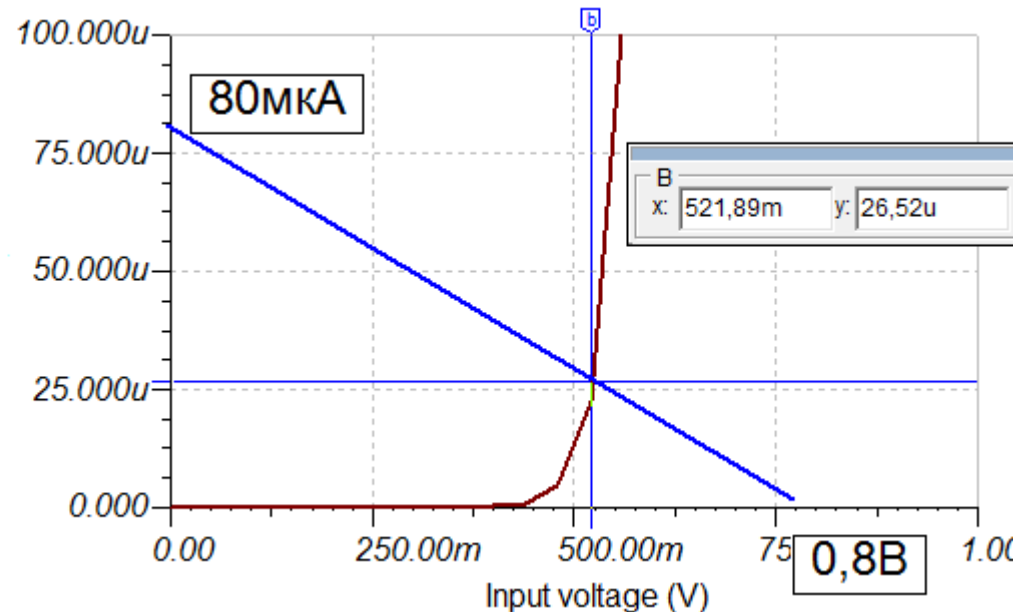
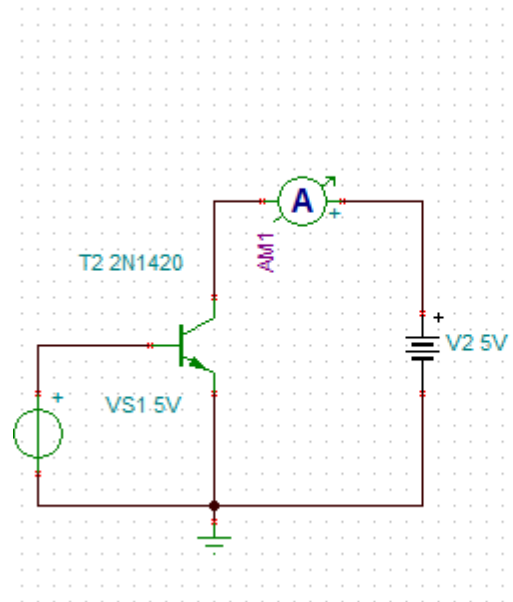
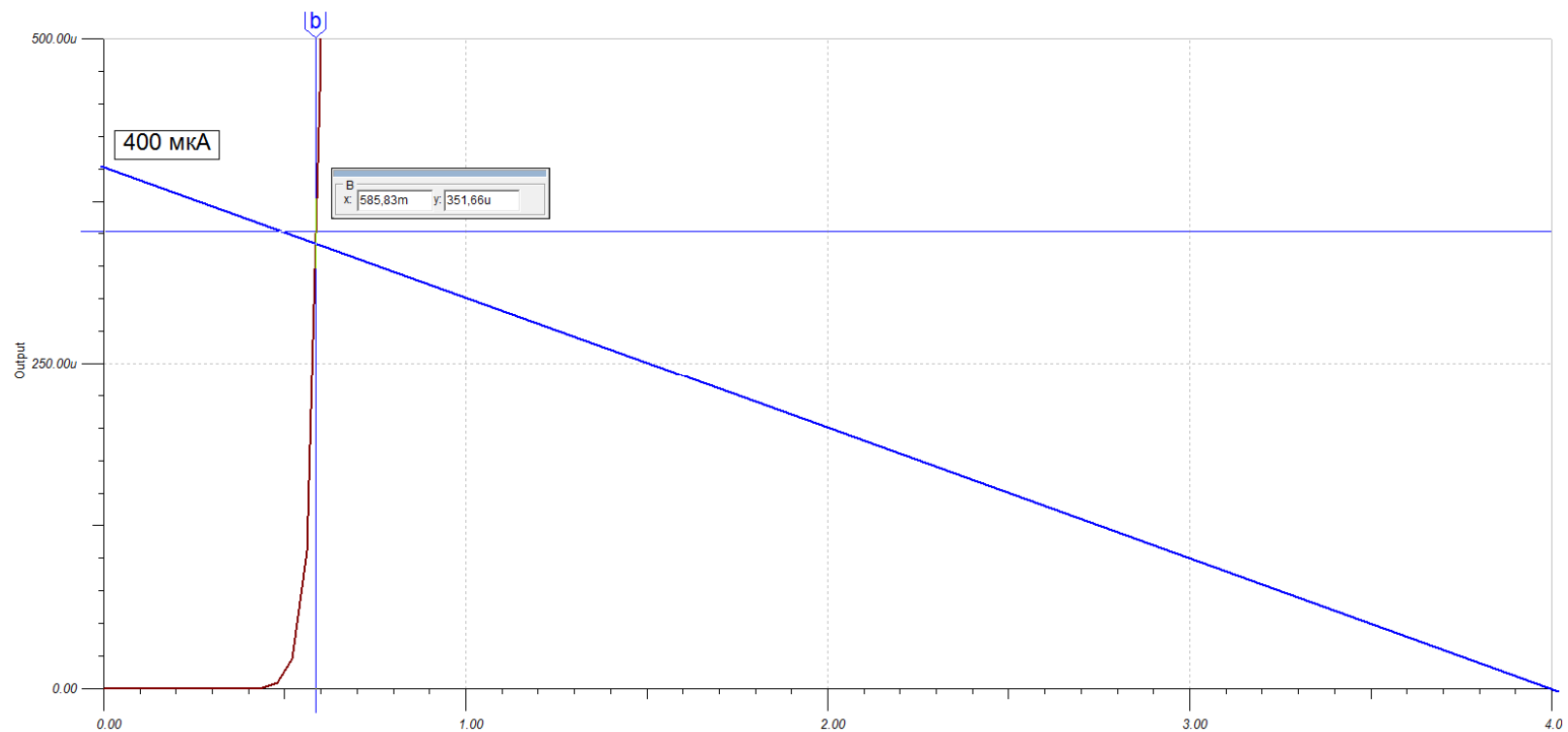


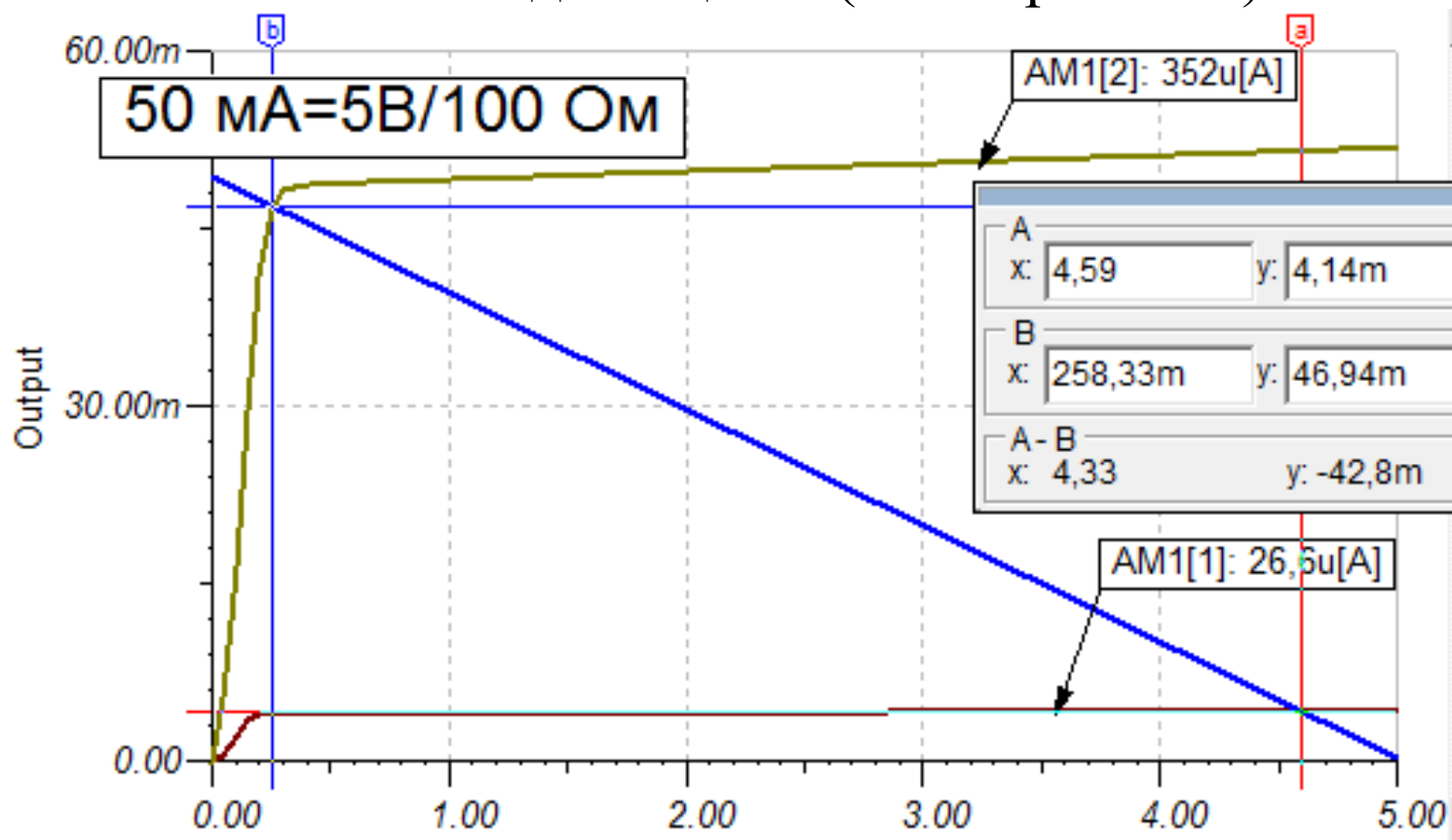
Рис.10.2

Низкий уровень  $i_{B0} = 26,6 \mu A$ .



Высокий уровень:  $i_{B1} = 352 \text{ мкА}$ .

## Расчет выходной цепи (схема рис.10.4)



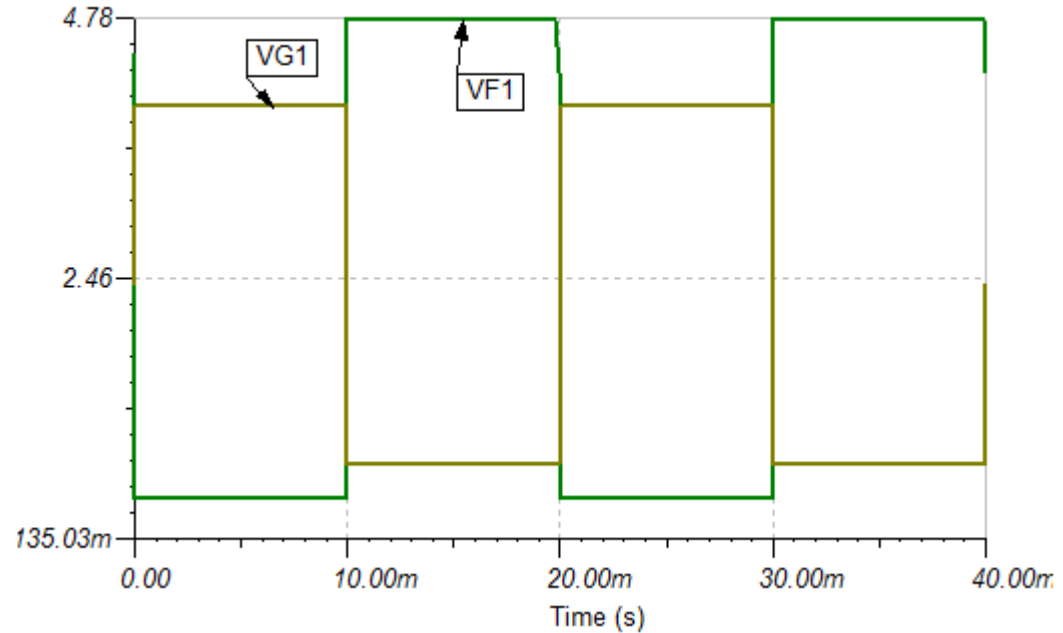
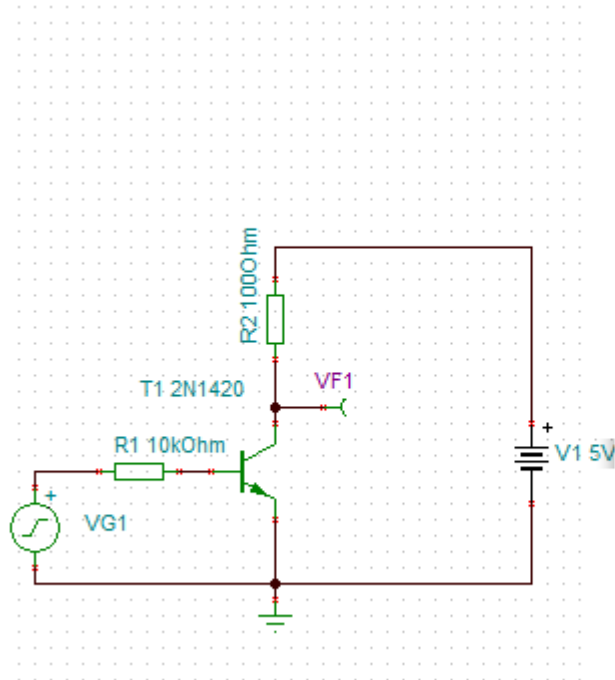


Рис.10.4

Транзисторный ключ инвертирует входной сигнал.

Недостатки:

Мощность, потребляемая от источников.

Низкий уровень:

$$P_{ex}^0 = U_{ex0} \cdot i_{B0} = 0,8 \cdot 26,6 \cdot 10^{-6} = 20,8 \text{ мкВт}$$

$$P_{Ek}^0 = E_k i_{kmin} = 5 \cdot 4,14 \cdot 10^{-3} = 20,7 \text{ мВт}$$



Высокий уровень:

$$P_{ex}^1 = U_{ex1} \cdot i_{B1} = 4 \cdot 352 \cdot 10^{-6} = 1,4 \text{ мВт};$$

$$P_{Ek}^1 = E_k i_{kmax} = 5 \cdot 46,9 \cdot 10^{-3} = 243 \text{ мВт}.$$

Ключи на полевых транзисторах

Применяют комплементарные полевые транзисторы с изолированным затвором и индуцированным каналом.

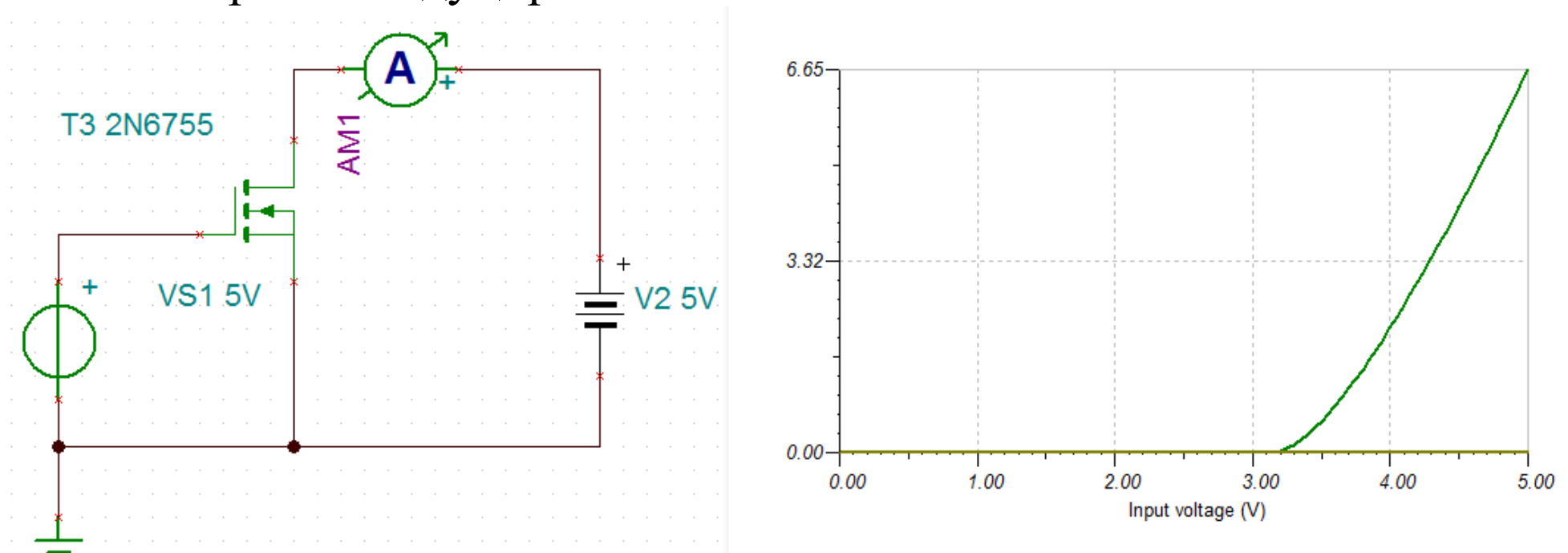
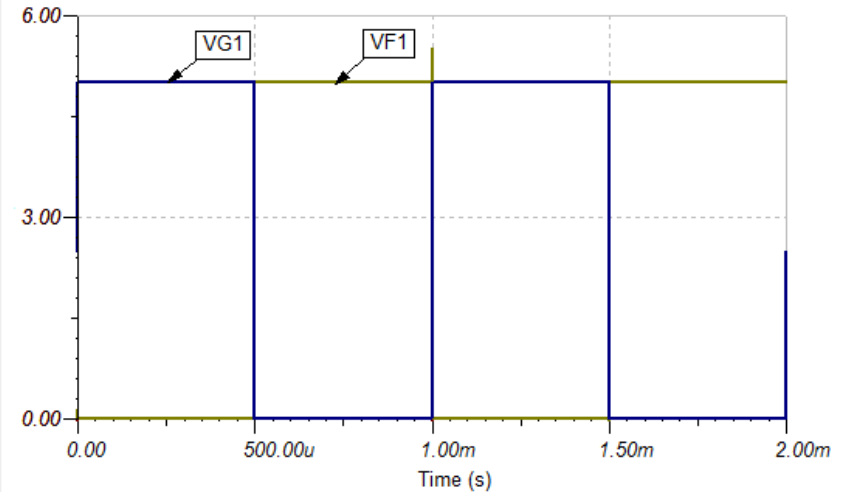
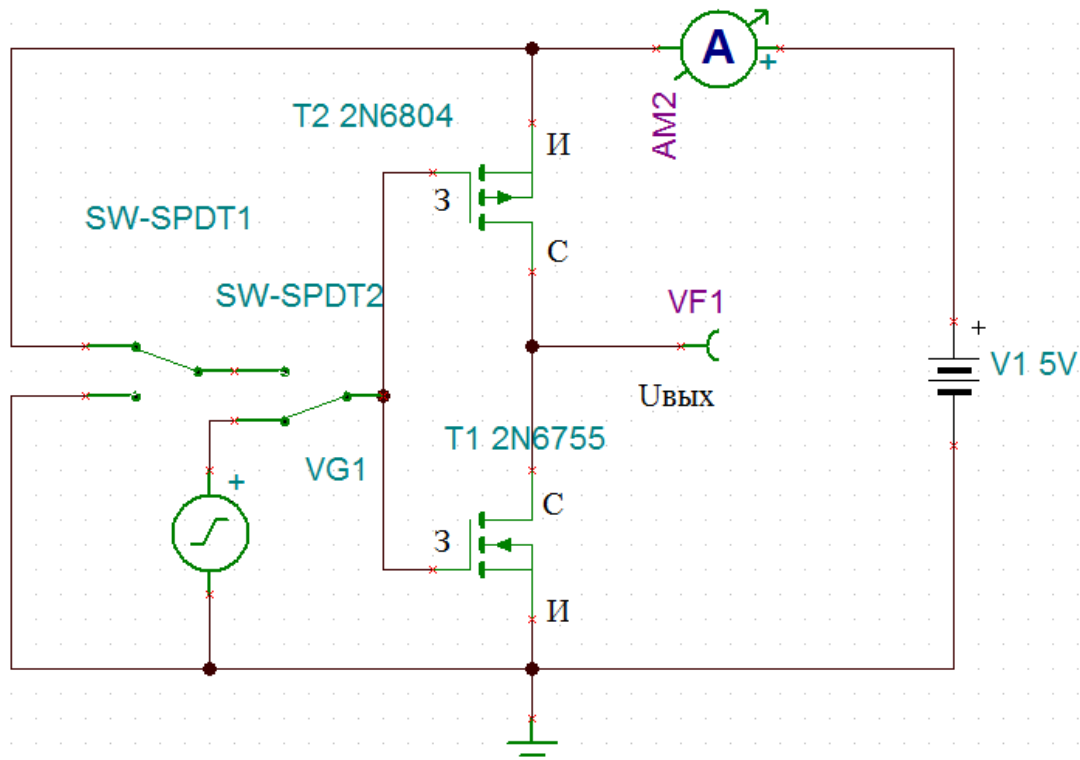


Рис.10.5



Если  $U_{вх0} = 0 < U_{порT1}$ , Т1 выключен.

$U_{зат2} = U_{вх0} - E = -E$ , Т2 включен,  $U_{вых} \approx E$ .

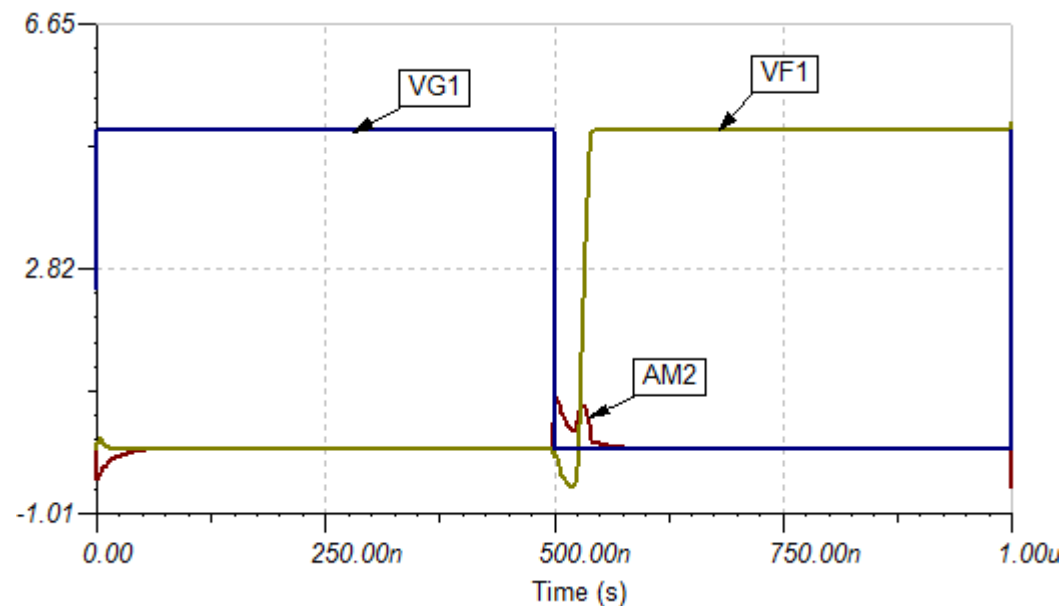
Если  $U_{вх1} = E > U_{порT1}$ , Т1 включен.

$U_{зат2} = U_{вх1} - E = E - E = 0$ . Т2 выключен.  $U_{вых} \approx 0$ .

Получили инвертер на КМОП.

## Достоинства ключей на МОП транзисторах

1. Технологичность — изготавливаются в одном цикле с другими МОП элементами.
2. Высокая плотность упаковки.
3. Нет резисторов.
4. Низкое потребление мощности (только при переключении), очень малый ток.



## Структура базового элемента И-НЕ

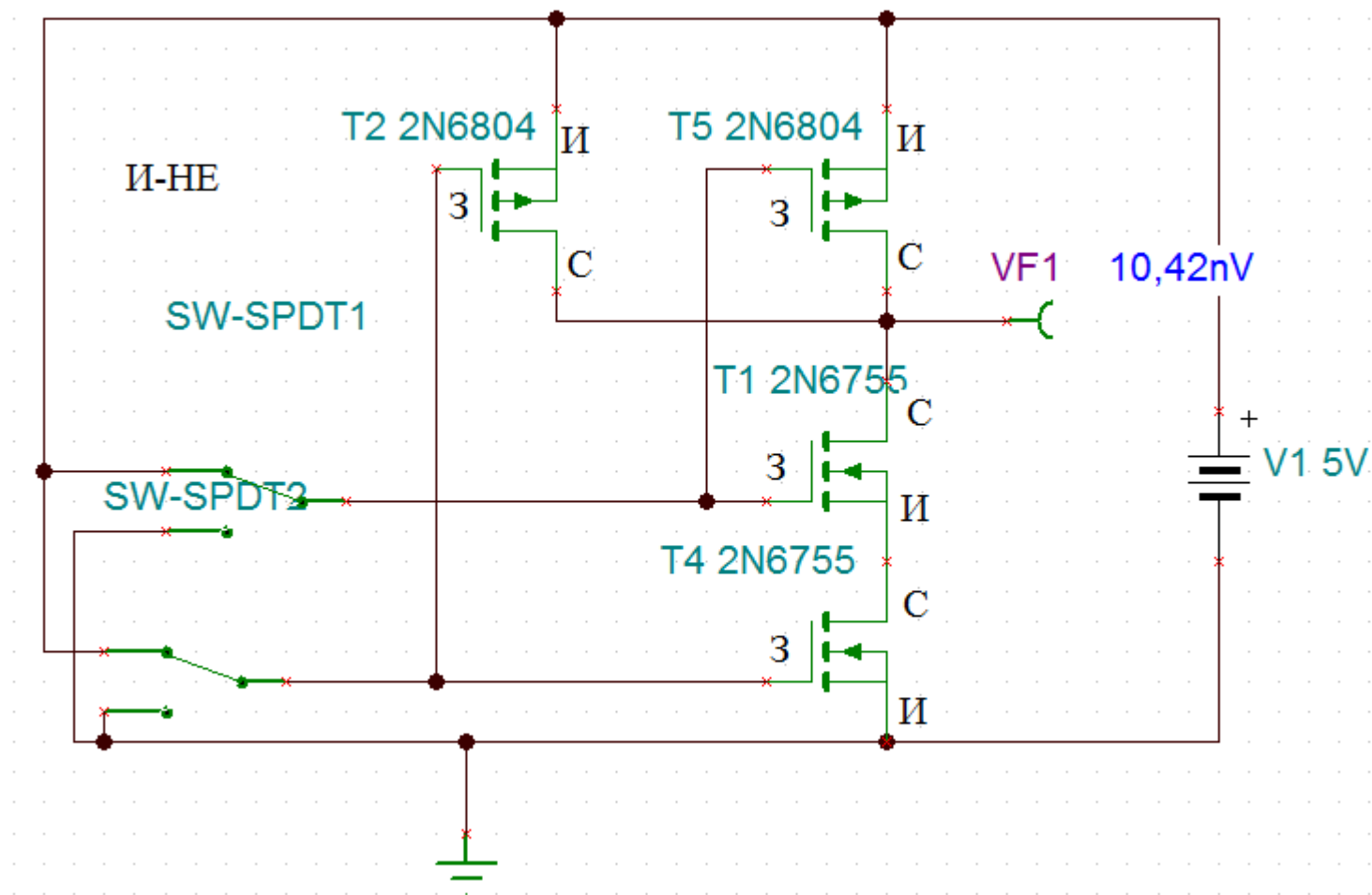


Рис.10.6

## Структура базового элемента ИЛИ-НЕ

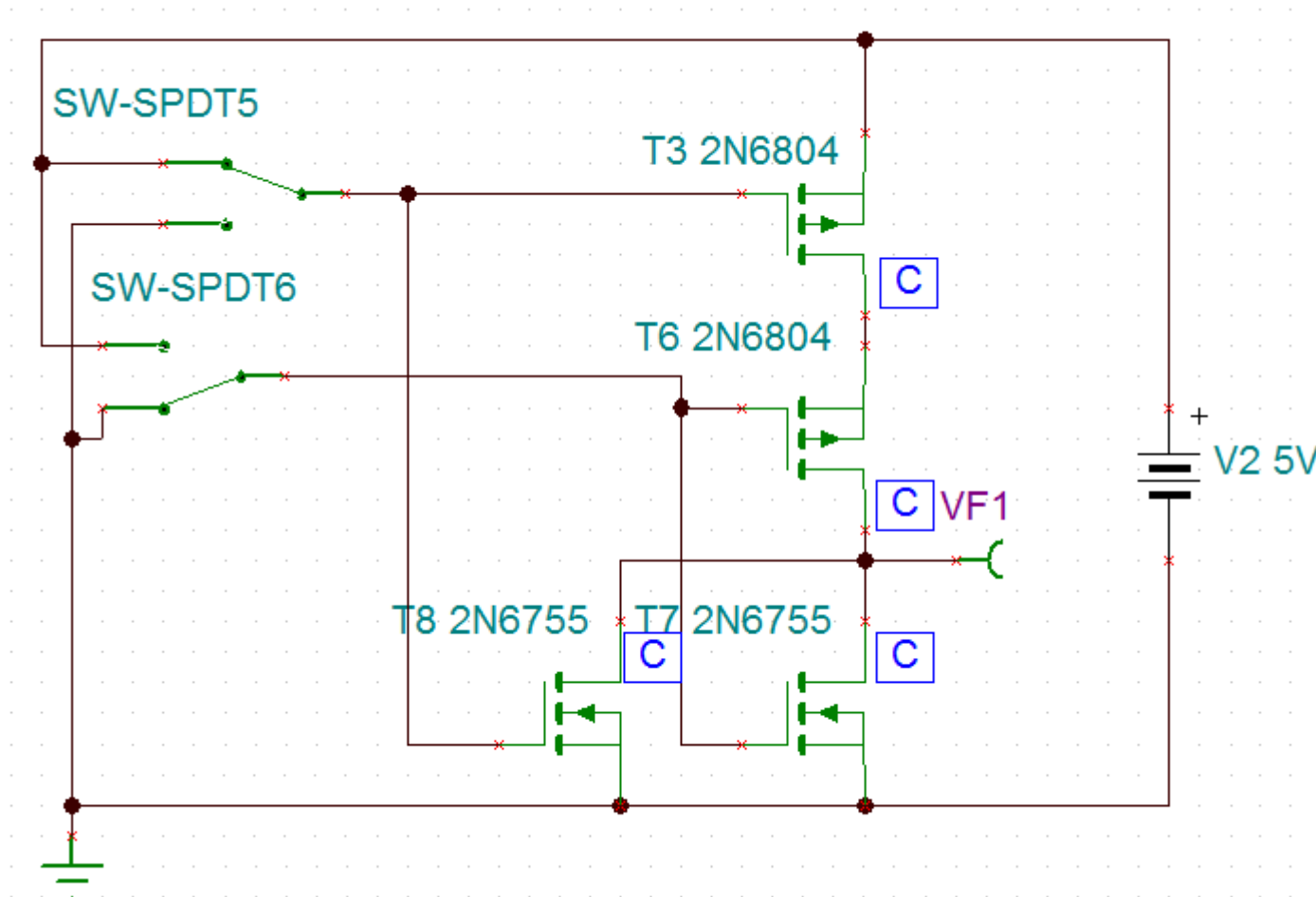


Рис.10.7

## Функционально полные системы

Это набор логических элементов, с помощью которых можно построить любые комбинационные схемы с разными логическими функциями.

1. И, ИЛИ, НЕ
2. И-НЕ
3. ИЛИ-НЕ

## Типы серийных логических элементов

Цифровые интегральные схемы бывают:

1. ИС малой степени интеграции с числом транзисторов  $< 100$ .
2. ИС средней степени интеграции  $n \sim 10^3$ .
3. БИС – большие интегральные схемы  $n \sim 10^4 \div 10^5$ .
4. СБИС – сверхбольшие интегральные схемы  $n > 10^6$ .

Наиболее популярные ИС малой степени интеграции

ТТЛ – транзисторно-транзисторная логика. Входная логика на многоэмиттерных транзисторах, ключи с динамической нагрузкой.  $E=5V$ .

ТТЛШ – транзисторно-транзисторная логика с диодами Шоттки. Большое быстродействие.

n-МОП логика. Все элементы по МОП транзисторах. Не высокое быстродействие, малое потребление.

КМОП – логика на комплементарных МОП транзисторах. Рабочее напряжение от 3 до 15 В. Сверхнизкое потребление мощности. Высокое быстродействие.

## Примеры комбинационных схем И-И-НЕ

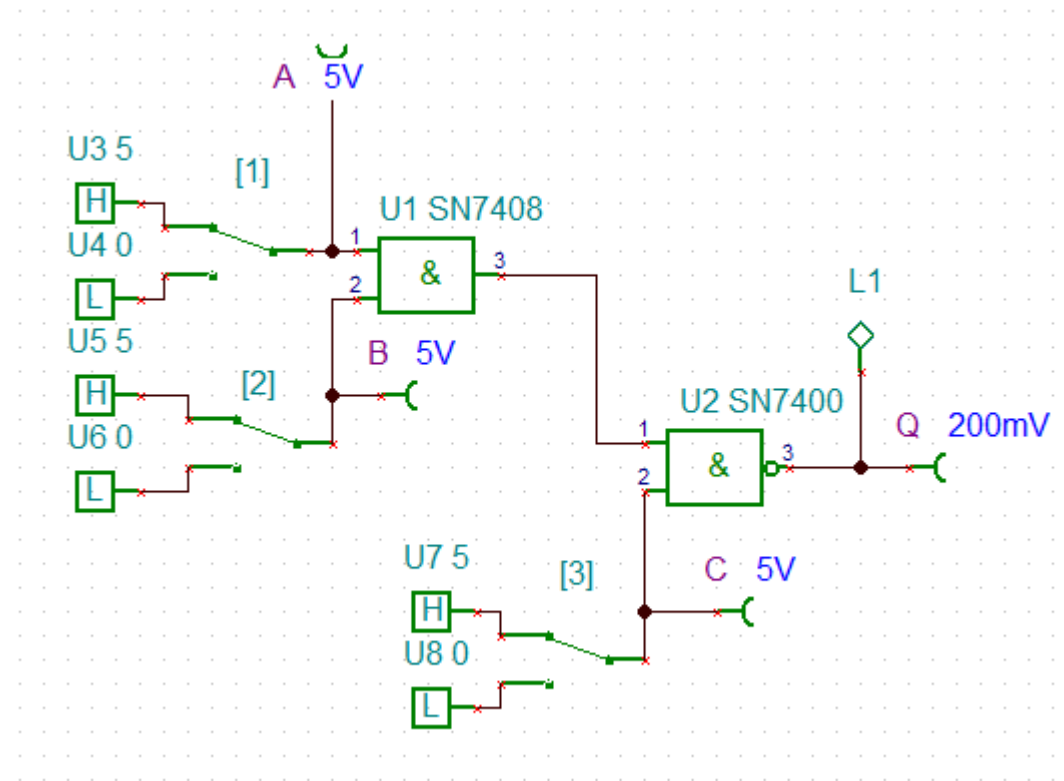
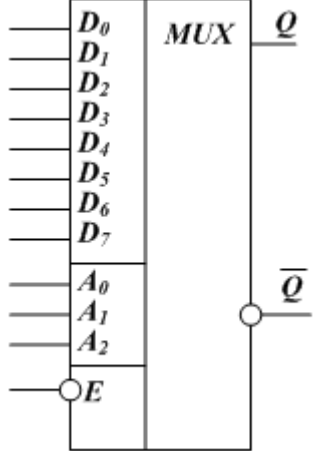
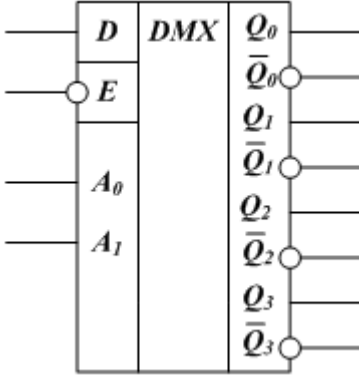
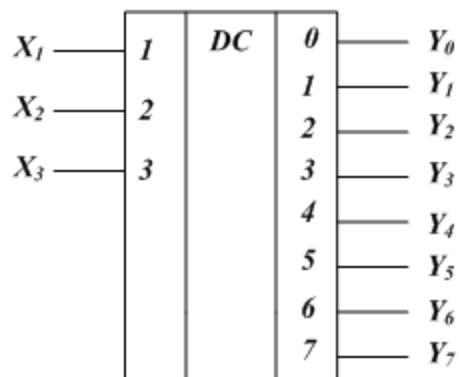


Рис.10.8



	
<p>Условное графическое изображение мультиплексора (8→1)</p>	<p>Условное графическое изображение демультиплексора (1→4)</p>

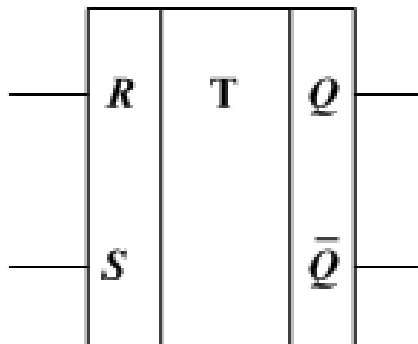


Условное графическое изображение дешифратора 3 x 8

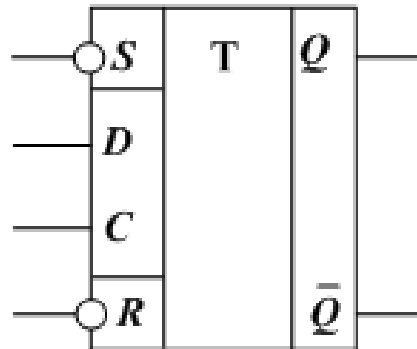
## Триггеры

### Асинхронный RS-триггер

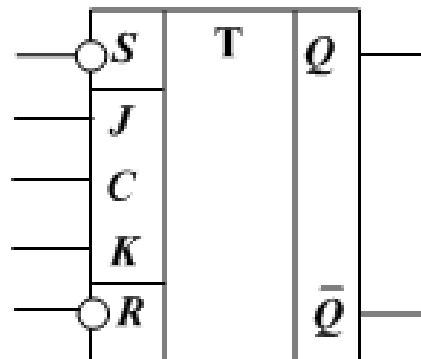
Переключение происходит сразу при изменении информационных сигналов.



В синхронных D-триггерах имеется синхронизирующий вход **C** и переключение происходит при поступлении на этот вход синхронизирующего импульса. Информация со входа **D** заносится в триггер по положительному перепаду на счетном входе **C** триггера.



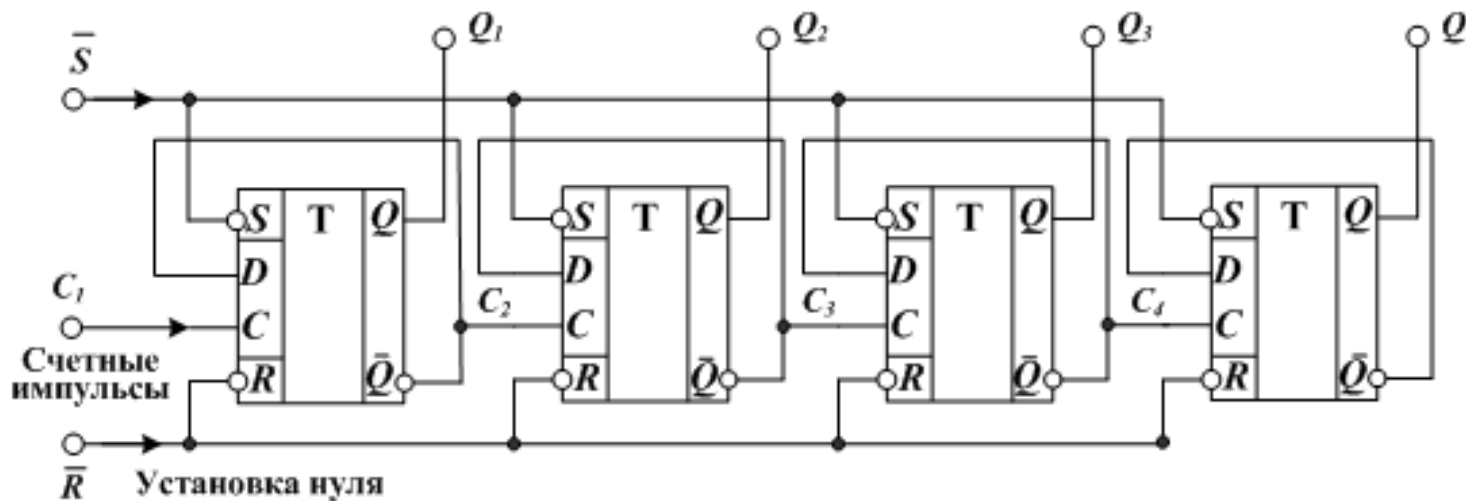
**JK**- триггер имеет: входы **J** и **K** установки триггера в состояния  $Q=1$  и  $Q=0$  соответственно; синхронизирующий вход **C**; отдельный вход **S** асинхронной установки триггера ( $Q=1$ ); отдельный вход **R** асинхронного сброса триггера ( $Q=0$ ).



***На триггерах строят счетчики и регистры.***

## Счетчики импульсов

Счетчики предназначены для подсчета числа импульсов. С поступлением каждого импульса на вход  $C$  счетчик меняет свое состояние на единицу. Счетчики бывают суммирующие, вычитающие, реверсивные.



Асинхронный счетчик на  $D$ - триггерах

В начале счета все триггеры устанавливаются в нуль и с входов  $\bar{R}$  и  $\bar{S}$  снимаются активные уровни.

На счетный вход  $C_1$  первого триггера поступают счетные импульсы. Каждый импульс изменяет состояние триггеров так, что на выхо-

дах Q1 – Q4 формируется двоичный код, соответствующий числу счетных импульсов.

Модуль счета  $K_{сч} = 2^4 = 16$ .

### Модель асинхронного счетчика

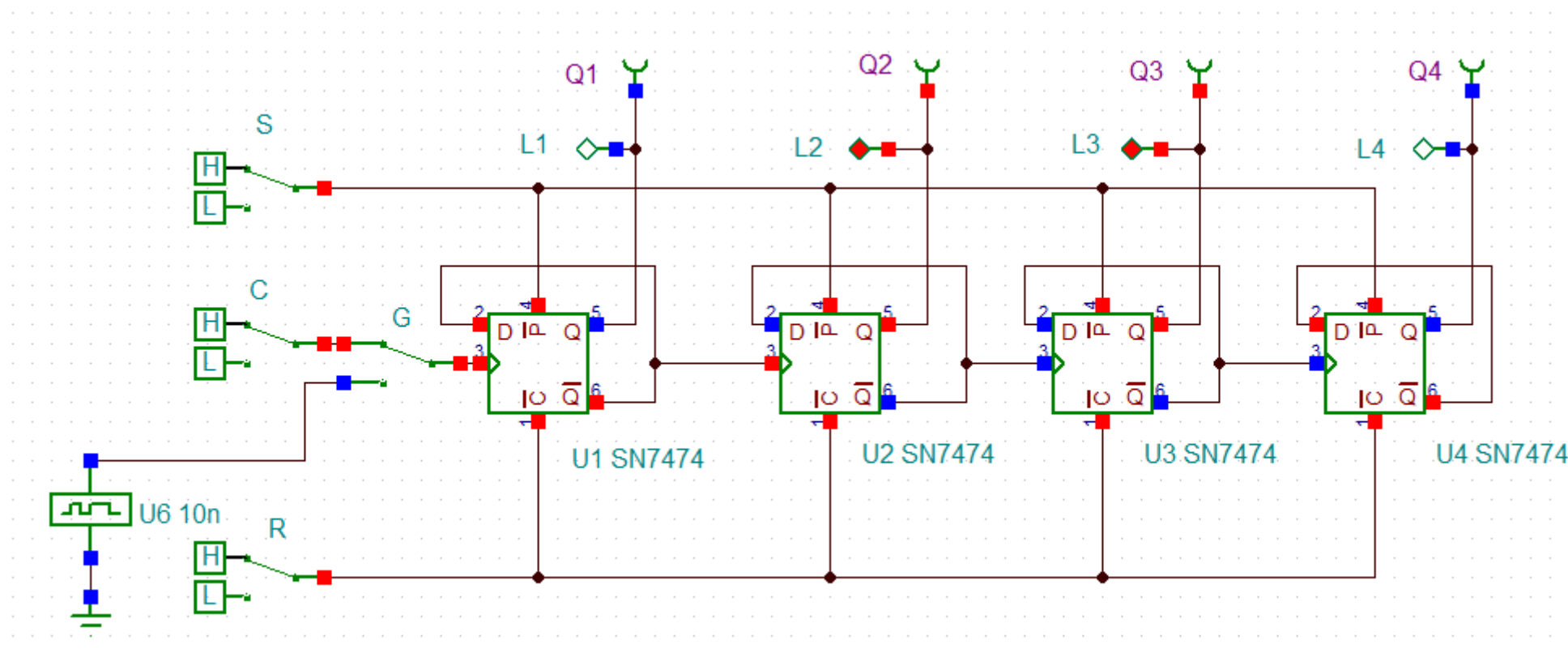
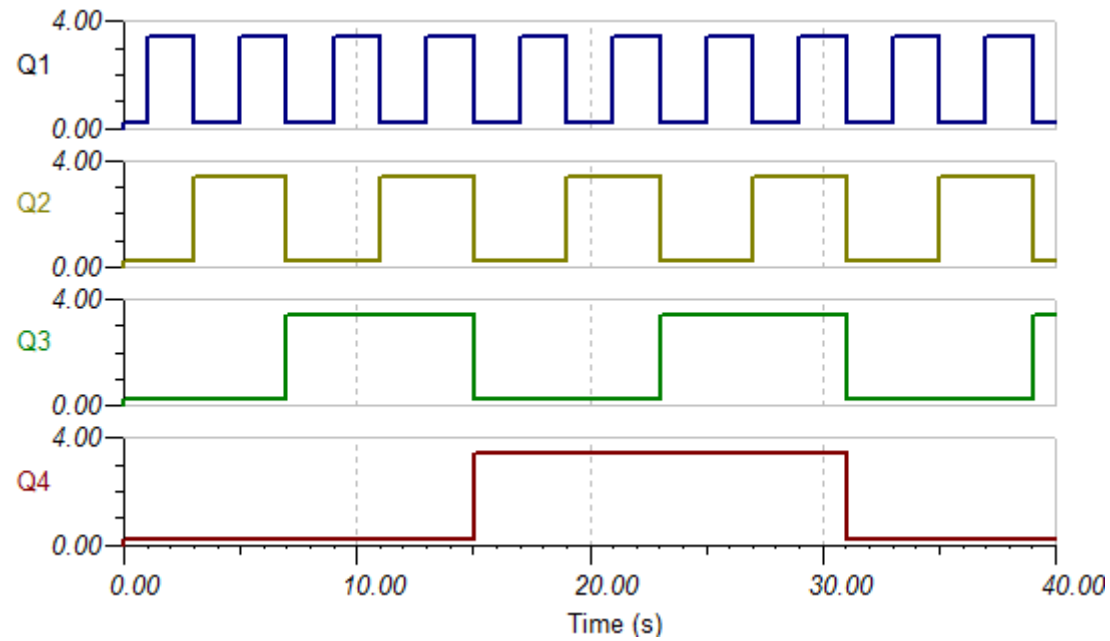


Рис.10.9



## Временные диаграммы двоичного счетчика

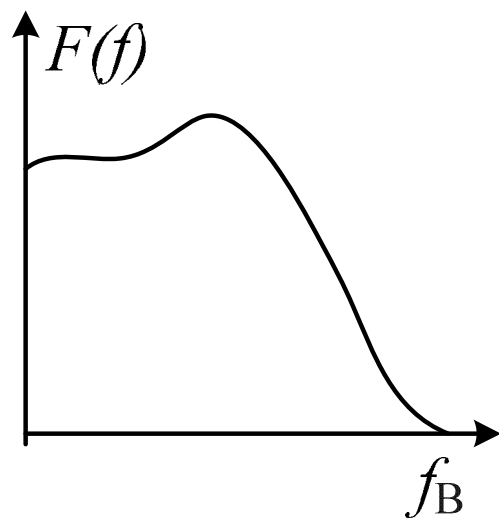
## Аналого-цифровые преобразователи

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

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

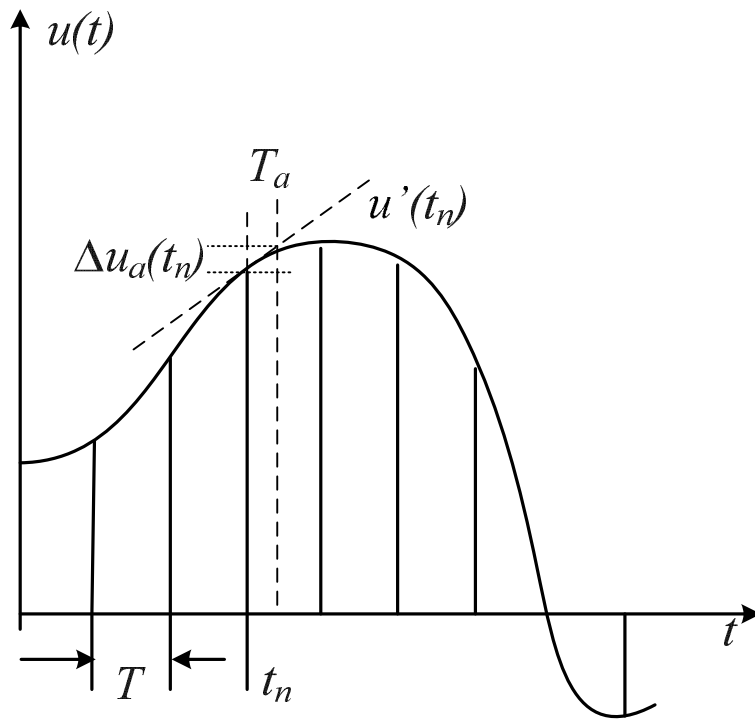


### Энергетический спектр

Импульсный сигнал можно восстановить в непрерывный.

# Этапы аналого-цифрового преобразования

## 1. Дискретизация по времени



$T_a$  - апертурное время преобразования;

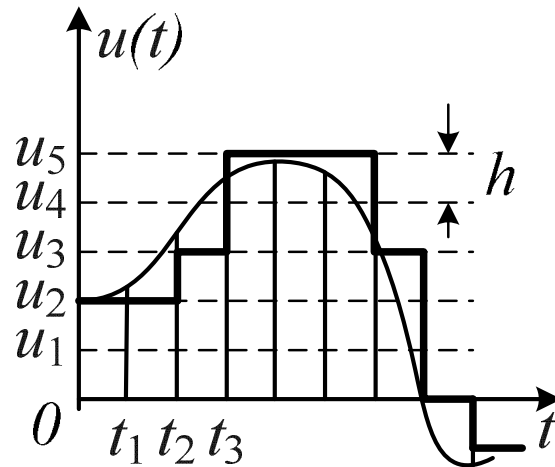
$u'(t_n)$  - скорость изменения сигнала;

$\Delta u_a(t_n)$  - 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:

$$U_{\text{опорн}} = 7h.$$

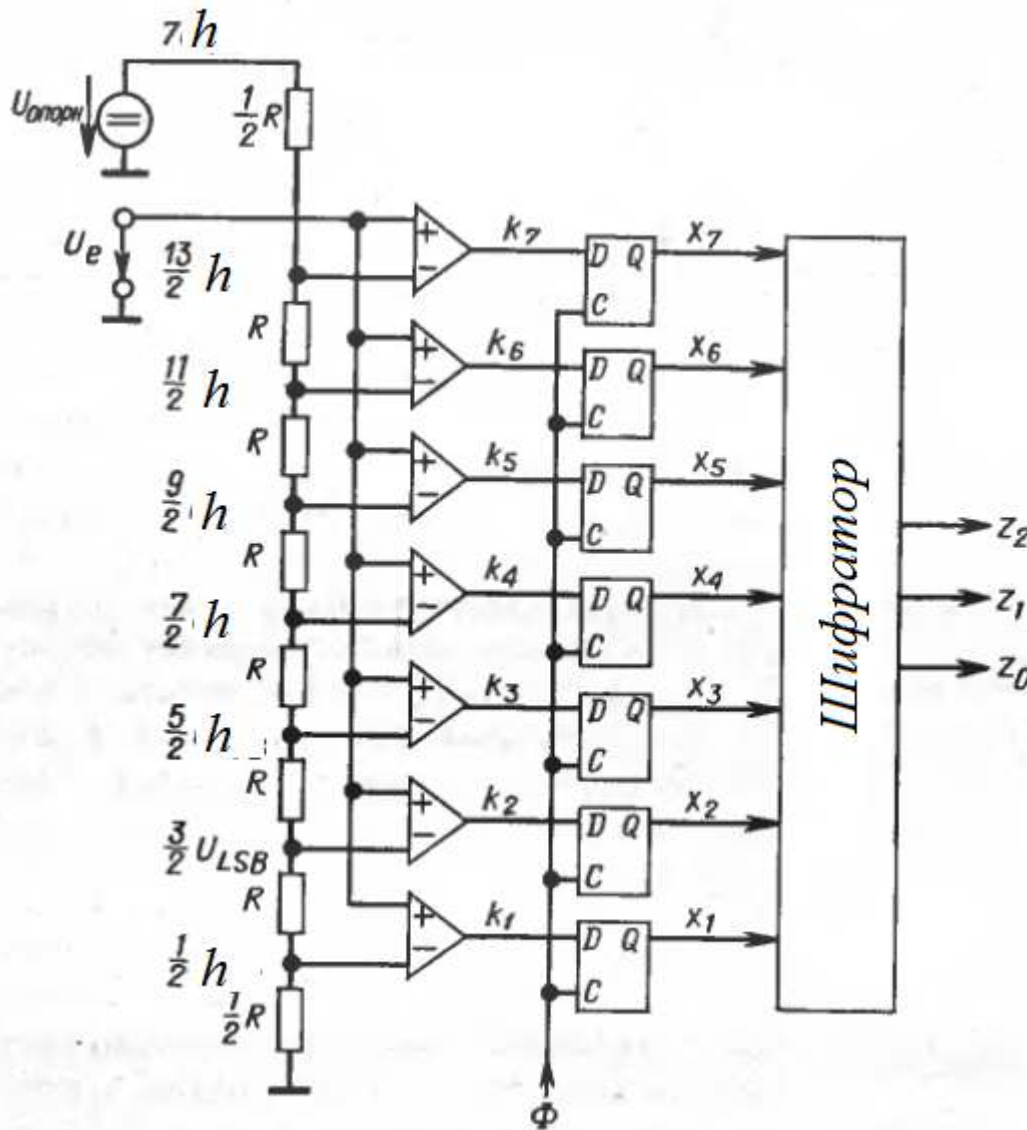
Компараторы на ОУ сравнивают входное напряжение  $U_e$  с напряжениями на резисторах делителя и устанавливают «1», если

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

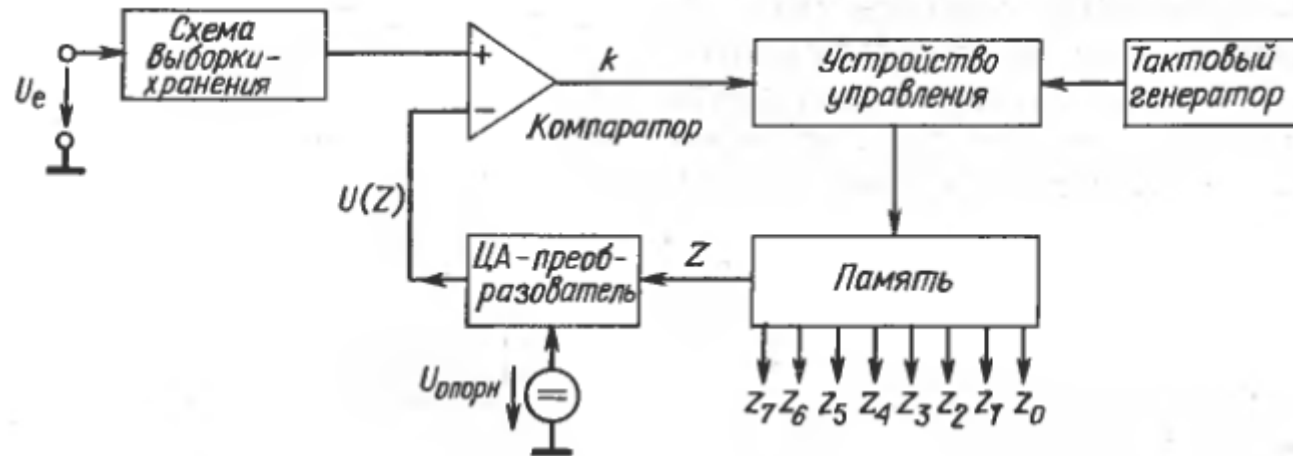
Тактовый импульс записывает состояния компараторов в триггеры.

Шифратор преобразует данные в трехразрядный код.

Имеем 8 уровней квантования.



## АЦП, работающий по весовому методу



Этапы работы восьмиразрядного АЦП:

1. Память обнуляется.

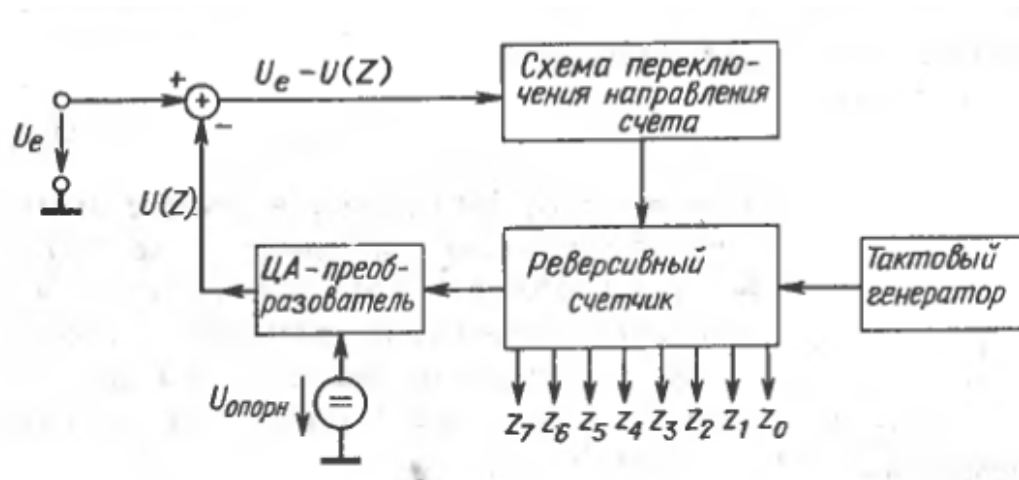
2. Запись  $Z_7 = 1$ . На выходе ЦАП  $U_Z = 2^7 h = \frac{U_{max}}{2}$ .

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  $Z = \frac{U_e}{h}$ .

## Компенсационный числовой 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.

# Цифро-аналоговые преобразователи

## Суммирование весовых токов

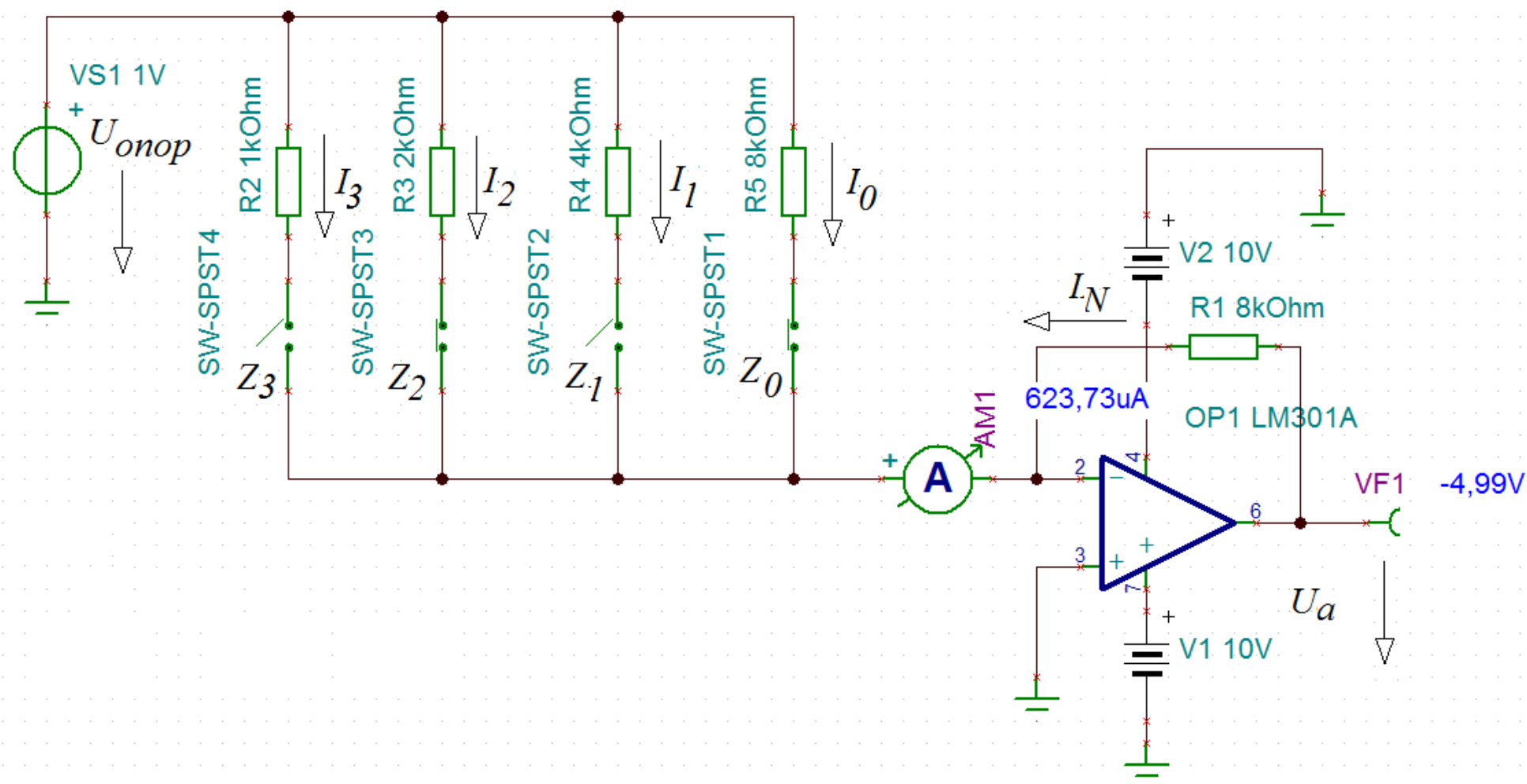


Рис.10.10

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

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

Значения  $Z_0 \div Z_3 = 0;1$ .

Недостатки схемы: меняется нагрузка опорного источника.

Применяют перекидные ключи.

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

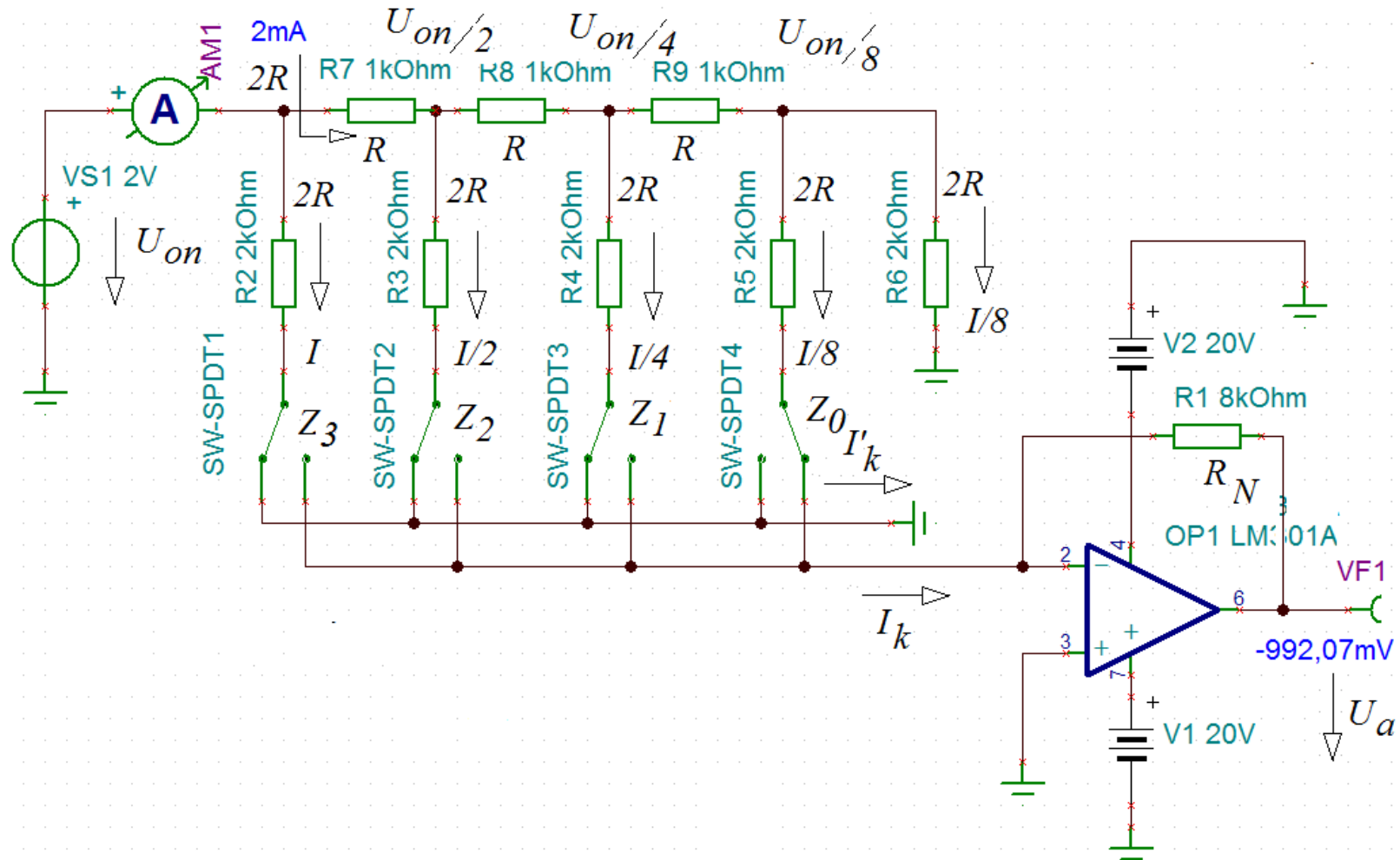


Рис.10.11

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

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

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

Резистивная матрица с МОП ключами

