

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ ТОКА СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ В ОТКРЫТОМ СОСТОЯНИИ

Беспалов Н.Н., Зинин С.А.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск,
Научно-производственное предприятие «Электронная техника – МГУ», г. Саранск
Тел.: (834-2) 24-17-77, 24-37-05. Электронная почта: ka-mgu@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается принцип работы аппаратно-программного комплекса для определения критической скорости нарастания тока силовых тиристорov в открытом состоянии.

Ключевые понятия: тиристор, скорость нарастания тока, надежность, диагностическая аппаратура.

Annotation. In the article the principle of operation of a hardware-software complex for definition of critical speed of increase of a current of power thyristors in the open condition is esteemed.

Key words: thyristor, rate of rise, reliability, diagnostic complex

Постановка задачи

Надежность преобразователей электрической энергии при эксплуатации в большой степени определяется качеством силовых тиристорov (СТ), а также качеством реализации силовой схемы. Исходное качество СПП должны обеспечивать их изготовители, а качество реализации силовой схемы преобразователя обеспечивается при комплектовании его СТ и настройке.

Одним из характеризующих параметров перегрузочной способности СТ является критическая скорость нарастания тока СТ в открытом состоянии $(di_T / dt)_{crit}$ [1]. Это связано с тем, что процесс включения тиристорной структуры (ТС) при подаче управляющего импульса происходит вблизи управляющего электрода в области первоначального включения (ОПВ) и характеризуется значительным выделением мощности на свободных от металлизации участках n -эмиттера, что при определённых условиях может привести к разогреву этого участка до температуры, превышающей точку плавления кремния (1412 °С), и СТ выйдет из строя. Для обеспечения надёжной работы СТ требуется ограничение на этапе включения величины выделенной энергии потерь, которая зависит от скорости нарастания тока в открытом состоянии.

Согласно [2] проверку критической скорости нарастания тока в открытом состоянии $(di_T / dt)_{crit}$ проводят в испытательном контуре путем пропускания через СТ токового импульса с амплитудой не менее двойного максимально допустимого среднего тока в открытом состоянии. Прибор считается выдержавшим испытание, если не произошло параметрического отказа. Определение $(di_T / dt)_{crit}$ связано с риском выхода из строя СТ при испытании, поэтому предприятия-изготовители устанавливают гарантированные значения $(di_T / dt)_{crit}$, которые равны минимальному значению, полученному в процессе испытаний нескольких партий приборов данного типа. При этом подбор приборов по группам критической скорости нарастания тока в открытом состоянии $(di_T / dt)_{crit}$ не производится. Испытания по [2] позволяют определять только минимальную величину $(di_T / dt)_{crit}$ проверяемой партии приборов, при этом занижаются потенциальные возможности отдельных приборов в виду того, что приборам, обладающим более высокой стойкостью к скорости нарастания тока в открытом состоянии di_T / dt , заводом-изготовителем выставляется минимальное гарантированное значение, полученное при испытании партии приборов. Таким образом, потенциальные возможности отдельных СТ остаются

неопределенными, что в конечном итоге определяет надежность их работы в преобразователях электрической энергии.

Метод решения

Исследования причин отказов СТ [3–5] показывают, что локальность процесса включения ТС током управления обуславливает на этапах нарастания тока и установления стационарного состояния выделение в ОПВ переходной электрической энергии потерь. В зависимости от величины выделенной энергии температура включенной области может существенно повышаться. Таким образом, электрические и тепловые процессы при включении ТС взаимосвязаны, так как электрофизические параметры зависят от температуры, которая, в свою очередь, также определяется переходной электрической энергией потерь в ОПВ.

Обеспечение надежности СТ, использующихся в преобразовательных устройствах при повышенных значениях di_T/dt , достигается увеличением тем или иным способом размеров площади первоначального включения (ППВ) S_0 ОПВ. Размеры ППВ ОПВ конкретных СТ одного типа зависят не только от геометрических размеров УЭ, но и от различных внешних и внутренних факторов, влияющих на процесс формирования включенного состояния. К первым относятся параметры тока управления: амплитуда тока I_{GM} , длительность и скорость di_G/dt его нарастания, напряжение на СТ в закрытом состоянии U_{DM} . Ко вторым относятся различные технологические нарушения и дефекты полупроводниковой структуры и металлизации в области УЭ. Технологические нарушения и дефекты определяют и величины параметров вольтамперной характеристики (ВАХ) УЭ СТ. ППВ S_0 определяет надежность работы СТ в режимах, характеризующимися высокими скоростями нарастания тока di_T/dt , поэтому ее определение является актуальной задачей в процессе построения аппаратуры и методики для определения критической скорости нарастания $(di_T/dt)_{crit}$.

Прямого метода определения $(di_T/dt)_{crit}$ в промышленности не существует. Косвенный же метод должен основываться на объективной оценке параметров ОПВ. Наиболее информативным параметром, характеризующим размеры включенного состояния, является ППВ (S_0) [2-7]. Рассмотрим принцип определения величины ППВ S_0 .

Наиболее объективно оценивать величину ППВ S_0 по параметрам процесса включения на активную нагрузку R в режиме высоких уровней инжекции носителей и при достижении на этапе нарастания тока в открытом состоянии дрейфовых скоростей насыщения электронов (v_{ns}) и дырок (v_{ps}). Для этого нами предлагается определять величину энергии потерь $A_{T|t_k}$, выделяющейся в ТС к моменту времени t_k . Величина t_k выбрана равной 2 мкс [6], так как до этого момента времени величину ППВ S_0 можно считать постоянной. Величина энергии потерь $A_{T|t_k=2.мкс}$ определяется как:

$$A_{T|t_k=2.мкс} = \int_0^{t_k} i_T u_T dt = I_{max} U_{DM} \tau_{BB} \left[e^{-\frac{t}{\tau_{BB}}} \left(0,5 e^{\frac{t}{\tau_{BB}}} - 1 \right) + 0,5 \right], \quad (2)$$

где I_{max} – максимальный ток в открытом состоянии, U_{DM} – напряжение на СТ в закрытом состоянии, $\tau_{BB} = \frac{W^3}{12 \varepsilon \varepsilon_0 v_{ns} v_{ps} S_0 R}$ – постоянная нарастания тока, зависящая от ППВ, где ε – относительная диэлектрическая проницаемость кремния; ε_0 – диэлектрическая проницаемость

вакуума; v_{ns} и v_{ps} – дрейфовые скорости насыщения, соответственно, электронов и дырок в кремнии; W – суммарная толщина баз ТС.

В работе [6] нами предложена методика по определению ППВ S_0 . Данная методика предусматривает предварительный расчет зависимости ППВ S_0 от величины энергии потерь $A_{T|t_k=2.мкс}$ по формуле (2). Расчет производится при сопротивлении нагрузки $R=20$ Ом. Выбор такого сопротивления нагрузки связан с обеспечением необходимой плотности анодного тока $J_A=(2-5)$ А/мм², при которой реализуются высокие уровни инжекции в обеих базах. Такая плотность анодного тока достигается при относительно небольших значениях тока в открытом состоянии $I_T=(20-100)$ А, что обеспечивает возможность определения ППВ S_0 в специальном неразрушающем режиме. Полученная зависимость $A_{T|t_k=2.мкс} = f(S_0)$ для конкретного типа прибора вносится в базу данных, хранящуюся на жестком диске персонального компьютера (ПК).

Далее в тестовом испытательном контуре по параметрам переходного процесса включения СТ к моменту времени $t_k=2$ мкс экспериментально определяется величина энергии потерь $A_{T|t_k=2.мкс}^*$, величина которой сравнивается с рассчитанной и запомненной зависимостью $A_{T|t_k=2.мкс} = f(S_0)$. При сравнении значений этих величин определяется величина ППВ S_0 .

Для реализации этого принципа разработан аппаратно-программный комплекс «АДИП-7», функциональная схема которого представлена на рис. 1, где СБ – силовой блок; БУ – блок управления; ДН – делитель напряжения; ИТ – испытуемый тиристор; БСС1 и БСС2 – блоки согласования сигналов; ПС – плата сопряжения; ПК – персональный компьютер; КМ – компьютерный монитор.

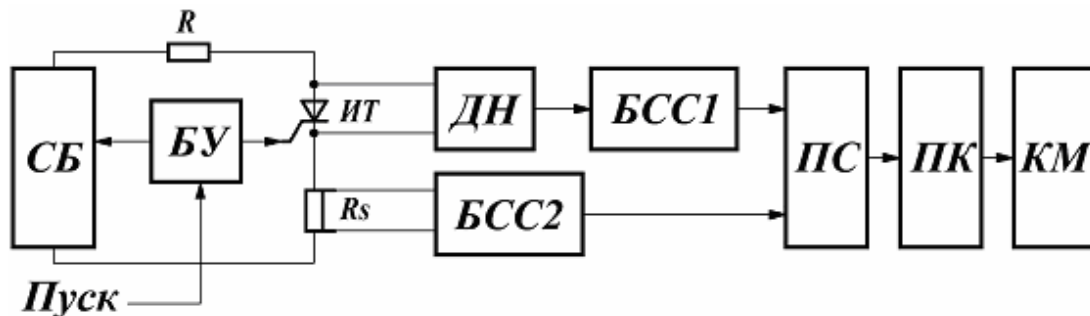


Рис. 1. Функциональная схема устройства для определения параметров силовых тиристорov при включении.

Для определения $A_{T|t_k=2.мкс}^*$ испытуемый тиристор помещается в тестовый испытательный контур комплекса «АДИП-7», где происходит измерение параметров переходного процесса при включении тиристора: тока тиристора в открытом состоянии i_T и напряжения на тиристоре в открытом состоянии u_T . Полученные значения i_T и u_T при помощи платы сопряжения NI PCI-6251 передаются для обработки в ПК. Обработка результатов происходит в среде виртуального графического программирования LabView, где рабочая программа производит необходимые расчеты, после чего на экран ПК выводится значение энергии потерь $A_{T|t_k=2.мкс}^*$, полученной в результате измерения параметров переходного процесса в тестовом испытательном контуре при включении СТ к моменту времени t_k . После этого происходит программное сравнение величины энергии потерь $A_{T|t_k=2.мкс}^*$ со значениями энергии потерь $A_{T|t_k=2.мкс}$ теоретически рассчитанной по формуле (2) зависимости $A_T = f(S_0)$. При математическом равенстве значений $A_{T|t_k=2.мкс}^*$ и $A_{T|t_k=2.мкс}$ на экран ПК выводится значение аргумента S_0 , соответствующее экспериментально

определенной в тестовом испытательном контуре величине $A_{T|t_k=2\text{ мкс}}^*$ к моменту времени $t_k=2\text{ мкс}$.

В работе [7] получена аналитическая формула для оценки критической скорости нарастания тока в открытом состоянии $(di_T/dt)_{crit}$:

$$\left(\frac{di_T}{dt}\right)_{crit} = \frac{h_{nэ} S_0 \lambda}{X_0 (a_n - 1)} \sqrt{\frac{3\Delta T_{hscrit} c \rho \lambda}{\rho_{nэ} (a_n - 1)}}, \quad (3)$$

где $\lambda \approx V_r / X_0$ 1/мкс – параметр, характеризующий распространение включенного состояния, V_r – радиальная скорость распространения включенного по площади полупроводниковой структуры СТ, $a_n = L_n / X_0$, X_0 – эффективная ширина ОПВ; L_n – ширина открытого участка n -эмиттера, c – удельная теплоемкость кремния, ρ – плотность кремния, $\rho_{nэ}$ – удельное сопротивление кремния, $h_{nэ}$ – эффективная толщина n -эмиттера.

Используя формулу (3) и полученное при испытании значение ППВ S_0 , рабочая программа комплекса «АДИП-7» производит оценочный расчет критической скорости нарастания $(di_T/dt)_{crit(ou)}$ и выводит полученное значение на экран монитора ПК. Таким образом, по оценочной величине $(di_T/dt)_{crit(ou)}$ можно подбирать партии приборов по стандартным группам критической скорости нарастания тока $(di_T/dt)_{crit}$ в открытом состоянии.

Заключение

Данный подход к определению группы $(di_T/dt)_{crit}$ СТ, реализованный в аппаратно-программном комплексе «АДИП-7» позволяет более объективно определять возможности конкретного прибора для обеспечения безотказной работы в режимах, характеризующихся высокими значениями скорости нарастания di_T/dt , что обеспечит уменьшение числа их отказов и повышение надежности преобразователей на их основе.

Литература

1. Чебовский, О. Г. Испытания силовых полупроводниковых приборов / О. Г. Чебовский, Л. Г. Моисеев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 200 с.
2. ГОСТ 24461 – 80 (СТ СЭВ 1656 - 79). Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний. М.: Издательство стандартов, 1981. 56 с.
3. Беспалов, Н. Н. Причины отказов силовых тиристоров в режимах включения с высокими значениями скорости нарастания тока в открытом состоянии / Н. Н. Беспалов // Силовая электроника, №2, С-Пб., 2005. – С. 44-46.
4. Беспалов, Н. Н. Путь повышения надежности силовых тиристоров, использующихся при высокой скорости нарастания тока в открытом состоянии / Н. Н. Беспалов, Ю. М. Голембиовский, М. Н. Байбиков // Саратов: Вестник СГТУ, 2006, № 6. – С. 74-79.
5. Беспалов, Н. Н. Экспериментальное исследование площади начального включения и потерь в тиристорах при включении по цепи управления / Н. Н. Беспалов, Е. М. Гейфман // «Электротехника». – № 1, М., 1995. – С. 19–21.
6. Беспалов, Н. Н. Устройство для определения параметров тиристоров при включении / Н. Н. Беспалов, С. А. Зинин // Материалы XIII научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов МГУ имени Н. П. Огарева. Ч. 2. – Саранск: Изд-во Морд. ун-та, 2008. – С. 254–258.

7. Беспалов, Н. Н. Методы и аппаратура для определения качества включения силовых тиристоров при групповом соединении: Автореф: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2000. – 24 с.

HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM TO DETERMINE THE CRITICAL RATE OF CURRENT RISE OF POWER THYRISTORS IN THE OPEN STATE

Nikolay N. Bepalov, Sergey A. Zinin
Mordovian N. P. Ogarev state university,
Scientific-production enterprise “Electronic technics — MSU”, Saransk
Phone: (834-2) 24-17-77, 24-37-05. E-mail: ka-mgu@mail.ru

Сведения об авторах

Беспалов Николай Николаевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой автоматики Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева, e-mail: bnn48@mail.ru

Зинин Сергей Алексеевич – аспирант Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, научный руководитель – Беспалов Николай Николаевич, e-mail: fetovetz@rambler.ru