

ТИРИСТОРЫ СЕРИИ ВКДУ НА ТОКИ 50—200 а

Грехов И. В., Крылов Л. Н., Ланийчук И. А., Тучкезач В. М., Челноков В. Е., Шуман В. Б., Яковчик Н. И.

В данной статье рассмотрены свойства мощных управляемых кремниевых диффузионных вентилях типа ВКДУ на токи 50—200 а. Эти вентили разработаны ФТИ им. А. Ф. Иоффе АН СССР совместно с заводом «Электровыпрямитель» Мордовского СНХ в 1962 г.

Метод изготовления выпрямительных элементов

Рабочий элемент силового управляемого кремниевого вентиля ВКДУ представляет собой кремниевую пластинку с электронным типом проводимости, в которой образована методом последовательной диффузии четырехслойная структура *n-p-n-p* (рис. 1а).

Сначала в пластинку электронного кремния проводится диффузия бора, в результате которой создается трехслойная

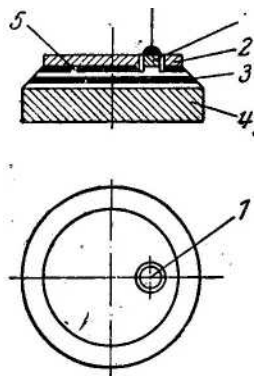


Рис. 1а. Разрез выпрямительного элемента мощного управляемого диффузионно-кремниевого вентиля типа ВКДУ.

1 — вольфрамовый контакт базы; 2 — верхний вольфрамовый диск; 3 — структура *n-p-n-p*; 4 — нижний вольфрамовый диск; 5 — выход *p*-типа.

площадь управляющего

С обеих сторон к диски, изготовляемые У управляющего электрода

Диффузионный метод рядом преимуществ, перспективным. Помимо размерами и параметрами, возникающие при сплавном методе изготовления.

Диффузионным методом можно технологически легко изготовить шунтирующее сопротивление верхнего эмиттерного *p-n*-перехода для увеличения и температурной стабилизации напряжения переключения. При использовании диффузионного метода и вышеописанного способа изготовления контактов исключается возможность появления неоднородностей *p-n*-переходов или неоднородностей контактов по всей площади элементов, которые неизбежны при сплавном методе. Диффузионный метод сравнительно прост, легко поддается контролю и позволяет автоматизировать производство вентилях.

Конструкция

На рис. 1б представлен разрез вентиля типа ВКДУ. На массивное медное основание / со шпилькой, служащей анодным выводом, напаян выпрямительный элемент 4 с четырехслойной структурой типа *n-p-n-p*. Термокомпенсирующая вольфрамовая прокладка 2 соединяет элемент 4 с основанием /. Стальная внешняя трубка 5 со стеклянным изолятором 9 с помощью завальцованного шва 11 герметически изолирует выпрямительный элемент от воздействия окружающей среды. В стеклоизоляторе имеются стакан вывода управляющего электрода 6 и стакан силового вывода 12. Выпрямительный элемент через вторую термокомпенсирующую вольфрамовую прокладку 3 соединен с силовым выводом 10, который через стакан силового вывода 12 и переходной стакан 8 соединяется с катодным наружным выводом. Аналогичным образом изготовлен вывод управляющего электрода.

Таким образом, корпус силового вентиля типа ВКДУ на токи 50—200 а герметизируется с помощью одной только операции завальцовки с эластичной прокладкой и не имеет ни одного паяного шва.

Тиристоры типа ВКДУ применяются с радиатором для воздушного охлаждения на токи 50—150 а, а тиристоры типа ВКДУВ — с охладителем для водяного охлаждения на токи 100—200 а. Вес вентиля без радиатора составляет 450 ± 10 г, с радиатором для воздушного охлаждения 2100 ± 20 г, с охладителем — 1100 ± 20 г.

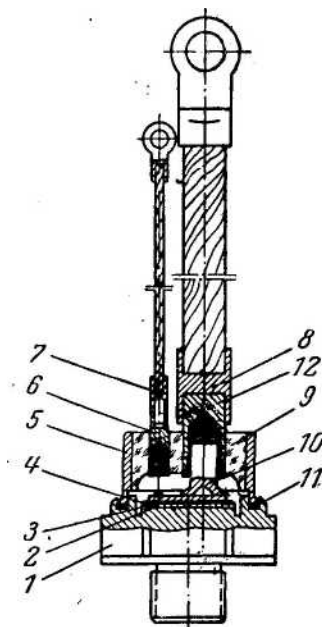


Рис. 1б. Разрез вентиля типа ВКДУ.

1 — основание; 2 — вольфрамовый диск; 3 — вольфрамовый контакт; 4 — структура *n-p-n-p*; 5 — внешняя трубка; 6 — стакан вывода управления; 7 — переходная втулка; 8 — переходной стакан; 9 — стеклоизолятор; 10 — силовой вывод; 11 — фторопластовая прокладка; 12 — стакан силового вывода.

Разработанный диффузионный метод позволяет все процессы диффузии проводить на воздухе, без применения защитной атмосферы и вакуума. Регулируя продолжительность и температуру процесса диффузии, можно получать четырехслойные структуры с заранее заданными требуемыми размерами.

Диаметр кремниевых пластин, употребляемых для вентилях типа ВКДУ, составляет 25 мм, толщина 0,35 мм. Сопротивление кремния 20—80 ом \times см.

Контакты к элементам изготавливаются методом химического никелирования с последующим отжигом для упрочнения слоя никеля. Такой метод позволяет создать прочные, надежные, равномерные по всей площади токоотводящие контакты. Для повышения величины и для улучшения температурной стабильности максимального напряжения переключения $U_{н.м.}$ один из эмиттерных переходов четырехслойной структуры шунтируется малым сопротивлением. Это шунтирующее сопротивление изготавливается в процессе создания структуры и представляет выход базовой области *p*-типа на поверхность элемента, как показано на рис. 1а. Вывод управляющего электрода изготовлен на части верхней поверхности элемента с выходом базовой области *p*-типа на поверхность. Рабочая площадь верхнего эмиттера составляет около 3 см², электрода — около 0,15 см².

элементу припаяны термокомпенсирующие вольфрамовые обычным способом, применяемым в кремниевых вентилях. также имеется вольфрамовый диск.

изготовления четырехслойных структур обладает целым которые делают его применение чрезвычайно возможности получать структуры с заранее заданными полностью исключаются механические напряжения,

Вольт-амперная характеристика

Типичная прямая ветвь статической вольт-амперной характеристики вентиля типа ВКДУ при малых токах и при разных температурах изображена на рис. 2а. Максимальное напряжение переключения $U_{п.м}$ и максимальное обратное напряжение $U_{обр.м}$ большинства вентилях равны. Это объясняется тем обстоятельством, что величины $U_{п.м}$ и $U_{обр.м}$ обусловлены электрической прочностью двух примерно одинаковых р-п-переходов четырехслойной структуры, изготовленных диффузией бора в исходный п-кремний с удельным сопротивлением около $30\text{--}80\text{ ом} \cdot \text{см}$. Используемые режимы диффузии давали возможность получать пробивные напряжения диффузионных р-п-переходов до $2\ 000\text{ в}$.

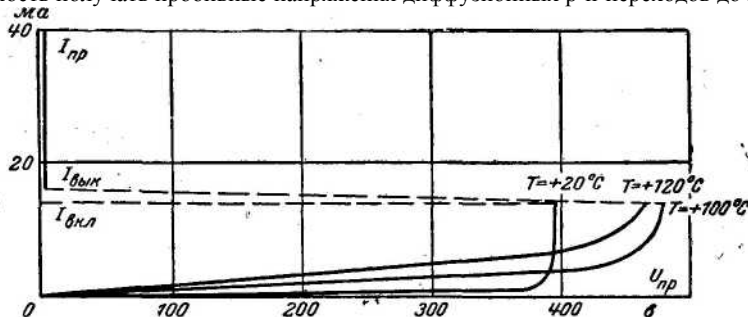


Рис. 2а. Прямая ветвь статической вольт-амперной характеристики (при малых токах и разных температурах) вентиля типа ВКДУ..

Неодинаковые значения величин $U_{п.м}$ и $U_{обр.м}$ объясняются либо тепловым пробоем одного из этих переходов, причем обычно второго эмиттерного, к которому приложено в основном обратное напряжение (тогда $U_{обр.м} < U_{п.м}$), либо большой утечкой коллекторного перехода (тогда $U_{п.м} < U_{обр.м}$). Большей частью, в случае неодинаковых значений $U_{п.м}$ и $U_{обр.м}$ имеет место $U_{обр.м} > U_{п.м}$.

Прямой ток запертого вентиля — ток утечки /ут — всегда больше величины обратного тока коллекторного перехода. Это объясняется, в частности, влиянием различных утечек, обусловленных в основном наличием областей с большой скоростью рекомбинации в слое объемного заряда, а также загрязнениями на поверхности элемента в месте выхода р-п-перехода.

Применение технологической шунтировки первого эмиттерного перехода позволяет повысить значение $U_{п.м}$ до пробивного напряжения коллекторного перехода, так что переключение вентиля происходит уже в области электрического пробоя этого перехода. На рис. 2а это отчетливо видно. Эта шунтировка позволяет также ослабить влияние различных утечек в коллекторном переходе на величину $U_{п.м}$, хотя и приводит к возрастанию тока включения. Типичные значения этого тока $5\text{--}10\text{ ма}$. Однако разброс значений величины тока включения велик — от нескольких миллиампер до 100 ма . Это обстоятельство объясняется либо неконтролируемыми утечками коллекторного перехода, либо несовершенством технологической шунтировки.

Обратная ветвь вольт-амперной характеристики вентиля типа ВКДУ аналогична обратной ветви вольт-амперной характеристики диффузионных кремниевых вентилях типа ВКД и подробно описана в [Л. 1, 2], поэтому здесь она не рассматривается.

Из рис. 2а видно, что ток выключения лишь немного больше тока включения. Абсолютная величина отрицательного сопротивления у большинства вентилях составляет, как правило, $10^4\text{--}10^5\text{ ом}$, однако встречаются вентиля с величиной отрицательного сопротивления в несколько килоом.

У некоторых образцов ток выключения меньше тока включения. Возможно, это обстоятельство объясняется изменением зависимости коэффициента усиления по току α от величины прямого тока после включения.

Падение напряжения ΔU на включенном вентиле сравнительно мало. Величины ΔU , измеренные на постоянном токе при значении прямого тока 200 а , лежат в пределах $1,2\text{--}2,0\text{ в}$, составляя, в среднем, $1,2\text{--}1,4\text{ в}$. Большие значения ΔU связаны, возможно, с падением напряжения на толще второй базы четырехслойной структуры. Уже при сравнительно небольших прямых токах, порядка $10\text{--}20\text{ а}$, прямая ветвь вольт-амперной характеристики становится линейной. Наклон этого участка характеристики, так называемое остаточное сопротивление, для всех вентилях составляет величину порядка 10^{-3} ом .

Температурные зависимости параметров

Температурная зависимость напряжения переключения определяется, как известно, зависимостью коэффициента усиления по току от тока утечки и температуры. При этом температурная зависимость играет, по-видимому, не очень значительную роль, и изменение $U_{п.м}$ с температурой определяется, в основном, температурной зависимостью тока утечки. Поэтому, если максимальное напряжение переключения меньше пробивного напряжения коллекторного перехода, т. е. ток утечки велик, то с ростом температуры $U_{п.м}$ будет падать. Если переключение происходит в области пробоя, то сначала с ростом температуры напряжение переключения возрастает. Затем, когда ток утечки, возрастающий с температурой, станет больше тока включения, величина $U_{п.м}$ начнет уменьшаться по мере роста температуры.

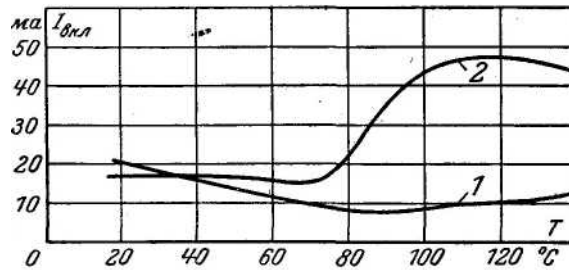


Рис. 26. Температурная зависимость тока включения вентилях типа ВКДУ.

На рис. 2а приведена прямая ветвь статической вольт-амперной характеристики вентиля, иллюстрирующая последний случай. По данным графиков, аналогичных приведенному на рис. 2а, построены температурные зависимости $U_{п.м.}=f(T)$, изображенные на рис. 3. Ход кривых понятен из вышеприведенных рассуждений. Из рис. 2а видно, что ток включения с изменением температуры практически не меняется. Однако довольно часто имеет место температурная зависимость тока включения (рис.2б), причем кривая 1 на рис. 2б соответствует вентилю, у которого зависимость $U_{п.м.}=f(T)$, аналогична кривой / на рис. 3, а кривая 2 на рис. 2б - кривой 2 на рис. 3.

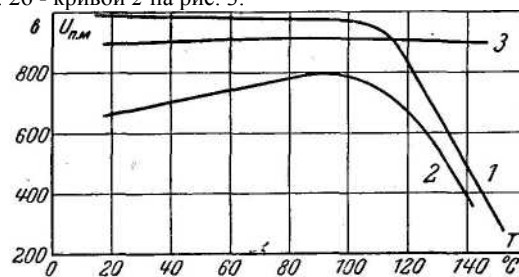


Рис. 3. Температурные зависимости максимального напряжения переключения вентилях типа ВКДУ.

С повышением температуры прямое падение напряжения включенного управляемого вентиля падает аналогично температурной зависимости прямого падения напряжения обычного кремниевого вентиля. Температурная зависимость тока утечки является экспоненциальной. Температурная зависимость обратного тока такая же, как и у обычных кремниевых вентилях.

Параметры цепи управления

При подаче на управляющий электрод вентиля ВКДУ положительного относительно катода напряжения в цепи управления потечет ток, который вызывает уменьшение величины U_n . На рис. 4г приведены типичные прямые ветви статических вольт-амперных характеристик вентиля типа ВКДУ при разных токах управления и при комнатной температуре. Сопротивление нагрузки при снятии этих характеристик выбиралось таким, чтобы прямой ток открытого вентиля сразу же после переключения был значительно больше тока включения.

На рис. 4б изображены зависимости тока включения и напряжения переключения от тока управления, вычисленные по данным графиков, аналогичных приведенному на рис. 4а. Из этих графиков видно, что с увеличением тока управления напряжение переключения уменьшается, но при этом увеличивается ток открывания. Следует отметить, что для некоторых образцов вентилях ток, при котором вентиль включается, остается постоянным или даже уменьшается. С ростом I_y , как видно из рис. 4а, меняется и форма прямой ветви запертого вентиля — значительно увеличивается начальное значение тока утечки.

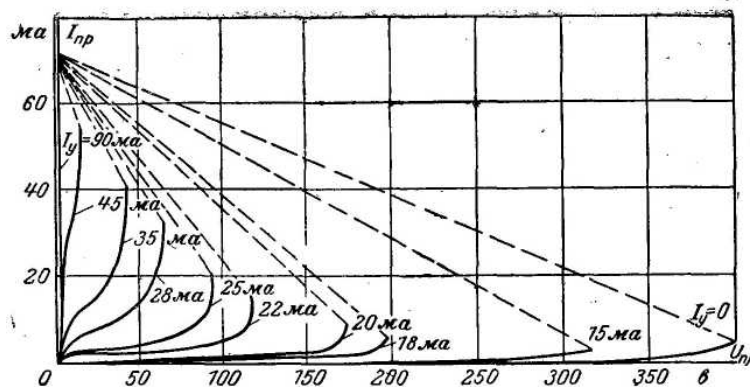


Рис. 4а. Прямая ветвь статической вольт-амперной характеристики при комнатной температуре при разных токах управления вентиля типа ВКДУ.

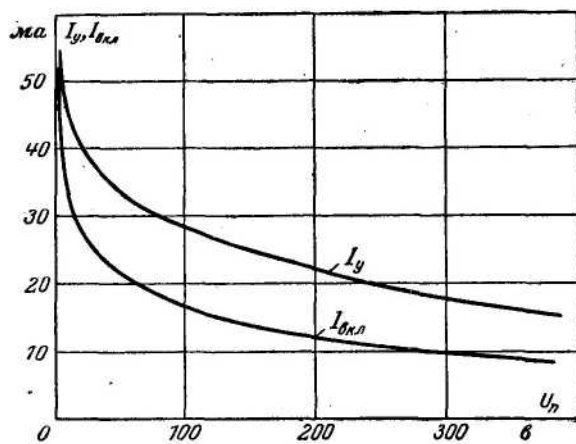


Рис. 4б. Зависимость тока включения и напряжения переключения от тока управления при комнатной температуре вентиля типа ВКДУ.

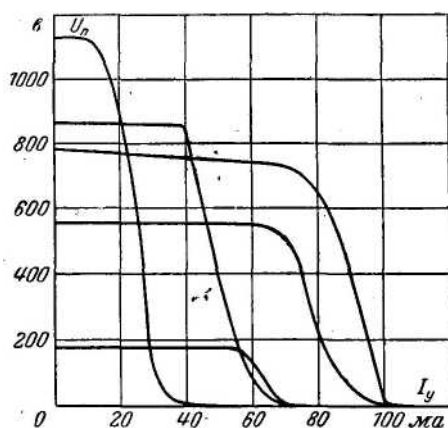


Рис. 5. Зависимость напряжения переключения от тока управления для вентиля типа ВКДУ.

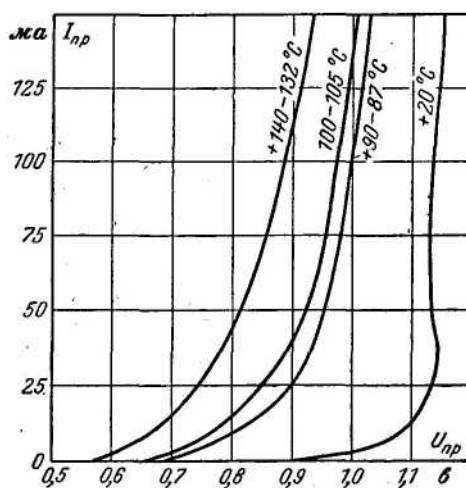


Рис. 6. Спрямленная прямая ветвь статической вольт-амперной характеристики при разных температурах вентиля типа ВКДУ.

Типичные зависимости напряжения переключения от тока управления приведены на рис.5. Из приведенных графиков видно, что для полного спрямления характеристики ток управления должен довольно резко увеличиться. У некоторых вентилях этот ток управления спрямления I_{yc} достигает 1 а. При этом резко, до нескольких сотен миллиампер, возрастает и ток включения. Как правило, при комнатной температуре величины I_{yc} составляют 100—200 ма, при напряжении управления 1,5 : 2 в.

При прохождении тока управления через цепь управления на первом эмиттерном переходе имеет место падение напряжения. Таким образом, в цепи анод—катод, даже при отсутствии внешнего приложенного напряжения и, следовательно, отсутствии тока, имеется падение напряжения. На рис. 6 приведены спрямленные прямые ветви статической вольт-амперной характеристики вентиля типа ВКДУ при разных температурах при постоянном токе управления. Видно, что падение напряжения на эмиттерном переходе за счет тока спрямления с ростом температуры уменьшается.

Если ток и напряжение управления имеют форму прямоугольных импульсов, то амплитуда импульса тока управления спрямления зависит также и от длительности импульса. При длительностях импульса, больших примерно 10 мксек, величины тока и напряжения управления спрямления практически не зависят от длительности импульса и равны приблизительно значениям тока управления спрямления в статическом режиме. При дальнейшем уменьшении длительности импульса ток и напряжение управления возрастают.

При понижении температуры величины тока и напряжения управления спрямления растут. При температуре — 50° С они увеличиваются на 25—30%.

Классификация и основные параметры

Классификация вентиля производится по виду прямой и обратной ветвей вольт-амперной характеристики, снимаемой на однофазной однополупериодной схеме. При помощи осциллографирования прямой и обратной ветвей вольт-амперной характеристики нагретого до температуры +110°С вентиля определяются величины максимального напряжения переключения $U_{п.м}$ и максимального обратного напряжения $U_{обр.м}$. За допустимое напряжение переключения $U_{п.д}$ и допустимое обратное напряжение (номинальные значения) принимаются напряжения, равные 60% максимальных значений соответствующих величин, определенных при температуре р-п-р-структуры +110° С. В случае неравенства этих напряжений в качестве номинального значения для обоих берется меньшее.

В зависимости от величины допустимого напряжения вентили типа ВКДУ делятся на следующие классы (см. табл. 1).

Класс вентиля	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7
Допустимое напряжение переключения и допустимое обратное напряжение, в	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700

В настоящее время разработаны ВКДУ всех классов, кроме седьмого. Средние значения обратного тока и тока утечки ВКДУ 6-го класса при номинальном напряжении и температуре $+110^{\circ}\text{C}$ не превышают 20 мА . Типичные значения величин этих токов, составляют несколько миллиампер. Величина допустимого рабочего тока, определяемая по той же схеме при работе на активную нагрузку с применением цепи управления, зависит от величины прямого падения включенного вентиля и способа охлаждения.

В зависимости от величины прямого падения напряжения (среднее значение) при прямом токе в 100 а (среднее значение) вентили разделяются на типы, указанные в табл. 2

Уп.д (при $I = 100\text{ а}$), в	$<6,70$	0,71-0,9	0,91-1,4
Тип вентиля	ВКДУ-150 ВКДУВ-200	ВКДУ-100 ВКДУВ-150	ВКДУ-50 ВКДУВ-100

У вентилях ВКДУ-150, ВКДУ-100 и ВКДУ-50 средний номинальный рабочий ток при воздушном принудительном охлаждении составляет 150 а , 100 а и 50 а соответственно. Скорость потока воздуха должна составлять 12 м/сек . Ребра радиатора должны быть параллельны направлению потока воздуха при температуре последнего $+40^{\circ}\text{C}$. При повышении температуры охлаждающего воздуха величина рабочего тока должна быть снижена.

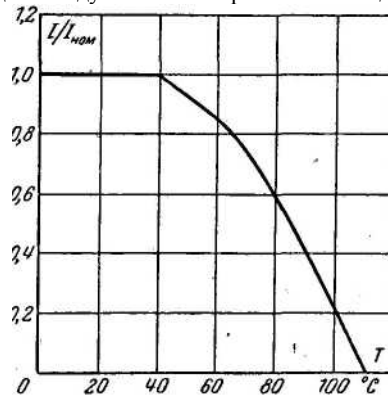


Рис. 7. Зависимость величины рабочего тока от температуры охлаждающего воздуха для вентиля типа ВКДУ.

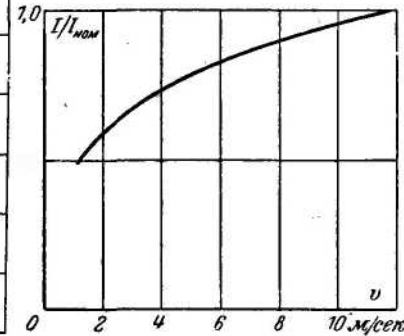


Рис. 8. Зависимость величины рабочего тока от скорости потока охлаждающего воздуха при температуре последнего $+40^{\circ}\text{C}$ и температуре $p-n-p$ -структуры $+110^{\circ}\text{C}$.

На рис. 7 представлена зависимость величины допустимого рабочего тока от температуры охлаждающего воздуха при скорости последнего 12 м/сек , на рис. 8 — зависимость этого тока от скорости потока воздуха.

При использовании водяного охлаждения величина допустимого рабочего тока возрастает. Расход воды составляет 3 л/мин , температура $+30^{\circ}\text{C}$ и удельное сопротивление не менее $2\text{ ком}\cdot\text{см}$. При меньшем расходе воды или при повышении температуры величина выпрямленного тока должна быть снижена.

Во всех случаях максимальная температура $p-n-p$ -структуры не должна превышать $+110^{\circ}\text{C}$ для того, чтобы не имело место снижение максимального напряжения переключения. Для измерения температуры $p-n-p$ -структуры, до которой нагревался рабочий элемент вентиля при пропускании через него прямого тока, был применен видоизмененный метод, описанный в работе [Л. 3], так как при измерении температуры кремниевой $p-n-p$ -структуры встречаются те же трудности, что и в неуправляемых кремниевых вентилях. Сущность этого метода при измерении температуры $p-n-p$ -структуры управляемого кремниевого вентиля заключается в том, что на вентиль со спрямленной прямой характеристикой (см. рис. 6), нагреваемый рабочим током в форме прямой полуволны синусоиды, во время обратного полупериода подается импульс прямого напряжения прямоугольной формы длительностью 10^{-4} сек . По температурному изменению прямого тока, обусловленного импульсом прямого напряжения, проходящего через предварительно проградуированный вентиль, регистрируется температура $p-n-p$ -структуры.

Как видно из рис. 6, с ростом температуры прямой ток увеличивается, а прямое напряжение на вентиле при нулевом прямом токе, обусловленное прохождением тока управления через эмиттерный переход, уменьшается.

При градуировке вентиля в термостате и при измерениях в рабочем режиме поддерживалась постоянная сумма напряжений, состоящая из падения напряжения на эмиттерном переходе и напряжения импульса. Для этого с ростом температуры необходимо было увеличивать амплитуду напряжения импульса. Последнее приводило к более резкому, чем экспоненциальное, возрастанию импульса прямого тока с температурой. Отсюда видно, что для однозначности измерений необходимо поддерживать постоянный ток управления (спрямления).

Единственным отличием измерительной схемы от описанной в работе [Л. 3] является наличие цепи управления для спрямления прямой характеристики. Во всем остальном методики совпадают. Таким методом были измерены зависимости температуры $p-n-p$ -структуры при различных режимах охлаждения от тока нагрузки для вентилях типов ВКДУ и ВКДУВ. Исходя из этих данных и предельного значения температуры $p-n-p$ -структуры в $+110^{\circ}\text{C}$, при которой максимальное напряжение переключения не очень сильно уменьшается, вентили ВКДУ и ВКДУВ по величине рабочего тока были разбиты на три типа, параметры которых приведены в табл. 2.

Максимальное напряжение переключения при пропускании через вентили рабочего тока измерялось также с помощью метода разделения мощностей в прямом направлении. Сущность этого метода заключалась в том, что на вентиль в прямом направлении подавалась сумма напряжений малоомощного высоковольтного и силового низковольтного источников э. д. с. Форма напряжения была косинусоидальной, причем высоковольтное напряжение опережало на четверть периода силовое. Таким образом, вентиль открывался высоковольтным напряжением (при токе управления, равном нулю) при максимальном напряжении переключения, а затем через открытый таким образом вентиль пропускался прямой ток от силовой цепи. Амплитуда высоковольтного напряжения равна максимальному напряжению переключения при данном прямом токе и данных условиях охлаждения. Следует отметить, что, как показали измерения, через вентили ВКДУВ-200 в случае отсутствия уменьшения напряжения переключения с температурой можно пропускать средний ток 300 а. При этом температура р-п-р-п-структур не превышает +140° С.

Для измерения температуры р-п-р-п-структуры была также использована температурная зависимость прямого напряжения на вентиле при нулевом токе (см. рис. 6). Градуировка и измерения проводились при постоянном токе управления спрямления. Измерения производились во время обратного полупериода осциллографическим методом. Недостатком метода является необходимость для повышения чувствительности производить отсчет измеряемой величины не от нулевой линии осциллографа, так как последняя находится за экраном. Таким образом, во время измерений невозможно проверить нулевое положение линии, что приводит к некоторой неточности измерений. Однако практика показала, что изменение положения нулевой линии приводит к ошибке ±3° С, что вполне допустимо. Температурный перепад между р-п-р-п-структурой и основанием корпуса для вентиля с воздушным охлаждением составляет 20—40° С.

По величине прямого падения напряжения при номинальном прямом токе вентили каждого типа делятся на группы. Параллельное соединение вентиля при условии синхронности цепей управления без выравнивающих устройств и без снижения величины выпрямленного тока допускается только при совершенно одинаковой величине прямого падения напряжения. При разбросе величин прямого падения следует соответственно снижать величину выпрямленного тока или применять выравнивающее устройство. При последовательном соединении вентиля их необходимо шунтировать соответствующими сопротивлениями.

При эксплуатации вентиля допускаются кратковременные перегрузки по току на 25% от номинального в течение 30 сек и на 100% в течение 1 сек. Время включения вентиля составляет не более 10 мксек, время восстановления — не более 25 мксек. Типичные значения времени включения составляют 3—6 мксек, времени восстановления — 5—10 мксек.

Время включения и восстановления вентиля измерялось по обычной методике, описанной, например, в [Л. 4]. Величина постоянного прямого рабочего тока при измерениях времени включения и восстановления составляла 50 а для вентиля ВКДУ-50 и 100 а для вентиля ВКДУ-100, ВКДУ-150 и ВКДУВ-200.

В табл. 3 приведены предельные значения основных параметров управляемых вентиля типов ВКДУ и ВКДУВ.

Таблица 3

Параметры вентиля	ВКДУ-50	ВКДУ-100	ВКДУ-150	ВКДУВ-100	ВКДУВ-150	ВКДУВ-200
Рабочий ток (среднее значение), а	50	100	150	100	150	200
Прямое падение напряжения (среднее значение), в	До 1,25	До 0,9	До 0,75	До 1,4	До 1,00	До 0,9
Вес вентиля: с радиатором, г без радиатора, г	2 100 450	2 100 450	2100 450	1 100 450	1 100 450	1 100 450
Способ охлаждения	Воздушное, принудительное, с радиатором, скорость потока воздуха 12 м/сек, температура воздуха +40° С			Водяное, принудительное, с охладителем, расход воды 3 л/мин, температура воды +30° С		

Общие для всех вентиля параметры:

Максимальное напряжение переключения (амплитудное значение)	Максимальное обратное напряжение (амплитудное значение)	Температура р-п-р-п-структуры	Ток управления спрямления не более (амплитудное значение)	Напряжение управления спрямления, не более (амплитудное значение)	Длительность импульса тока управления спрямления (не менее)	Время включения (не более)	Время восстановления (не более)
До 1 000 в	До 1 000 в	+110° С	1 а	20 в	20 мксек	10 мксек	25 мксек

Характеристики цепи управления для вентиля ВКДУ и ВКДУВ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Мощность цепи управления в импульсе при спрямлении вольт-амперной характеристики не более, вт	20
Допустимое амплитудное значение напряжения управляющего импульса при спрямлении вольт-амперной характеристики не более, в	20
Допустимое амплитудное значение тока управляющего импульса при спрямлении вольт-амперной характеристики не более, а	1
Длительность амплитудного значения тока импульса не менее, сек	2·10 ⁻⁵

Вентили типа ВКДУ и ВКДУВ применяются при частотах колебаний не более 500 *гц*. Допускается применение вентиля для работы при номинальных параметрах при температурах окружающей среды от —40 до +110° С для вентиля типа ВКДУ и от +5 до +30° С для вентиля типа ВКДУВ.

Относительная влажность окружающей среды не должна превышать 98%, а величина атмосферного давления должна лежать в пределах 600—1 500 *мм рт. ст.* Допускаются также длительные вибрации и сильные удары. Хотя корпус вентиля типа ВКДУ является герметичным, влаго- и коррозиостойким, тем не менее не допускается эксплуатация вентиля в химически активных средах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капитонов А. И., Тучкевич В. М., Челноков В. Е., Исследование вольт-амперной характеристики диффузионных электронно-дырочных переходов в кремнии, Труды I Всесоюзного совещания по свойствам электронно-дырочных переходов, изд. АН УзССР, 1962.

2. Грехов И. В., Крылов Л. Н., Линийчук Н. И., Тучкевич В. М., Челноков В. Е., Шуман В. Б. Мощные диффузионные кремниевые вентили, «Электросвязь», 1963, № 11.

3. Челноков В. Е., Метод измерения температуры электронно-дырочного перехода мощных кремниевых вентилях, «Электричество», 1963, № 3.

4. J o n e s D., Electronics, v. 33, 1960, № 32, p. 52