

232
Г85
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
имени академика В. Н. ОБРАЗЦОВА

На правах рукописи

Л. С. ГРИШУКОВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИЛОВЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЕНТИЛЕЙ
В СХЕМАХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

№ 277. Преобразование видов энергии

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЛЕНИНГРАД
1967

НТБ
ДНУЖТ

Ленинградский ордена Ленина
институт инженеров железнодорожного транспорта
имени академика В.Н.Образцова

На правах рукописи

А.С.ГРИШУКОВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ
РАБОТЫ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЕНТИЛЕЙ В
СХЕМАХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

№ 277. Преобразование видов энергии

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ленинград

1967

НАУКОВО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

при
университете им.
имени академика В.И.Ильича

НТБ
ДНУЖТ

2977a

Работа выполнена в Ленинградском ордена Ленина институте инженеров железнодорожного транспорта имени академика В.Н.Образцова.

Научный руководитель заслуженный деятель науки и техники, чл.-корр. АН СССР, профессор, доктор технических наук А.Е.Алексеев.

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук В.Ф.Табачинский,
лауреат Ленинской премии, кандидат физико-математических наук И.В.Грехов.

Ведущее предприятие Всесоюзный научно-исследовательский институт электромеханики.

Автореферат разослан "22" сентября 1967 г.

Защита диссертации состоится " " ноября 1967 г. на заседании объединенного совета факультетов Механического и Электрфикации железных дорог ЛИИЖТа по адресу: Ленинград, Московский пр., 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке.

Ученый секретарь совета
института
доцент, к.т.н. Г.Л.Болдырев

НДБ
ДНУЖТ

Одним из преимуществ электрификации дорог на однофазном токе промышленной частоты является возможность применения электровозов различных типов. Техническая реконструкция железнодорожного транспорта на базе внедрения электрической тяги переменного тока промышленной частоты показала наибольшую перспективность электроподвижного состава со статическими преобразователями. В этих условиях освоение мощных полупроводниковых выпрямителей открывает большие возможности.

Большой вклад в дело развития теории, технологии изготовления и применения полупроводниковых вентилей внесли работы советских ученых и инженеров. Наиболее крупные работы по теории вентилей выполнены В.М.Тучкевичем и Б.М.Вудом, по разработке промышленных образцов полупроводниковых выпрямительных агрегатов С.Б.Юдицким, А.А.Саковичем, Н.Х.Ситником и др.

В области применения полупроводниковых выпрямителей на электрифицированном транспорте необходимо отметить работы выполненные Всесоюзным научно-исследовательским институтом ж.д.транспорта и заводами НЭВЗ и РВЗ.

В настоящее время наибольшее распространение получили электровозы и электропоезда однофазно-постоянного тока, в которых нашли применение неуправляемые силовые полупроводниковые вентили. Так на железных дорогах Советского Союза успешно эксплуатируются электровозы переменного тока ВЛ-60, ВЛ-62, ВЛ-80, выпрямительные блоки которых выполнены на вентилях

отечественного производства.

Однако, технические условия, а также паспорта на вентили не содержат сведений, которые позволили бы определить степень использования вентилей и их работоспособность в различных условиях эксплуатации. Это привело к трудностям как при проектировании, так и при эксплуатации полупроводниковых преобразователей. Например, установленная мощность вентиля магистральных электровозов переменного тока типа ВЛ-60 превосходит номинальную мощность электровоза примерно в пять раз, что однако полностью не гарантирует надежную работу электровоза.

Параметры выпрямительных установок, как правило, определяются исходя из их номинального режима. Такой способ проектирования не гарантирует выбор оптимальных параметров выпрямительной установки, так как кремниевые вентили на электроподвижном составе работают в переменных режимах нагрузки, меняющихся в зависимости от профиля пути, скорости движения, состояния пути и т.д. Их определение может быть уточнено, если исходить из тепловых режимов вентиля в зависимости от нагрузок.

Исследования температурных режимов работы полупроводниковых вентиляей посвящены труды ряда отечественных и зарубежных специалистов: И.Е.Ефремова, П.Д.Давыдова, В.М.Тучкевича, В.Фауста и др. В этих работах освещаются вопросы разработки методики опытного определения температуры полупроводниковых вентиляей, а также методики расчета температуры р-п перехода по экспериментальным кривым внутреннего и внешнего тепловых сопротивлений. При этом решаются частные задачи, поскольку

не учитывается влияние температуры на изменение параметров полупроводникового вентиля. Кроме того, при расчетах режимов работы используются усредненные опытные данные не учитывающие технологического разброса параметров вентиляций.

Ввиду того, что тепловые сопротивления различных вентиляций могут отличаться друг от друга в несколько раз, полупроводниковые приборы даже при одинаковом токе нагрузки находятся в различных условиях работы. Это приводит к тому, что перегревы отдельных вентиляций могут значительно отличаться друг от друга. Естественно, что работоспособность выпрямительной установки в целом определяют вентили находящиеся в наихудших условиях работы.

В связи с этим настоящая работа ставит задачу решения следующих вопросов:

1. Исследовать температурную стабильность прямой ветви вольт-амперной характеристики силовых полупроводниковых вентиляций, работающих в установках тягового электропривода.

2. Решить вопрос расчетного определения установившегося и переходного теплового режима работы полупроводниковых вентиляций с учетом температурного изменения их вольт-амперных характеристик.

3. Исследовать тепловые режимы работы р-п перехода при резком изменении тока нагрузки и определить перегрузочную характеристику силовых вентиляций.

4. Наметить практическое решение вопроса, связанного с контролем и определением температуры р-п перехода вентиляций в устройствах тягового электропривода.

Реферируемая работа является частью большого комплекса

исследований, который проводится кафедрой "Электрические машины" ДИИЖТа. Работа изложена в четырех главах, краткое содержание которых приводится ниже.

Глава I. Исследование влияния температуры на параметры силовых полупроводниковых вентиляей

Электрические свойства полупроводникового вентиля зависят от теплового состояния р-п перехода. Повышение температуры вызывает увеличение обратного тока и изменение величины пробивного напряжения. Кроме того, при повышении температуры вентиля уменьшается величина прямого падения напряжения и может изменяться сопротивление, характеризующее наклон прямой ветви характеристики.

Строгий анализ физических явлений, происходящих в р-п переходе, позволяет установить аналитические выражения для различных участков прямой вольт-амперной характеристики вентиля. Однако, в связи со значительной сложностью этих зависимостей, в практической электротехнике прибегают к ее линейной аппроксимации. На рис. I представлены вольт-амперные характеристики силового полупроводникового вентиля при двух различных температурах ($\vartheta_2 > \vartheta_1$).

Положение аппроксимированной прямой ветви вольт-амперной характеристики определяется величиной отрезка, отсекаемого на оси абсцисс, представляющего собой пороговое напряжение U и наклоном характеристики пропорциональным динамическому

(дифференциальному) сопротивлению $\rho = \frac{u_n - U}{I_n}$ u_n - напряжение при номинальном токе I_n).

В этом случае напряжение на вентиеле для двух различных

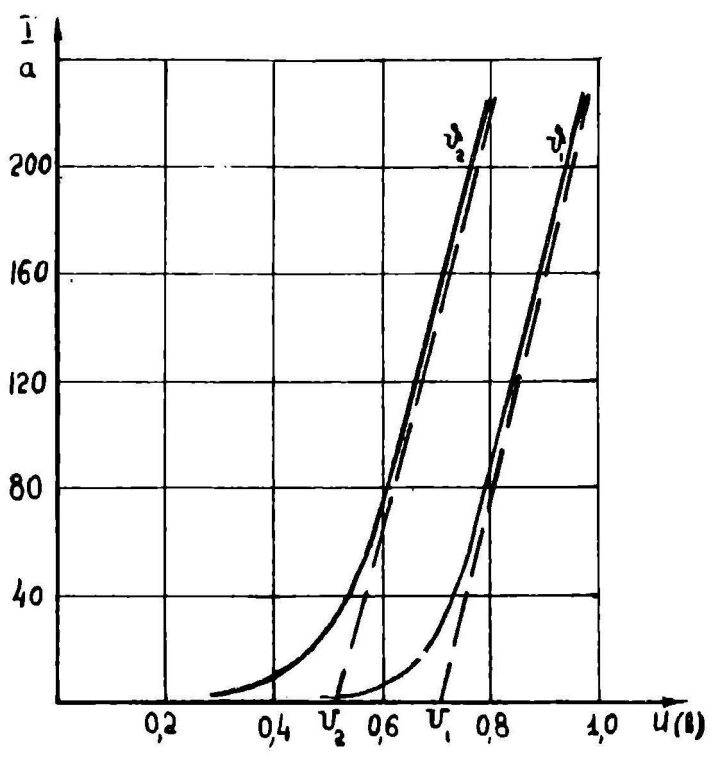


Рис.1

7
НТБ
ДНУЖТ

температур ($\vartheta_1 < \vartheta_2$) выражается следующим образом:

$$u_1 = U_1 + \rho_1 i \quad (I)$$

$$u_2 = U_2 + \rho_2 i$$

где U_1, U_2 - пороговые напряжения вентиля при температурах ϑ_1 и ϑ_2 (вольт);

i - ток вентиля (ампер);

ρ_1, ρ_2 - дифференциальные сопротивления при температурах ϑ_1 и ϑ_2 (в/а);

u_1, u_2 - напряжения на вентиле при температурах ϑ_1 и ϑ_2 (в).

При $\vartheta_1 = \vartheta_{0a}$, токе через вентиль i и повышении его температуры на $\theta = \vartheta_2 - \vartheta_1$ напряжение изменяется на величину Δu , которая на основании уравнения (I) равна:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = U_2 - U_1 + (\rho_2 - \rho_1) i \quad (2)$$

Принимая во внимание, что $\frac{U_2 - U_1}{\theta} = \xi_{\vartheta}$ - температурный коэффициент изменения порогового напряжения, а $\frac{\rho_2 - \rho_1}{\theta} = \xi_{\rho}$ - температурный коэффициент изменения дифференциального сопротивления, уравнение (2) запишется в следующем виде:

$$\Delta u = \xi_{\vartheta} \theta + \xi_{\rho} \theta i \quad (3)$$

Уравнение (3) представляет собой общее решение для определения изменения напряжения на вентиле при изменении его температуры. Из уравнения (3) видно, что на изменение величин падения напряжения на вентиле оказывают влияние величины ξ_{ϑ} и ξ_{ρ} . В каждом конкретном случае может обратиться в нуль как ξ_{ϑ} так и ξ_{ρ} .

НИИ
ДНУЖТ

Исследование различных силовых вентилях, показывает, что температурный коэффициент изменения порогового напряжения лежит в пределах $\xi_{\nu} = -(0,71 + 1,77) 10^{-3}$ в/град., а температурный коэффициент дифференциального сопротивления находится в пределах $\xi_{\rho} = (0 + 1,5) 10^{-6}$ в/а.град. Это свидетельствует о том, что влияние температуры на параметры различных вентилях типа ВКД-200 значительно отличаются друг от друга.

При расчете выпрямителей можно принять усредненные значения коэффициентов. При этом расчетное значение коэффициента $\xi_{\nu} = -1,45 10^{-3}$ в/град., а коэффициента $\xi_{\rho} = 0$.

Различают два вида вольт-амперных характеристик. К первому относятся характеристики, снимаемые при неизменной температуре р-п перехода (изотермические характеристики). Вторым видом представляют характеристики, точки которых определяются при неизменных условиях охлаждения вентиля после выдержки его при каждом значении тока до установления теплового режима.

С теоретической точки зрения наибольший интерес представляют изотермические характеристики вентилях. При этом знание температурных коэффициентов порогового напряжения и дифференциального сопротивления дает возможность оценить поведение вентилях в практических условиях эксплуатации.

Исследование вентилях типа ВКД-200 показало, что пороговые напряжения изотермических вольт-амперных характеристик при температуре 20°C лежат в пределах 0,7 + 0,82 вольта и нет определенной зависимости этого напряжения от среднего напряжения на вентиле при номинальном токе. За расчетное мож-

но принять напряжение равное 0,764 вольта. Наоборот, дифференциальное сопротивление имеет отчетливо выраженную зависимость от среднего падения напряжения при номинальном токе нагрузки, увеличиваясь при увеличении напряжения. Так для вентилях типа ВКД-200 группы А (до 0,5 вольта) за расчетное дифференциальное сопротивление можно принять величину $34 \cdot 10^{-5}$ в/а, для вентилях группы Б (до 0,6 вольта) - $83,6 \cdot 10^{-5}$ в/а, а для вентилях группы Г (до 0,7 вольта) - $194 \cdot 10^{-5}$ в/а.

Рассмотрим изменение электрических потерь р-п перехода при изменении его температуры. Как известно, величина потерь в полупроводниковом вентиале за период равна:

$$P = U \bar{I} + \rho (k \bar{I})^2 \quad (4)$$

где \bar{I} - средний ток вентиля (а),

$k = \frac{\bar{I}^2}{I^2}$ - коэффициент соотношения между эффективным и средним током.

В случае температурного изменения прямой ветви вольт-амперной характеристики величина потерь в р-п переходе при одинаковом токе нагрузки будет различна при различных температурах.

Нетрудно убедиться, что изменение потерь записывается в следующем виде:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = (\xi_v + \xi_p k^2 \bar{I}) \bar{I} \theta \quad (5)$$

где P_1 и P_2 - электрические потери в р-п переходе при температурах ϑ_1 и ϑ_2 (ватт).

Уравнение (5) представляет собой общее решение для определения изменения потерь в р-п переходе при изменении темпе-

ратуры полупроводниковых вентиляей. При изменении температуры на 100 - 120 градусов величина потерь может изменяться весьма значительно. Так исследования показали, что при изменении температуры на 120⁰С и токе нагрузки 200 ампер разнице между P_2 и P_1 может достигать более 20%.

Глава 2. Анализ температурных режимов работы силовых полупроводниковых вентиляей в схемах тягового электропривода

Перегрузочные способности силовых полупроводниковых вентиляей при различных условиях работы определяются главным образом характером тепловых процессов, протекающих в системе полупроводниковый вентиль - окружающая среда. Поэтому при решении ряда вопросов, связанных с перегрузками, необходимо знать температуру р-п перехода вентиля.

При анализе процессов нагревания и охлаждения полупроводниковый вентиль может рассматриваться как сложное тело, так как тепловые параметры кремния, вольфрамовых дисков, корпуса и радиатора неодинаковые. Нагрев вентиля происходит не только за счет потерь, выделяющихся в р-п переходе, но и за счет потерь в толще кремния и в токоведущих частях. Кроме того, тепловые параметры вентиля могут изменяться при изменении температуры.

Учет всех факторов значительно усложняет анализ процесса. Однако с достаточной для практических целей точностью можно применять уравнения нагревания, выведенные при делении полупроводникового вентиля на несколько однородных тел, нагрев которых происходит за счет выделения потерь в р-п переходе.

Для упрощения принимаем, что коэффициенты теплоотдачи от поверхности и величины теплоемкости тел не зависят от их температуры. Температура каждого из однородных тел принимается одинаковой для всего тела и его поверхности.

Как было показано раньше при нагревании изменяется величина потерь в р-п переходе. В связи с этим уравнения нагревания записываются в виде:

$$P_1 dt + (\xi_v + \xi_p k^2 I) I \theta_1 dt + (\xi_v + \xi_p k^2 I) I \theta_2 dt = C_1 d\theta_1 + \alpha_1 F_1 \theta_1 dt \quad (6)$$

$$\alpha_1 F_1 \theta_1 dt = C_2 d\theta_2 + \alpha_2 F_2 \theta_2 dt \quad (7)$$

где $P_1 dt$ - энергия электрических потерь, выделяемая в р-п переходе за время dt при температуре $\psi_1 = \psi_{0_1}$

$(\xi_v + \xi_p k^2 I) I \theta_1 dt$ - энергия электрических потерь в р-п переходе за время dt при изменении температуры переходе на θ_1

$(\xi_v + \xi_p k^2 I) I \theta_2 dt$ - энергия электрических потерь в р-п переходе за время dt при изменении температуры переходе на θ_2

C_1 - теплоемкость р-п перехода

C_2 - теплоемкость корпуса и радиатора

F_1 - теплоотводящая поверхность р-п перехода

F_2 - теплоотводящая поверхность корпуса и радиатора

α_1 - коэффициент теплоотдачи от р-п перехода к корпусу

ИТБ
ДНУЖТ

- α_2 - коэффициент теплоотдачи радиатора
- $\theta_1 = \vartheta_n - \vartheta_k$ - разность температур между р-н переходом и корпусом
- $\theta_2 = \vartheta_k - \vartheta_{об}$ - разность температур между радиатором и охлаждающей средой

Вводим следующие обозначения: $A = (\varepsilon_{\nu} + \varepsilon_{\rho} \kappa^2 \bar{I}) \bar{I}$

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_1 F_1}, \quad T_1 = \frac{C_1}{\alpha_1 F_1}$$

$$R_2 = \frac{1}{\alpha_2 F_2}, \quad T_2 = \frac{C_2}{\alpha_2 F_2}$$

Решение системы дифференциальных уравнений (II-I2)

имеет вид:

$$\theta_1 = \frac{P_1 R_1}{1 - A(R_1 + R_2)} \left[1 + \frac{m_2}{m_1 - m_2} (1 + m_1 T_2) e^{m_1 t} + \frac{m_1}{m_2 - m_1} (1 + m_2 T_2) e^{m_2 t} \right] \quad (8)$$

$$\theta_2 = \frac{P_1 R_2}{1 - A(R_1 + R_2)} \left[1 + \frac{m_2}{m_1 - m_2} e^{m_1 t} + \frac{m_1}{m_2 - m_1} e^{m_2 t} \right] \quad (9)$$

где

$$m_{1,2} = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} - \frac{AR_1}{T_1} \right) \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} - \frac{AR_1}{T_1} \right)^2 - \frac{1 - A(R_1 + R_2)}{T_1 T_2}} \quad (10)$$

Исследования показали, что с достаточной степенью точности можно принять:

$$m_1 = -\frac{1}{T_1}, \quad m_2 = -\frac{1}{T_2} \quad (11)$$

В этом случае уравнения (8-9) записываются в виде:

$$\theta_1 = \frac{P_1 R_1}{1 - A(R_1 + R_2)} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) \quad (12)$$

$$\Theta_2 = \frac{P_1 R_2}{1 - A(R_1 + R_2)} \left[1 - \frac{1}{T_1 - T_2} \left(T_1 e^{-\frac{t}{T_1}} - T_2 e^{-\frac{t}{T_2}} \right) \right] \quad (13)$$

Таким образом, получены уравнения нагревания при учете влияния температуры на изменение характеристики вентиля (12-13). Полученные уравнения отличаются от общеизвестных уравнений нагревания наличием дроби $\frac{1}{1 - A(R_1 + R_2)}$. Проверка полученных уравнений показала хорошую сходимость расчетных и опытных кривых.

Глава 3. Экспериментальное исследование температурных режимов работы неуправляемых вентилялей

Для измерения температуры р-п перехода использовалась зависимость $U_n = f(\nu)$ полученная при постоянной величине измерительного тока, пропускаемого по вентилю в прямом направлении. При этом, на основании проводившихся исследований была разработана схема и методики измерения температуры.

Исследование перегрузочных характеристик вентилялей типа ВКД-200 показало, что при длительности их включения 0,02 секунды вентили нагреваются из холодного состояния до температуры 140°C током находящимся в пределах от 1220 до 2500 ампер. В таблице I сведены результаты исследования около 50 вентилялей ВКД-200. Все исследования проводились в схеме однополупериодного выпрямления при активной нагрузке, температуре окружающего воздуха 20°C и принудительном охлаждении при скорости охлаждающего воздуха 15 м/сек.

Таблица I

	t = 0,02 сек	t = 0,1 сек	t = 1 сек	t = 10 сек	t = 100 сек
	I	I	I	I	I
	a	a	a	a	a
I_{max}	2500	1930	1180	610	340
I_{cp}	1820	1230	755	465	280
I_{min}	1220	920	560	320	220

Одной из задач исследования являлось определение характера изменения температуры вентиля при резком изменении тока нагрузки через различные интервалы времени после начала процесса. Этим было обусловлено исследование процесса нагревания при различной начальной температуре вентиля. Исследования показали, что при нагревании предварительно подогретого вентиля изменение температуры р-п перехода происходит с несколько большей скоростью, чем при нагревании из холодного состояния.

Анализ теплового режима работы полупроводниковых вентиляей, приведенный выше, позволил получить уравнение нагревания р-п перехода с учетом температурного изменения его вольт-амперной характеристики. На основании этого анализа получено уравнение для определения теплового сопротивления вентиля:

$$R_T = \frac{\theta}{P + A\theta} \quad (14)$$

В таблице 2 собраны результаты исследования тепловых сопротивлений полупроводниковых вентиляей при принудительной

вентиляции. В таблице 2 мощность P_I была вычислена по вольт-амперной характеристике вентиля при температуре охлаждающего воздуха равной 20 градусам. Перегрев θ является превышением температуры р-п перехода над температурой охлаждающей среды. Перегрев θ_1 соответствует превышению температуры р-п перехода над корпусом вентиля, а θ_2 - превышение температуры корпуса над охлаждающей средой. Поэтому тепловое сопротивление R_1 представляет собой внутреннее сопротивление, R_2 - внешнее, а R_T - полное тепловое сопротивление вентиля. Из таблицы 2 видно, что расхождение внутренних сопротивлений отдельных вентилях лежит в пределах $0,08 \pm 0,37$ град/ватт. За расчетную величину внутреннего теплового сопротивления можно принять величину равную 0,15 град/ватт. За расчетную величину внешнего теплового сопротивления можно принять величину равную 0,26 град/ватт.

Таблица 2

	I	P_I	θ	θ_1	θ_2	R_T	R_1	R_2
	а	вт	град	град	град	гр/вт	гр/вт	гр/вт
1	205	248	78	25	55	0,361	0,121	0,240
2	205	222	65	18	47	0,332	0,087	0,245
3	205	247	124	74	50	0,620	0,370	0,250
4	204	248	72	21	51	0,334	0,107	0,227
5	204	285	114	34	70	0,524	0,200	0,324
6	204	247	78	33	45	0,362	0,132	0,230
7	204	282	118	38	80	0,580	0,220	0,330

Исследования показали, что тепловое сопротивление вен-

тля величина независящая от тока нагрузки и температуры. При расчетном определении теплового сопротивления необходимо учитывать изменение потерь электрической энергии в р-п переходе при его нагревании.

Глава 4. Исследование температурных режимов работ
полупроводниковых вентилей в схемах тяго-
вого электропривода

2947a

При проектировании промышленных выпрямительных установок исходят из того, что все полупроводниковые вентили имеют одинаковые параметры и находятся в одинаковых условиях работы. В действительности же этого нет. При одинаковом среднем токе нагрузки в различных вентилях одной и той же группы выделяются различные потери. Кроме того у различных вентилей наблюдаются сильно отличающиеся тепловые сопротивления. Если выделяемые р-п переходом потери могут отличаться на 10-20%, то различие тепловых сопротивлений достигает 200-300%.

В этом случае полупроводниковые вентили одного класса и группы в промышленной установке разогреваются до различной температуры. При этом перегревы вентилей стоящих в одной последовательной цепи могут отличаться в несколько раз. Естественно, что вентили имеющие разницу в величине перегревов находятся в различных температурных условиях работы. Чем меньше будет температура наихудшего вентиля, тем больше перегрузки может выдержать выпрямитель в целом. При этом удаление нескольких вентилей с большими тепловыми сопротивлениями, может значительно повысить надежность выпрямительной установки включающей собою устройства силовых приборов.

Кроме того, возможность контроля температуры р-п переходов может решить целый ряд вопросов экономического характера, связанных с выбором количества вентиляей. Контроль температуры вентиляей в промышленных установках может быть решен с помощью специального прибора измеряющего температуру р-п перехода. В реферируемой работе приводится описание электрической схемы и принципа действия прибора для измерения температуры вентиляей типа ВКД-200, разработанного в научно-исследовательской лаборатории электрической тяги на переменном токе кафедры "Электрические машины" ЛИИЖТа.

Электрическая схема прибора (рис.2) выполнена на шести триодах $T_1 + T_6$, диодах $D_1 - D_2$, сопротивлениях $I + I5$, емкостях $C_1 + C_4$. Схема включает разделительный трансформатор Tr и вольтметр V . При помощи переключателя Π схема может быть подключена на калиброванное сопротивление Z , или на исследуемый вентиль ИВ. Для защиты прибора от напряжения силовой цепи необходим вентиль ВВ.

Работа схемы основана на том, что при открытии триода T_1 срабатывает мультивибратор (триоды $T_2 + T_3$), связанный с триодом T_1 емкостью C_3 . Время, необходимое для запуска, измеряется несколькими десятками микросекунд. Поэтому электрическая схема позволяет измерять падение напряжения на вентиеле, пропуская по нему в непроводящий период импульс тока прямоугольной формы. Вследствие этого шкала вольтметра стоящего в измерительной цепи используется для измерения температуры силовых полупроводниковых вентиляей.

Разработанный и выполненный образец является прибором, предназначенным для измерения температуры р-п переходов си-

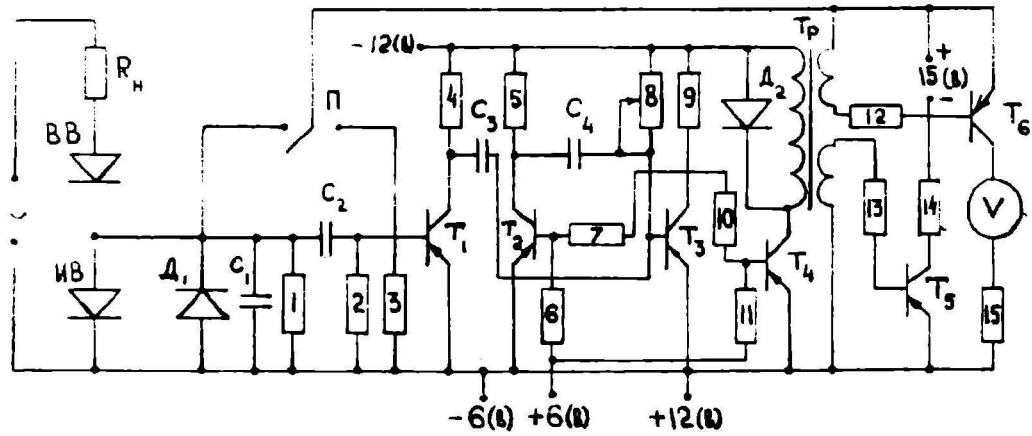


Рис. 2

НТБ
ДНУЖТ

ловых полупроводниковых вентилях в установившихся режимах работы. При этом прибор позволяет производить измерение температуры р-п переходов при наличии последовательного соединения не менее двух вентилях в цепи. Выполнение прибора позволяет измерять температуру силовых полупроводниковых вентилях во всех общепринятых схемах независимо от характера нагрузки.

Принцип действия прибора заключается в измерении прямого падения напряжения от тока, протекающего по вентилю в непроводящий период его работы.

Прибор позволяет производить измерение температуры вентилях без их предварительной градуировки. При этом максимальная возможная погрешность не превышает 10°C . Наиболее вероятная погрешность измерения лежит в пределах 6°C . Исследование вентилях показывает, что погрешность измерения 84% всего количества вентилях не превышает 6°C . Такая точность вполне пригодна для практического использования прибора.

Исследование 32 силовых вентилях типа ВКД-200 показало, что при токе нагрузки 200 ампер и принудительной вентиляции 15 м/сек наиболее вероятное значение температуры р-п переходов лежит в пределах 105°C при температуре охлаждающего воздуха 25°C . Таким образом, наиболее вероятный перегрев в этом режиме работы составляет 80°C . Лишь отдельные вентили могут нагреваться током 200 ампер до температуры 140°C и выше, что составляет перегрев более 115°C . Небольшое количество вентилях перегревается всего на 50°C .

ВЫВОДЫ

По полученным результатам можно сделать следующие выводы.

1. Анализ нагревания вентиля показывает, что при определении теплового состояния р-н переходе необходимо учитывать влияние температуры на изменение его вольт-амперной характеристики.

Исследование вентиля типа ВКД-200 показало, что температурный коэффициент изменения порогового напряжения лежит в пределах $-(0,7 + 1,8) \cdot 10^{-3}$ вольт/град. При этом у большинства вентиля изменение температуры р-н перехода не вызывает изменения наклона характеристики. Поэтому при практических расчетах можно принять усредненный коэффициент изменения порогового напряжения равный $-1,45 \cdot 10^{-3}$ вольт/град, пренебрегая изменением наклона характеристики.

2. Теоретический анализ теплового состояния силовых полупроводниковых вентилях позволил получить уравнение нагревания, которое дает возможность определить как общее превышение температуры р-н переходе над температурой окружающей среды, так и превышение температуры отдельных элементов с учетом изменения вольт-амперной характеристики вентиля, вызванной изменением его температуры.

Экспериментальная проверка полученного уравнения показала его полную пригодность для инженерных методов расчета преобразовательных установок и выбора необходимого количества вентилях в них.

3. Исследования показали, что тепловое сопротивление ве-

личина постоянная независимая от тока нагрузки. Однако само тепловое сопротивление различных вентилях может значительно отличаться друг от друга. Так внутреннее тепловое сопротивление находится в пределах $0,07 + 0,40$ град/ватт. Для расчетов можно принять среднее тепловое сопротивление равное $0,15$ град/ватт.

4. Разработана электрическая схема измерения температуры р-п переходов, которая легла в основу прибора для определения температуры силовых полупроводниковых вентилях типа ВКД-200, работающих в любых выпрямительных установках.

Прибор, изготовленный в лаборатории электрической тяги кафедр "Электрические машины" ЛИИЖТа, позволяет производить измерение температуры вентилях без их предварительной градуировки. Максимальная возможная погрешность при этом не превышает 10°C . Исследование вентилях показало, что погрешность измерения 84% всего количества вентилях не превышает 6°C . Такая точность вполне достаточна для практического использования прибора.

5. Исследование работы силовых полупроводниковых вентилях типа ВКД-200 показало, что при среднем токе нагрузки 200 ампер и принудительной вентиляции 15 м/сек наиболее вероятное значение температуры лежит в пределах 105°C при температуре охлаждающего воздуха 25°C . Следовательно, наиболее вероятный перегрев вентилях в этом режиме работы составляет 80°C . Но так как отдельные вентилях могут нагреваться током 200 ампер до температуры 140°C и выше, что составляет перегрев более 115°C . то необходима экспериментальная проверка выбранных режимов работы с отбраковкой вентилях, имеющих

большое тепловое сопротивление. Такая проверка может быть осуществлена при помощи прибора для измерения температуры вентиляей.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Байко В.Ф., Гришуков Л.С., Калашников Г.А. и Архипова И.В. Способ определения температуры запирающего слоя полупроводниковых вентиляей. Авторское свидетельство № 180379.

2. Байко В.Ф., Гришуков Л.С., Калашников Г.А. и Архипова И.В. Устройство для измерения температуры запирающего слоя полупроводниковых вентиляей. Авторское свидетельство № 180380.

3. Алексеев А.Е., Гришуков Л.С., Архипова И.В. и Сербин В.Т. Исследование перегрузочной способности силовых полупроводниковых вентиляей. Сб. трудов ЛИИЭТа, вып.253, 1966.

4. Гришуков Л.С. Исследование работы силовых кремниевых вентиляей в промышленных установках. Сб. трудов ЛИИЭТа, вып.261, 1967.

Подписано к печати 12.IX.1967 г. Уч.-изд.л. 0,9
М. I4786. Заказ Тираж 150 экз. Бесплатно

РТН ЛИИЭТа, Ленинград, Московский пр.,9.