МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИНК

_____В.Н. Бориков
« __ » _____ 2016 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Электроника 1.1», «Электроника 1.2», «Электроника 1.3»
для студентов направлений 12.03.01 «Приборостроение» и
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» и др.

Авторы-составители **В.В. Гребенников, Ю.В. Мутовин**

Издательство
Томского политехнического университета
2016

УДК 681.2(076.5)
ББК 34.9я7
Г79

Гребенников В.В.

Г79 Исследование тиристоров : методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Электроника 1.1», «Электроника 1.2», «Электроника 1.3» для студентов II курса, обучающихся по направлениям 12.03.01 «Приборостроение», 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» и др. / авторы-сост. В.В. Гребенников, Ю.В. Мутовин ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 22 с.

УДК 681.2(076.5)
ББК 34.9я7

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
промышленной и медицинской электроники ИНК
«__»_____ 2016 г.

Зав. кафедрой ПМЭ, кандидат физико-математических наук _____ *Ф.А. Губарев*

Председатель учебно-методической комиссии _____ *Ф.А. Губарев*

Рецензент
доцент кафедры ПМЭ ТПУ
Д.Н. Огородников

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2016
© Гребенников В.В., Мутовин Ю.В.,
Составление, 2016

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение характеристик и параметров тиристора и симистора.

2. ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Предварительное домашнее задание:

а) изучить тему курса «Тиристоры» и содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальными схемами, приведенными в руководстве начертить схемы соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Тиристор – полупроводниковый прибор, имеющий три и более p–n-переходов, который может переключаться из закрытого состояния в открытое состояние и наоборот.

С точки зрения применения тиристор – это полупроводниковый ключ, т.е. прибор, основное назначение которого состоит в замыкании и размыкании цепи нагрузки с помощью внешних сигналов.

Аналогично транзистору, работающему в режиме ключа, тиристор имеет два устойчивых состояния – закрытое, или состояние низкой проводимости, и открытое, или состояние высокой проводимости. Переход из одного состояния в другое происходит относительно быстро под воздействием кратковременного внешнего сигнала.

Тиристоры классифицируются по следующим признакам: по количеству выводов, по виду выходной ВАХ, по способам выключения и управления и по другим признакам.

Тиристоры, имеющие только два вывода (анод и катод), называются диодными. В диодных тиристорах различают: тиристоры, запираемые в обратном направлении – динисторы (рис. 3.1, а); проводящие в обратном направлении (рис. 3.1, б) или тиристоры-диоды; диодные симисторы (рис. 3.1, в).

Тиристоры, имеющие три вывода – анод, катод и управляющий электрод называются триодными.

Триодные тиристоры подразделяют: на запираемые в обратном направлении с управлением по катоду (рис. 3.1, г, д) или с управлением по аноду (рис. 3.1, е, ж); проводящие в обратном направлении (тиристоры-диоды) с управлением по катоду (рис. 3.1, з) или по аноду; симметрич-

ные (триодные симисторы) (рис. 3.1, и), которые могут переключаться в открытое состояние при любой полярности напряжения анод-катод.

По способу выключения триодные тиристоры подразделяются на не запираемые, или одно-операционные, которые выключаются только по выходной анодной цепи (рис. 3.1, г, е.), и запираемые, или двух-операционные, которые могут переходить в закрытое состояние при воздействии управляющего сигнала по входной цепи (рис. 3.1, д, ж).

Тиристоры, которые переходят из закрытого состояния в открытое состояние при воздействии на его структуру оптическим сигналом, называются фототиристорами (рис. 3.1, к).

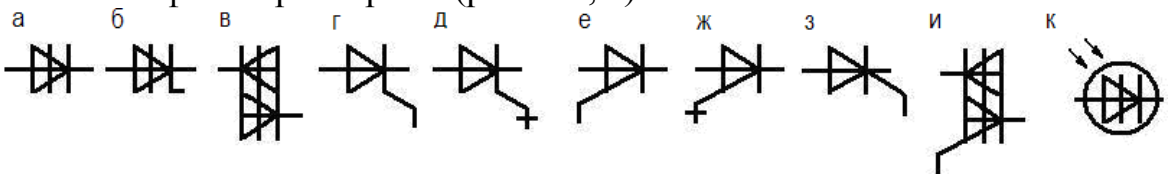

Рис. 3.1

Рассмотрим принцип действия работы тиристоры на примере триодного, как наиболее распространенного, а для других типов покажем их основные особенности.

Тиристор представляет собой четырехслойную полупроводниковую структуру типа p–n–p–n с тремя p–n-переходами (рис. 3.2, а). В этой структуре p1-слой выполняет функцию анода, а n2-слой – катода. Управляющий электрод связан с p2-слоем структуры.

Основной материал при производстве тиристоров – кремний. Четырехслойная структура обычно создается по диффузионной технологии. Исходным материалом является кремниевая пластина n-типа. Вначале методом диффузии акцепторной примеси с обеих сторон пластины создают транзисторную структуру типа p1–n1–p2. Затем после локальной обработки поверхности p2-слоя вносят донорную примесь в p2-слой для получения четвертого n2-слоя.

Для удобства изучения процессов, протекающих в тиристоре при наличии внешних источников напряжения, представим его в виде структуры, изображенной на рис. 3.2, б. Рассмотрение проведем с помощью вольтамперной характеристики тиристора представленной на рис. 3.3. Рассмотрим обратную ветвь вольтамперной характеристики тиристора, которая снимается при токе управления $I_y = 0$. Обратному напряжению тиристора соответствует подключение внешнего напряжения отрицательным полюсом к аноду (область p1), а положительным к катоду (область n2). Полярность напряжения на тиристоре и его распределение по переходам структуры показаны на рис. 3.2, б без скобок.

Приложение обратного напряжения к тиристору вызывает смещение среднего перехода П2 в прямом направлении, а двух крайних переходов П1 и П3 – в обратном. Переход П2 открыт, и падение напряжения на нем мало. Поэтому обратное напряжение распределяется главным образом по переходам П1 и П3. Однако в процессе изготовления тиристора концентрация примеси в p2- и n2-слоях обеспечивается достаточно высокой, по сравнению с концентрацией в p1- и n1-слоях и переход П3 получается узким.

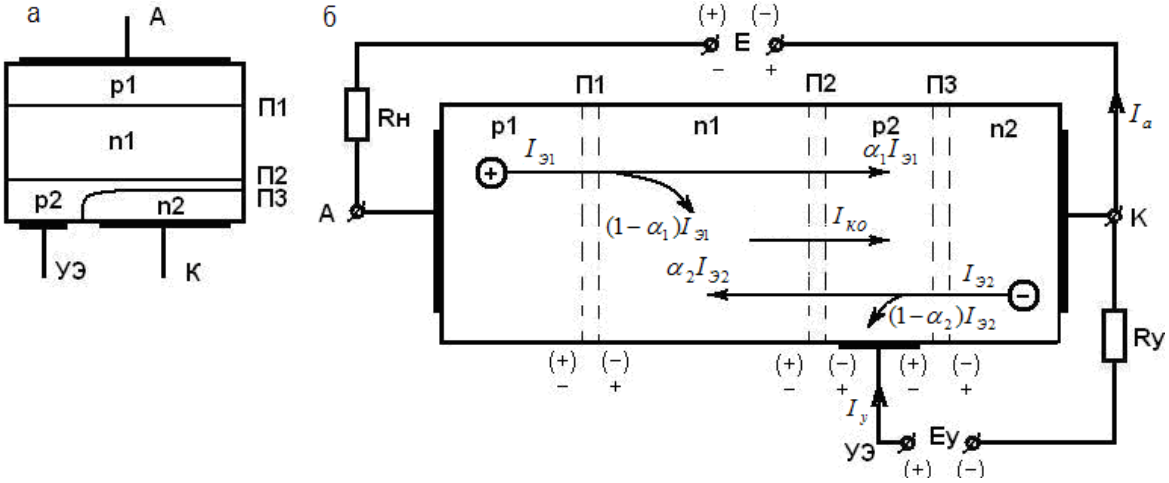

Рис. 3.2

Поэтому электрический пробой перехода П3 наступает при напряжении существенно меньшем, чем рабочие напряжение. Обратное напряжение, по существу, прикладывается к переходу П1, т.е. обратная ветвь вольтамперной характеристики тиристора представляет собой обратную ветвь вольтамперной характеристики перехода П1.

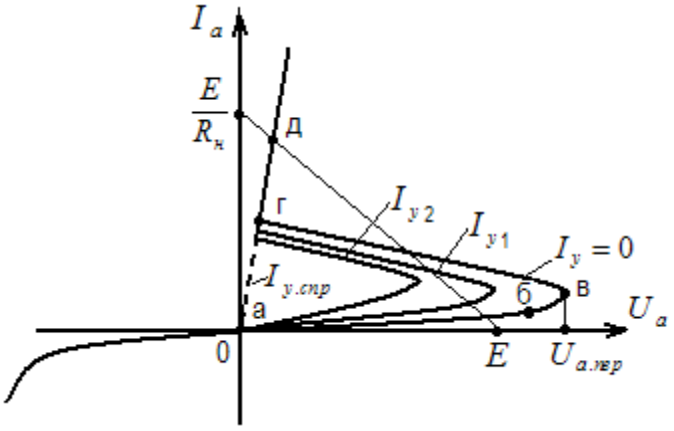

Рис. 2.3

Рассмотрим теперь процессы в тиристорной структуре при подключении тиристора в прямом направлении (т.е. при подключении

плюса источника к аноду, а минуса к катоду). Полярность внешнего напряжения на тиристоре и переходах структуры показана на рис. 3.2, б в скобках. В этом случае крайние переходы П1 и П3 смещаются в прямом направлении, а средний переход П2 – в обратном. В связи с этим напряжение на приборе оказывается приложенным главным образом к переходу П2. Вначале рассмотрим процессы в структуре при отсутствии тока управления ($I_y = 0$). Этот режим, как и предыдущий, справедлив и для динистора.

При наличии на тиристоре напряжения в прямом направлении его можно представить в виде двух транзисторов VT1 p–n–p-типа и VT2 n–p–n-типа. Структура и схема двух транзисторного эквивалента тиристора показана рис. 3.4, а, б.

Эмиттерным переходом для первого транзистора является переход П1, для второго транзистора переход П3. Переход П2 служит общим коллекторным переходом обоих транзисторов. При этом полярность напряжений на переходах соответствует той, которая требуется для работы обоих транзисторов в усилительном (активном) режиме: эмиттерные переходы смещены в прямом направлении, а коллекторный – в обратном.

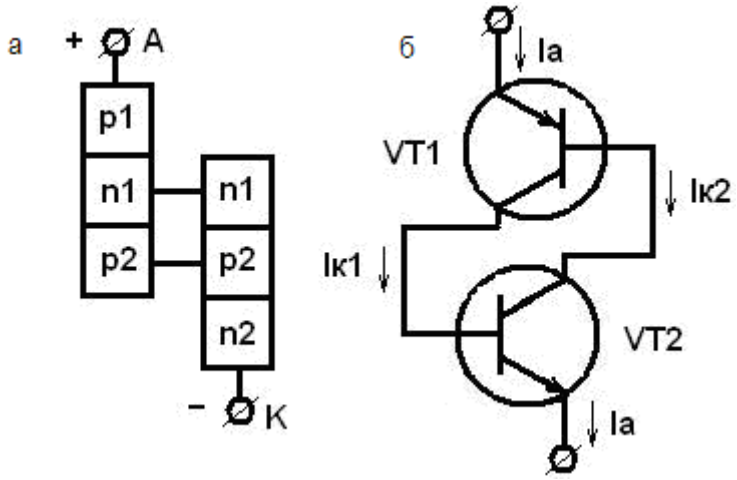

Рис. 3.4

Представив тиристор в виде сочетания транзистора VT1 с коэффициентом передачи тока α_1 и током эмиттера $I_{э1}$ и транзистора VT2 с коэффициентом передачи тока α_2 и током эмиттера $I_{э2}$, нетрудно показать составляющие тока в приборе. Токи коллекторов транзисторов Т1 и Т2 соответственно равны:

$$I_{к1} = \alpha_1 I_{э1} + I_{ко1};\ I_{к2} = \alpha_2 I_{э2} + I_{ко2}, \qquad (3.1)$$

где $I_{ко1}$ и $I_{ко2}$ – обратные токи коллекторных переходов транзисторов VT1 и VT2.

При малых значениях прямого напряжения на тиристоре (участок 0 –б на рис. 3.3) ток I_a через прибор мал. Коэффициенты передачи тока α_1 и α_2 близки к нулю. Близки к нулю также составляющие токов $\alpha_1 I_{э1}$ и $\alpha_2 I_{э2}$ перехода П2. Ток через переход П2, а, следовательно, и ток через тиристор I_a, будет равен обратному току $I_{ко} = I_{ко1} + I_{ко2}$, т.е. в данном случае определятся обратным (тепловым) током перехода П2. Таким образом, начальный участок 0 – б прямой ветви ВАХ тиристора представляет собой обратную ветвь вольтамперной характеристики p–n-перехода П2, смещенного в обратном направлении.

По мере роста анодного напряжения а, следовательно, и напряжения на коллекторном переходе, увеличивается ток $I_{ко}$ и анодный ток через тиристор. Причина возрастания тока $I_{ко}$ связана, как известно, с увеличением тока утечки по поверхности перехода и лавинным умножением в нем носителей заряда, вызванным ударной ионизацией. Увеличение тока через прибор сопровождается соответственно повышением коэффициентов передачи тока первого и второго транзистора. С некоторого значения тока I_a необходимо учитывать составляющие токов транзисторов $\alpha_1 I_{э1}$ и $\alpha_2 I_{э2}$, протекающие через коллекторный переход. Вследствие того, что повышение анодного напряжения U_a приводит к увеличению тока $I_{ко}$, а также составляющих $\alpha_1 I_{э1}$ и $\alpha_2 I_{э2}$, на ВАХ появляется участок б – в с более сильной зависимостью тока I_a от напряжения U_a.

Ток I_a через прибор можно найти, определив ток I_{n2}, протекающий через коллекторный переход:

$$I_{n2} = \alpha_1 I_{э1} + \alpha_2 I_{э2} + I_{ко}. \qquad (3.2)$$

С учетом того, что в любом сечении прибора при токе управления $I_y = 0$ протекает один и тот же ток I_a $(I_{n2} = I_{э1} = I_{э2} = I_a)$, соотношение (2.2) приобретает вид:

$$I_{n2} = I_a = (\alpha_1 + \alpha_2) I_a + I_{ко}, \qquad (3.3)$$

отсюда

$$I_a = I_{ко} / [1 - (\alpha_1 + \alpha_2)]. \qquad (3.4)$$

Выражение (3.4) подтверждает наличие участков 0 – б и б – в на ВАХ тиристора. При малом напряжении U_a и токе I_a (участок 0 – б) сумма коэффициентов передачи тока $(\alpha_1 + \alpha_2)$ близка к нулю, анодный ток I_a практически равен току $I_{ко}$. На участке б – в ток I_a возрастает за счет увеличения тока $I_{ко}$ и суммы коэффициентов передачи тока, которая0 пока не достигает единицы на этом участке.

Точка (в) на ВАХ является граничной, в которой создаются условия для отпирания тиристора. Напряжение на приборе в точке (в) называется напряжением переключения $U_{a.пер}$.

Участок (в – г) на ВАХ соответствует переходу тиристора из закрытого состояния в открытое состояние. При отпирании прибора наблюдаются два явления: 1) уменьшение напряжения на переходе П2 и на тиристоре; 2) действие внутренней, положительной обратной связи в приборе, благодаря которой процесс имеет скачкообразный характер.

Причиной перехода тиристора из закрытого состояния в открытое является повышение роли составляющих $\alpha_1 I_{э1}$ и $\alpha_2 I_{э2}$, и соответственно их суммы в токе через переход П2 по сравнению с током $I_{ко}$. В точке (в) роль этих составляющих столь значительна в балансе токов, протекающих через переход П2, что дальнейшее увеличение тока I_a, возможно лишь за счет уменьшения тока $I_{ко}$ а, следовательно, за счет уменьшения обусловливающего этот ток обратного напряжения на переходе П2 и тиристоре U_a. Уменьшение напряжения на переходе объясняется тем, что увеличение составляющих токов $\alpha_1 I_{э1}$ и $\alpha_2 I_{э2}$ вызывает увеличение потока электронов в n1-базу и дырок в p2-базу и соответственно появление в базах избыточных носителей заряда, снижающих потенциальный барьер коллекторного перехода и его сопротивление. Это приводит к повышению прямого напряжения, приложенного к переходам П1 и П3, и увеличению инжекции через них носителей заряда. Это приводит к еще большему возрастанию коэффициентов передачи тока и заполнению носителями зарядов обеих баз тиристора. В приборе действует внутренняя положительная обратная связь, приводящая к лавинообразному развитию процесса его отпирания.

Участок (г – д) соответствует открытому состоянию тиристора. В точке (г) напряжение на переходе П2 и обратный ток $I_{ко}$ равны нулю, сумма коэффициентов передачи $(\alpha_1 + \alpha_2)$ = 1. Ток через переход П2

равен сумме составляющих $\alpha_1 I_{э1}$ и $\alpha_2 I_{э2}$. Напряжение на тиристоре U_a в точке (г) равно сумме напряжений на переходах П1 и П3, смещенных в прямом направлении.

При перемещении по кривой от точки (г) к точке (д) ток через тиристор возрастает, что увеличивает коэффициенты α_1 и α_2, а также их сумму. Баланс составляющих токов через коллекторный переход достигается изменением полярности напряжения на переходе П2, вследствие чего ток $I_{ко}$ изменяет направление. Иными словами, коллекторный переход под действием избыточных зарядов-дырок в p2-базе и электронов в n1-базе, создаваемых потоками носителей, соответственно, первого и второго транзисторов, переводится в проводящее состояние, обеспечивая встречную инжекцию носителей заряда. Ток $I_{ко}$ теперь уже не является обратным током коллекторного перехода П2.

На участке (г – д) все три p–n-перехода прибора находятся под прямым напряжением смещения. Напряжения на переходах П1, П3 противоположны по знаку напряжению на переходе П2. В связи с этим падение напряжения на тиристоре примерно равно падению напряжения на одном переходе (как в диоде). Увеличение падения напряжения на тиристоре при движении по кривой от точки (г) к точке (д) объясняется повышением напряжения в слоях полупроводниковой структуры с увеличением тока.

Рассмотрим процессы в тиристорной структуре при наличии тока управления, т.е. при $I_y > 0$. С этой целью получим выражение для анодного тока тиристора. При $I_y > 0$ также справедливо выражение (3.2), определяющее ток коллекторного перехода по его составляющим. Как и предыдущем случае, $I_{n2} = I_{э1} = I_a$, но в ток $I_{э2}$ будет входить I_y, поэтому $I_{э2} = I_a + I_y$. С учетом приведенных соотношений решение (3.2) относительно тока I_a приводит к следующему выражению:

$$I_a = (I_{ко} + \alpha_2 I_y)/[1-(\alpha_1 + \alpha_2)]. \qquad (3.5)$$

В соответствии с выражением (3.5) ток управления приводит к более крутому нарастанию анодного тока. Это связано, во-первых, с наличием в числителе выражения (3.5) составляющей $\alpha_2 I_y$, во-вторых, с большим значением коэффициента α_2 вследствие возрастания тока $I_{э2}$ на величину тока управления. Ввиду появления дополнительной

составляющей $\alpha_2 I_y$ в токе коллекторного перехода и повышения коэффициента α_2 переключение тиристора из закрытого состояния в открытое происходит при меньшем напряжении на приборе. Процесс, связанный с переходом тиристора из закрытого состояния в открытое, происходит при токе управления, не равном нулю, подобно ранее рассмотренному. Влияние тока I_y на ВАХ тиристора иллюстрируют участки кривых (0 – е) и (0 – ж), показанные для двух значений тока управления $I_{y3} > I_{y2}$.

При некотором значении тока управления участок закрытого состояния тиристора на прямой ветви вольтамперной характеристики исчезает, и характеристика приближается к прямой ветви ВАХ простого p–n-перехода (участок 0 – г – д). Наблюдается так называемое спрямление характеристики. Значение тока I_y, при котором происходит спрямление характеристики, определяет ток управления спрямления $I_{y.спр}$. Рассмотренный режим работы, когда отпирание прибора следует после достижения на нем напряжения переключения $U_{a.пер}$, используется лишь в схемах с динисторами. В триодных тиристорах переход из закрытого состояния в открытое осуществляется за счет подачи на управляющий электрод отпирающего импульса напряжения. Сущность этого режима отпирания тиристора заключается в следующем. В исходном состоянии тиристор закрыт, ток управления равен нулю. Напряжение источника питания E меньше напряжения переключения тиристора $U_{a.пер}$. При $E > 0$ рабочая точка тиристора расположена на прямой ветви ВАХ (участок 0 – в). Через нагрузку и тиристор протекает малый ток, соответствующий рабочей точке на этой ветви. В требуемый момент времени подают импульс управления E_y, задавая необходимый для отпирания тиристора импульс тока управления, который больше тока спрямления. Тиристор открывается, и рабочая точка переходит на ветвь (г – д). Ток через тиристор и нагрузку при этом будет равен: $I_a = I_н = (E - U_a)/R_н$, где $U_{a.}$– падение напряжения на тиристоре в открытом состоянии (участок г – д на ВАХ).

Задачу определения токов и напряжений удобно решать графически, построив нагрузочную прямую (рис. 3.3), проходящую через точки с координатами (0; $E/R_н$) и (E; 0). Координаты точек пересечения

этой прямой с ВАХ определяют ток и напряжение на тиристоре в закрытом и открытом состояниях.

Вольтамперные характеристики двухоперационного тиристора такие же, как и у однооперационного. В двухоперационных тиристорах запирание осуществляется не изменением полярности напряжения анод-катод, а пропусканием через управляющий электрод импульса тока, противоположного по направлению току отпирания. При этом используется свойство внутренней положительной обратной связи, действующей в приборе. При пропускании встречного тока в цепи управляющего электрода ток базы транзистора Т2 уменьшается, что приводит к уменьшению всех составляющих токов тиристора, а, следовательно, к снижению анодного тока и запиранию прибора.

Тиристоры выпускаются на диапазон прямых токов от десятков миллиампер до нескольких сотен ампер и напряжения от десятков вольт до нескольких киловольт.

Тиристоры малой и средней мощности применяются в релейной и коммутационной аппаратуре. Мощные тиристоры используются в системах преобразования электрической энергии в цепях переменного и постоянного тока.

Статические параметры тиристора

Статические состояния тиристора описывают статическими параметрами, которые задают по выходной ВАХ тиристора.

Открытое состояние тиристора характеризуют следующие параметры:

1. Максимально допустимый средний ток $I_{о.с}$ – среднее за период значение тока, длительно протекающего через тиристор в открытом состоянии.

2. Пороговое напряжение $U_{пор}$ – значение прямого напряжения, определяемое точкой пересечения прямой, аппроксимирующей ВАХ тиристора в открытом состоянии, с осью напряжения. Обычно аппроксимирующую прямую проводят через две точки ВАХ: 0,5 $I_{о.с}$ и 1,5 $I_{о.с}$.

3. Динамическое сопротивление $r_Т$ – значение сопротивления, определяемое по наклону прямой, аппроксимирующей ВАХ тиристора в открытом состоянии.

Закрытое состояние описывают следующие основные параметры:

1. Максимально допустимое повторяющееся импульсное напряжение $U_П$, т.е. наибольшее мгновенное значение напряжения, прикладываемого к тиристору в закрытом состоянии, включая все повторяющие-

ся перенапряжения, но исключая все неповторяющиеся. Импульсы повторяющегося напряжения прикладываются к тиристору с частотой питающей сети. Повторяющиеся перенапряжения обусловлены в основном процессами коммутации в тиристорном преобразователе.

2. Максимально допустимое неповторяющееся импульсное напряжение $U_{НП}$, т.е. наибольшее мгновенное значение любого неповторяющегося перенапряжения, прикладываемого к тиристору в закрытом состоянии. Импульсы неповторяющегося напряжения прикладываются к тиристору с частотой, меньшей частоты питающей сети. Эти импульсы могут следовать хаотично во времени, не подчиняясь какой-либо определенной закономерности, но наименьший интервал времени между соседними импульсами должен быть достаточно велик (около секунды или больше), с тем, чтобы влияние предыдущего импульса на состояние тиристора полностью исчезло к моменту приложения следующего импульса. Неповторяющиеся перенапряжения вызываются внешней по отношению к преобразователю причиной – перенапряжениями в питающей сети, грозовыми перенапряжениями и т.д.

3. Максимально допустимое импульсное рабочее напряжение U_p, т.е. наибольшее мгновенное значение импульсного напряжения, прикладываемого к тиристору, исключая все повторяющиеся и неповторяющиеся переходные напряжения.

4. Максимально допустимое постоянное напряжение в закрытом состоянии $U_{з.с}$, т.е. значение постоянного напряжения, прикладываемого к тиристору.

Аналогичные параметры вводятся для тиристора в закрытом состоянии при обратном его включении. Кроме того, для тиристоров, как и для диодов, вводят параметр обратного напряжения пробоя, $U_{пр}$ т.е. значение обратного напряжения, при котором обратный ток превышает заданное значение. В прямом закрытом состоянии для тиристоров вводят прямое напряжение пробоя $U_{п.пр}$, т.е. значение напряжения в закрытом состоянии, соответствующее заданному значению тока.

Динамические параметры тиристоров

Тиристор – электронный ключ, который может находиться в двух статических состояниях – открытом и закрытом. Переход из закрытого состояния в открытое однооперационного (незапираемого) происходит под воздействием сигнала управления, из открытого в закрытое – под воздействием коммутации в анодной цепи, т.е. за счет подачи обратного

напряжения на прибор. Двухоперационные (запираемые) тиристоры открываются и закрываются сигналом управления.

Переход из одного состояния в другое происходит относительно быстро за время переходных процессов включения и выключения. Учет этих процессов необходим для оценки быстродействия, энергетических потерь и надежности работы тиристора.

Динамику переключения тиристора описывают следующие параметры:

1. Время включения $T_{вкл}$ – время от момента подачи управляющего импульса до момента нарастания анодного тока через тиристор до 90 % установившегося значения при включении на активную нагрузку.

2. Время задержки $T_{зл}$ – время от момента подачи управляющего импульса до момента нарастания анодного тока до 10 % установившегося значения.

3. Время нарастания $T_{нр}$ – время, соответствующее нарастанию анодного тока с 10 до 90 % его установившегося значения.

4. Время выключения $T_{выкл}$ – время от момента, когда анодный ток через тиристор достиг нулевого значения, до момента, когда тиристор способен выдерживать, не переключаясь, прикладываемое в прямом направлении напряжение.

5. Критическая скорость нарастания прямого тока через тиристор $(dI/dt)_{кр}$ – максимальное значение скорости нарастания прямого тока через тиристор, не вызывающее необратимых процессов в полупроводниковой структуре и связанного с ними ухудшения параметров тиристора.

6. Критическая скорость нарастания прямого напряжения $(dU/dt)_{кр}$ – максимальное значение скорости нарастания прямого напряжения, при котором не происходит самопроизвольного включения тиристора при заданном напряжении и отсутствии управляющего импульса.

При оценке режимов эксплуатации тиристоров в конкретной схеме следует учитывать следующие особенности динамических параметров этих приборов.

Во-первых, практически все динамические параметры характеризуют несколько физических процессов, протекающих в тиристоре одновременно, и зависят от ряда внутренних параметров, т. е. от времени жизни и подвижности носителей заряда, емкости переходов и т. п.

Во-вторых, как следствие, динамические параметры зависят от режима измерения параметра, так как внутренние параметры являются функцией внешних параметров: характера нагрузки, анодного напряжения, частоты и т. п.

4. ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

4.1. Экспериментальное исследование тиристора

а) собрать схему для исследования тиристора на постоянном токе в соответствии с рис. 4.1. Регулятор $R_Н$ перевести в положение «0», соответствующее минимальному значению сопротивления.

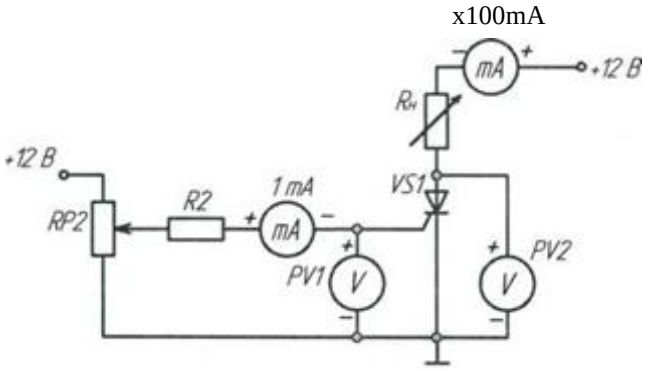

Рис. 4.1

б) определить отпирающий постоянный ток управления $I_{у0}$ и отпирающее постоянное напряжение управления $U_{у0}$, при которых происходит включение тиристора. Для этого плавно вращать ручку потенциометра *RP2*, увеличивая ток управления $I_у$, зафиксировать, при каком значении тока управления $I_{у0}$ и напряжения управления $U_{у0}$ включится тиристор. О включении тиристора судить по резкому уменьшению напряжения на аноде $U_а$ и увеличению анодного тока $I_а$;

в) исследовать возможность выключения тиристора по цепи управления и по анодной цепи. Для этого, включив тиристор, уменьшать до нуля ток управления $I_у$. Выключить тиристор, разорвав цепь анода. Наблюдая за изменением анодного тока $I_а$ и напряжения $U_а$, сделать вывод об управляемости тиристора, сформулировав условия включения и выключения тиристора. Выключить питание модуля;

г) собрать схему для исследования тиристора на переменном токе для получения анодной ВАХ тиристора на экране осциллографа (рис.

4.2). Подать на вход *CH2* (*Y*) осциллографа напряжение с шунта *RS2*, пропорциональное току в анодной цепи $i_а$, а на вход *CH1* (*X*) – анодное напряжение тиристора $U_а$ (при этом переключатель развертки осциллографа должен быть переведен в положение X/Y). Корпус осциллографа (⏚) присоединить к общему проводу (⊥). Зарисовать ВАХ тиристора при двух значениях тока управления $I_у$, определить масштабы по току и напряжению. Выключить питание;

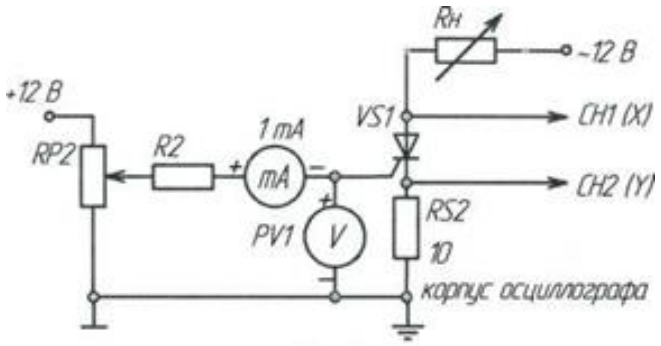

Рис. 4.2

д) определить по осциллограммам максимальное напряжение между анодом и катодом $U_{ос\ max}$ в открытом состоянии при максимальном анодном токе $I_{а\ max}$, ток удержания $I_{уд}$, напряжение включения $U_{вкл}$ и дифференциальное сопротивление $r_Т$.

4.2. Экспериментальное исследование однофазного преобразователя переменного напряжения на симисторе

а) собрать схему преобразователя рис. 4.3. Включить питание модуля;

б) изучить влияние угла управления (регулированием *RP1*) на напряжение на нагрузке ($u_н$) и определить возможный диапазон изменения угла управления;

в) снять осциллограммы переменного напряжения *u*, подаваемого на симистор, напряжения на нагрузке $u_н$, на симисторе $u_а$ и анодного тока $i_а$ при активной нагрузке и заданном угле управления.

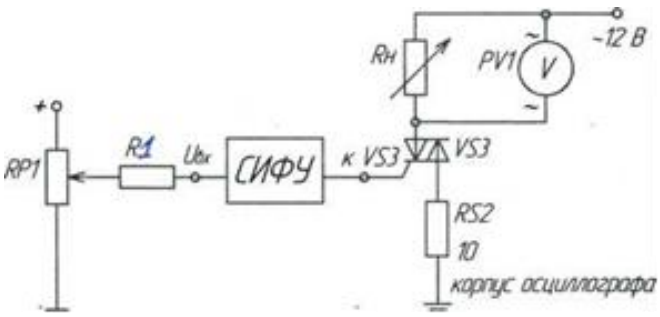

Рис. 4.3. Схема для исследования однофазного преобразователя переменного напряжения на симисторе

г) используя схему, приведенную на рис. 4.2, снять анодную ВАХ симистора при подачи импульсов от системы импульсно-фазового управления (СИФУ), при этом используется выход VS3, подключаемый к управляющему электроду симистора. Для этого подключить входы осциллографа к соответствующим точкам схемы: вход канала *CH1* (*X*) – к аноду симистора, канал *CH2* (*Y*) – к катоду симистора (напряжение на симисторе), снимая тем самым ток через симистор, а корпус осциллографа (⏚) присоединить к общему проводу (⊥). Перевести переключатель развертки осциллографа в положение X/Y. Зарисовать ВАХ симистора при угле управления, заданном преподавателем. Определить масштабы по току и напряжению. Выключить питание модуля.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по работе должен содержать:

а) наименование и цель работы;

б) схемы соединений для выполненных экспериментов;

в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;

г) экспериментально снятые и построенные характеристики;

д) обработанные осциллограммы;

е) выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Какие типы тиристоров вы знаете, и в чем заключаются их характерные отличия?

6.2. Каковы графические условные обозначения тиристоров различных типов, и при каких условиях возможен их переход из закрытого состояния в открытое и наоборот?

6.3. Какова полупроводниковая структура и ВАХ анодной цепи триодного тиристора?

6.4. Как строится нагрузочная прямая тиристора на его выходной характеристике?

6.5. Какие преимущества имеет триодный тиристор по сравнению с динистором с токи зрения их практического применения?

6.6. Какие процессы протекают в тиристорной структуре при его отпирании?

6.7. В чем заключаются отличия двухоперационного тиристора от однооперационного?

6.8. В чем отличие ВАХ анодной цепи симистора от тиристора и в чем причина этих отличий?

6.9. Какие статические параметры тиристоров вы знаете, в чем заключается их физический смысл?

6.10. Какие параметры тиристора называют динамическими и от чего они зависят?

6.11. Опишите принцип действия схемы, изображенной на рис. 4.3. Приведите диаграммы работы.

Учебное издание

ГРЕБЕННИКОВ Виталий Владимирович
МУТОВИН Юрий Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Электроника 1.1», «Электроника 1.2», «Электроника 1.3»
для студентов направлений 12.03.01 «Приборостроение» и
12.03.04 «Биотехнические системы и технологии» и др.

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати _____.2016. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 2,26. Уч.-изд.л. 2,05.
Заказ . Тираж 100 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru