

## Лабораторная работа №4

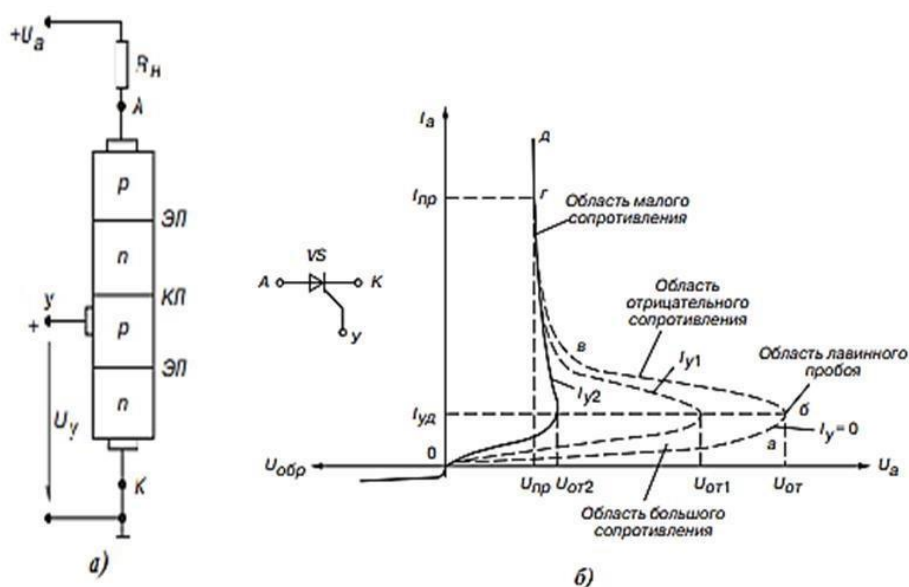
### Исследование параметров и характеристик тиристоров

**Цель работы:** исследовать вольтамперные характеристики тиристора; определение их параметров по характеристикам.

**Программное обеспечение:** Пакет "Electronics Workbench Multisim v14.0".

#### 1. Краткие теоретические сведения

Тиристор – это полупроводниковый прибор, обладающий двумя устойчивыми состояниями: открытым и закрытым. В открытом состоянии тиристор хорошо проводит электрический ток, а в закрытом – имеет большое сопротивление. Основное назначение тиристоров – бесконтактная коммутация электрических цепей. Тиристор имеет три вывода: анод А, катод К и управляющий электрод У (рисунок 1 а).



а) внутреннее строение; б) ВАХ

Рисунок 1 –Тиристор

При отсутствии напряжения  $U_y$  на управляющем электроде и при приложении напряжения  $U_a$  к аноду оба эмиттерных перехода ЭП открыты, а коллекторный переход КП закрыт, и почти все анодное напряжение  $U_a$  приложено к переходу КП. При увеличении напряжения  $U_a$  до значения напряжения отпирания  $U_{от}$  ток анода мал, а сопротивление прибора велико. При напряжении анода  $U_a = U_{от}$  происходит лавинообразный пробой КП перехода, сопротивление тиристора уменьшается, и ток анода практически ограничивается сопротивлением резистора  $R_n$ , то есть  $I_a \approx U_a/R_n$ . Как видно из рисунка 1 б, тиристор имеет два устойчивых состояния: участки оа и гд, наличие которых позволяет использовать прибор в качестве мощного переключающего элемента в различных схемах автоматики. Наличие же участка бв с отрицательным дифференциальным сопротивлением позволяет использовать прибор в различных схемах генераторов и модуляторов (рисунок 1 а, б).

Чтобы выключить тиристор, нужно уменьшить анодное напряжение  $U_a$  до

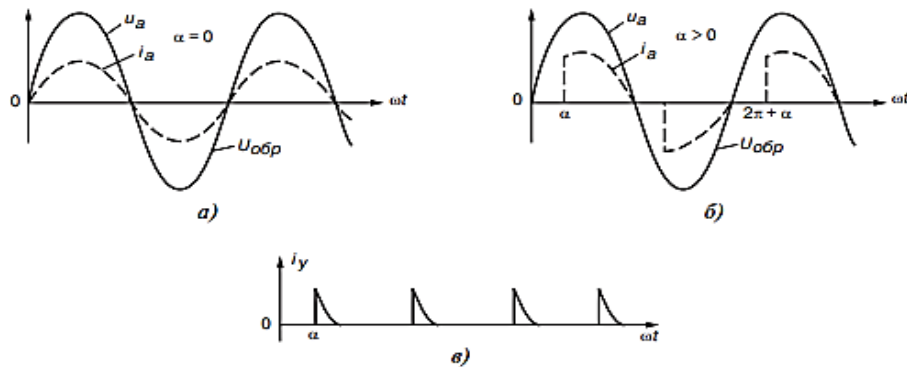
значения, при котором ток анода станет меньше тока удержания, то есть  $I_a < I_{уд}$ . На практике уменьшают напряжение  $U_a$  до нуля или прикладывают к аноду напряжение отрицательной полярности.

Недостатком неуправляемого тиристора, называемого динистором, является большая зависимость напряжения включения  $U_{от}$  и тока удержания  $I_{уд}$  от температуры.

При подаче напряжения  $+U_y$  на управляющий электрод У, присоединенный к среднему р-слою кристалла тиристора (рисунок 1 а), происходит смещение коллекторного перехода КП, появляется ток  $I_y$ , причем с его увеличением уменьшается напряжение отпирания  $U_{от}$  тиристора (см. рисунок 1 б). При  $I_y \geq I_{y2}$  вольтамперная характеристика тиристора спрямляется.

После открытия тиристора ток  $I_y$  управляющего электрода перестает оказывать какое-либо влияние на работу тиристора. При подаче на анод синусоидального напряжения тиристор закрывается во время отрицательной полуволны напряжения. На рисунке 2 показаны временные диаграммы напряжения  $u_a$  и тока  $i_a$  анода, а также импульсы управляющего тока  $i_y$ .

Управляющая характеристика по току  $I_a(\alpha)$  тиристора от угла отпирания  $\alpha$  изображена на рисунке 3.



а) при  $\alpha = 0$ ; б) при  $\alpha > 0$ ; в) остrokонечные импульсы

Рисунок 2 – Временные диаграммы

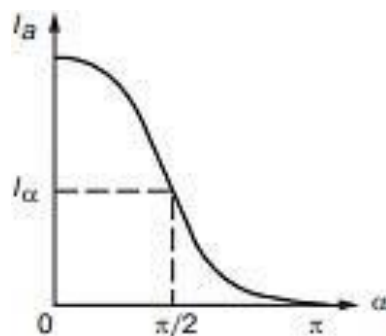


Рисунок 3 – Управляющая характеристика по току

Тиристоры изготавливают на различные коммутируемые токи  $I_a$  (вплоть до тысяч ампер) и напряжения  $U_a$  при управляющих токах в десятки и сотни миллиампер. Время переключения тока (порядка 50–100 мА) маломощных тиристорov составляет доли микросекунд, а время восстановления сопротивления

тиристора при токе  $I_a = 10$  А составляет 200–250 мкс. Коэффициент усиления по мощности тиристора  $K_p = U_a I_a / U_y I_y \approx 250\,000$ . Основные параметры тиристорov:

- напряжение на открытом тиристоре  $U_{от} = 1–1,5$  В;
- максимальный допустимый ток анода  $I_{a,max}$ ;
- управляющие напряжение  $U_y$  и ток  $I_y$ ;
- время включения и выключения  $t_{вкл}$  и  $t_{вык}$ ;
- допустимое обратное напряжение тиристора  $U_{обр,max}$ . Например, тиристор типа КУ201А имеет следующие параметры:  $I_{a,max} = 2$  А,  $t_{вкл} = 10$  мкс,  $I_{y,max} = 2–100$  мА.

## 1. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему.
2. Рассчитать параметры.
3. Построить ВАХ.
4. Оформить отчет.

Собрать схему испытания тиристора VS типа 2N2573 (рисунок 4), содержащую, кроме источников постоянного E1 и синусоидального E2 напряжения, генератор E3 прямоугольных импульсов с регулируемым временем задержки (Delay Time) импульсов  $t_z$ , длительностью импульсов (Pulse Width) (задана длительность  $t_{и} = 1$  мс) и периодом (Period) T (задан период  $T = 10$  мс); датчик тока INUT (источник напряжения, управляемый ток: при коэффициенте передачи INUT  $k = 1$  Ом значение выходного напряжения в вольтах равно значению тока в амперах; например, значение напряжения 19,465 В (Chanel\_B, рисунок 6.4 справа) равно значению протекающего через тиристор тока 19,465 А, а напряжение на открытом тиристоре (Chanel\_A)  $U_a = 1,071$  В); два реле времени Rele1 и Rele2 (два переключателя с программируемым временем переключения для задания задержки (0 sec) и продолжительности (0,05 sec) вывода результатов моделирования (осциллограмм) на экран осциллографа XSC1); резистор  $R_1$  с сопротивлением 2 Ом, ограничивающим ток открытого тиристора, и потенциометр  $R_2$  для задания тока отпирания тиристора (рисунок 4).

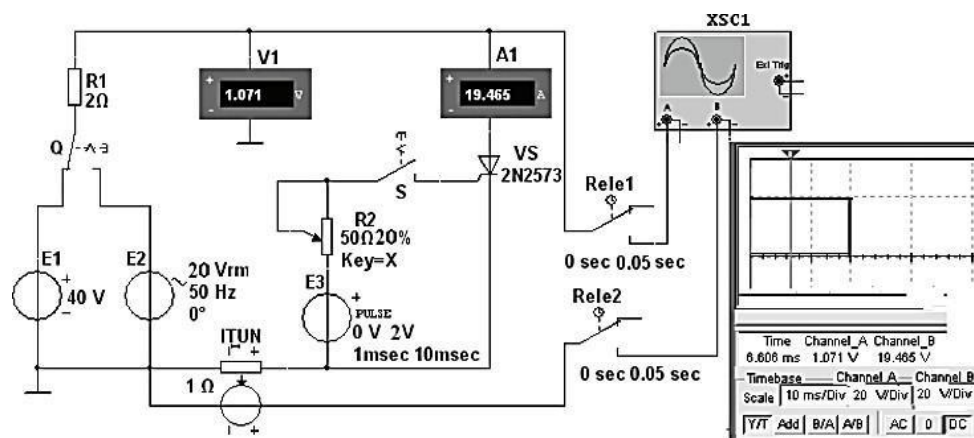


Рисунок 4 – Схема испытания тиристора VS типа 2N2573

Значения параметров номинированного тиристора VS типа 2N2573 приведены в окне (рисунок 5), где:

- $V_{DRM} = 2.5e+1$  (напряжение отпирания  $U_{от} = 25$  В);

- $IDRM = 1e-5$  (обратный ток  $I_0 = 10$  мкА);
- $ITM = 2e+1$  (допустимый ток анода  $I_{a.max} = 20$  А);
- $VTM = 1.1e+0$  (напряжение на открытом тиристоре  $U_{пр} = 1,1$  В);
- $IH = 1e-2$  (ток удержания  $I_{уд} = 10$  мА);
- $VGT = 7e-1$  (управляющее напряжение  $U_y = 0,7$  В на открытом тиристоре);
- $IGT = 4e-2$  (ток управляющего электрода  $I_y = 40$  мА).

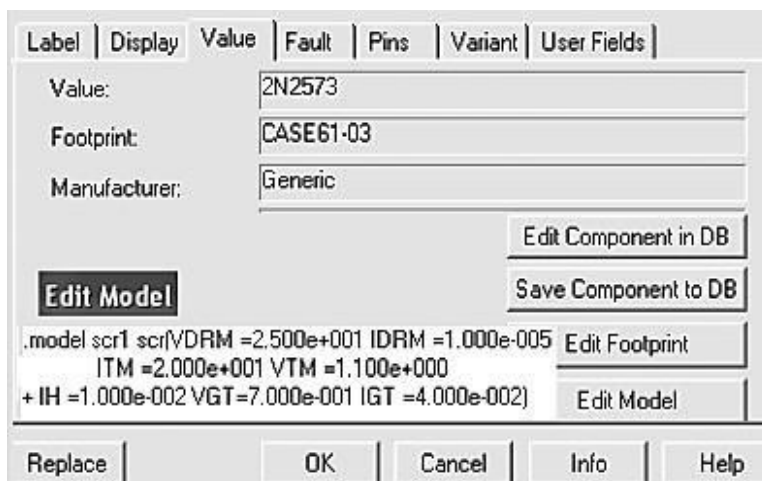


Рисунок 5 – Значения параметров номинированного тиристора VS типа 2N2573

При определении напряжения отпирания динистора (тиристора VS при напряжении  $U_y = 0$ ) нужно принять ЭДС  $E_1 = 40-50$  В. Из анализа ВАХ данной модели динистора (рисунок 6), снятой с помощью прибора XIV1, следует, что напряжение отпирания динистора  $U_{от} \approx 37,4$  В, хотя в паспортных данных этой модели указано  $U_{от} = 25$  В (рисунок 6).

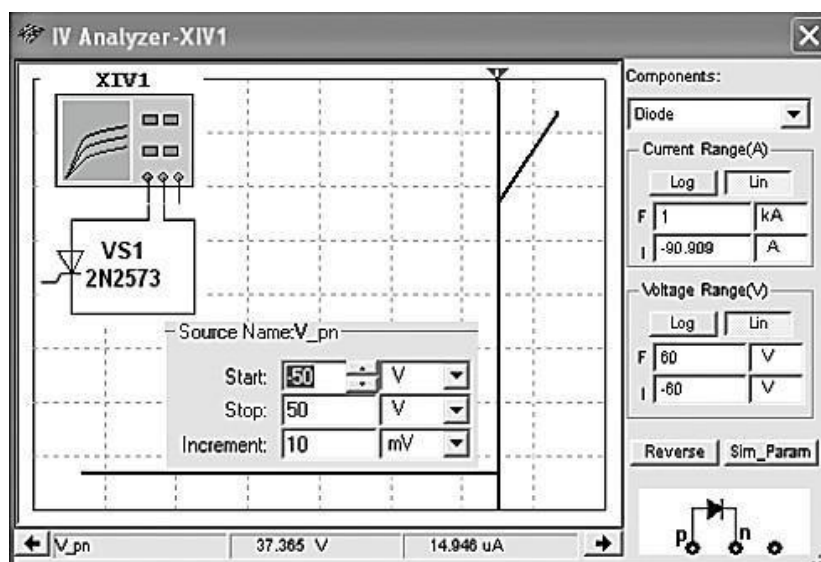


Рисунок 6 – ВАХ динистора

Скопировать изображение схемы (рисунок 4) на страницу отчета. Установить переключатель Q (рисунок 4) в правое положение, замкнуть ключ S, последовательно задавать время задержки  $t_3 = 1; 4$  и  $7$  мс импульсов управления  $U_y$  генератора E3 и зарисовать (или скопировать) на страницу отчета осциллограммы напряжения  $u_a$  и

тока  $i_a$  тиристора. В качестве примера на рисунке 7 приведены осциллограммы напряжения  $u_a$  и тока  $i_a$  тиристора при времени задержки управляющего импульса  $t_3 = 5$  мс (угле отпирания  $\alpha = 90^\circ$ ) по отношению к началу нарастания анодного синусоидального напряжения с периодом  $T = 20$  мс. Выведенные в среднем окне цифры (ниже осциллограммы напряжения и тока) показаны на рисунке 7, есть координаты точек осциллограмм, в которых их пересекают визирные линии. Кнопки и поля, расположенные внизу окна осциллограмм, предназначены для выбора режимов работы каналов А и В ввода сигналов, смещения графиков кривых зависимостей по осям X и Y, а также масштабов как горизонтальной развертки лучей, так и усиления входных сигналов (рисунок 7).

При измерении виртуальными приборами среды MS10 несинусоидальных величин, коими являются напряжение и ток тиристора при угле отпирания  $\alpha \neq 0$ , следует иметь в виду, что их показания в режиме AC будут приближенными, так как эти приборы смоделированы на измерение действующих значений синусоидальных величин.

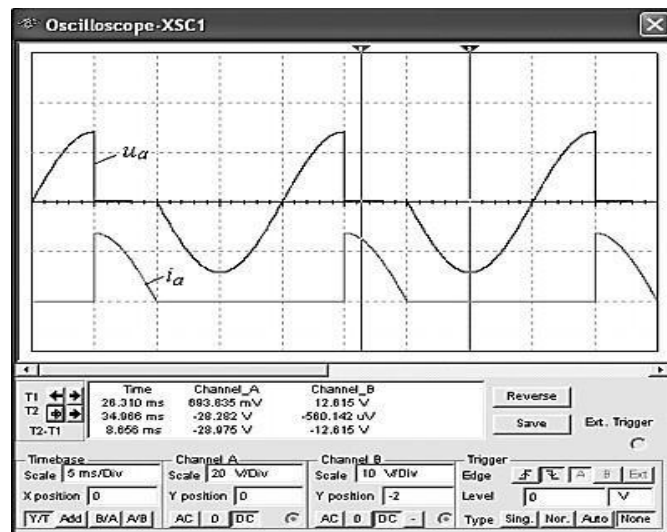


Рисунок 7 – Параметры осциллографа

### 3 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Таблица измерений входной и выходной характеристики идеального транзистора.
3. Выводы по работе.

### 4 Контрольные вопросы

1. Что такое тиристор?
2. Какое основное назначение тиристоров?