DOI: 10.17117/na.2015.11.03.130

<http://ucom.ru/doc/na.2015.11.03.130.pdf>

Поступила (Received): 30.11.2015

Евишев А.В., Зорькин А.В. **Обзор инверторов напряжения для железнодорожного** **транспорта, реализованных на основе группового** **последовательного соединения силовых** **полупроводниковых приборов**

Evishev A.V., Zorkin A.V.

The review of the inverters of tension for railway transport
realized on the basis of group consecutive connection
of power semiconductor devices

Объектом рассмотрения данной статьи являются инверторы тока, на основе группового последовательного соединения силовых полупроводниковых приборов. В данной статье приведены схемы включения полупроводниковых приборов инверторных силовых устройств электроники. Обозреваются режимы работы, функции реализуемые данным устройством, технические параметры, и полупроводниковые приборы на основе которых было изготовлено данное устройство электроники

Ключевые слова: силовой полупроводниковый прибор, инвертор, преобразователь электрической энергии, тиристор, групповое последовательное соединение

The object of this article are the current inverter, on the basis of group sequential connection of power semiconductor devices. This article describes the wiring diagrams of semiconductor devices of the inverter power devices electronics. Consider modes of operation, features implemented in this device, the technical parameters and semiconductor devices on the basis of which it was made the device electronics

Key words: power semiconductor device, inverter, converter of electric energy, tiristor, group consecutive connection

Евишев Алексей Владимирович

Аспирант

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
г. Саранск, ул. Б. Хмельницкого, 39

Evishev Alexey Vladimirovich

Graduate

National research Mordovia state university named N.P. Ogarev
Saransk, B. Hmelnitsky st., 39

Зорькин Александр Владимирович

Магистрант

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева
г. Саранск, ул. Б. Хмельницкого, 39

Zorkin Alexsander Vladimirovich

Master

National research Mordovia state university named N.P. Ogarev
Saransk, B. Hmelnitsky st., 39

С развитием транспорта, энергетики и промышленности преобразователи электрической энергии на базе силовых полупроводниковых приборов (СПП),

такие как, выпрямительные установки и выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП), нашли широкое применение в различных отраслях, в первую очередь на железнодорожном транспорте [1].

Устройство, преобразующее постоянный ток в переменный называется инвертором. Примером инвертора, используемого в силовой электронике, служит ВИП – 4000 МУХЛ2 (выпрямительно-инверторный преобразователь), рассчитанного на выходную мощность 4000 кВт и изготовленного на заводе ОАО Электровыпрямитель (г. Саранск). Данный преобразователь, предназначен для выпрямления однофазного переменного тока в постоянный, и наоборот, (в режиме рекуперативного тормоза) с частотой 50 Гц. Такой ВИП используется для питания тяговых электродвигателей двигателей магистральных электровозов ВЛ – 85.

ВИП – 4000 МУХЛ2 имеет следующие технические характеристики:

- номинальное входное напряжение – 1570 В;
- номинальное выходное напряжение – 1400 В;
- максимальный пусковой выходной ток – 3150 А.

В комплект для установки на электровоз входят четыре выпрямительно-инверторных преобразовательных блока с системой формирования импульсов и блок конденсаторов [2, 3]. Силовая конструкция выполнена из четырех параллельных ветвей по два соединенных последовательно тиристора. Схема ВИП показана на рис. 1. Для того чтобы напряжение равномерно распределялось, по последовательно соединенным тиристорам, в цепь включены шунтирующие резисторы. Также в схеме используются RC -цепи подключенные параллельно к тиристорам, такое включение приборов обеспечивает ограничение внутренних коммутационных перенапряжений. В цепях ВИП наблюдается неравномерное распределение тока по параллельным ветвям. Для решения этой задачи применяются индуктивные делители, а также подбираются последовательно соединенные тиристоры по суммарному падению напряжения при двух значениях тока: предельном и половине от предельного [4].

Рис. 1. Электрическая принципиальная схема включения ВИП

В силовой схеме данной установки используется низкочастотный тиристор Т353 – 800 – 28 – 80 УХЛ2, рассчитанный на средний прямой ток 800 А, 28 класса. Данный прибор выполнен в металлокерамическом корпусе, по прижимной технологии, что обеспечивает высокую стойкость к циклическим нагрузкам.

Данный прибор обладает следующими техническими характеристиками:

- повторяющееся импульсное обратное напряжение $U_{RRM} = 2800$ В;
- повторяющийся импульсный обратный ток $I_{RRM} = 70$ мА;
- средний прямой ток $I_{TAV} = 800$ А.

В железнодорожной промышленности инверторы используются как на подвижной части, так и на подстанциях [5]. Инвертор для системы тягового электропитания И-ПТП – 1,6к – 3,8к – 50 – УХЛ4 (инвертор постоянного тока трёхфазный с принудительным воздушным охлаждением) производится на предприятии ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» (г. Санкт-Петербург). Данное устройство предназначено для передачи из контактной сети постоянного тока в питающую сеть переменного тока избыточную энергию, возникающую в режиме рекуперации на тяговых подстанциях магистральных железных дорог и для обеспечения безопасного электрического торможения электровозов на спусках [6].

Инвертор имеет следующие технические характеристики:

- номинальный инвертируемый ток – 1,6 кА;
- номинальная инвертируемая мощность – 6000 кВт;
- номинальное напряжение на стороне постоянного тока – 3,8 кВ.

Силовое оборудование инвертора для системы тягового электропитания размещено в двух силовых шкафах. В каждом шкафу инвертора установлено по три тиристорных блока. Шкафы объединены в единую конструкцию, имеется возможность доступа к оборудованию с двух сторон для его обслуживания. Инвертор выполнен по шестипульсовой схеме [7, 8]. В каждом плече моста, установлено три последовательно включённых тиристора, которые объединены в тиристорные блоки. Схема включения тириستоров приведена на рис. 2.

Рис. 2. Схема силовой цепи трёхфазного инвертора И – ПТП

Для того чтобы обезопасить тиристоры от сетевых и схемных перенапряжений параллельно каждому подключены RC -цепь и шунтирующий резистор. Для защиты тириستоров от пробоя используется система контроля состояния полупроводниковых приборов. Данная система диагностирует состояние тиристоров после подачи силового питающего напряжения [9].

В инверторе для тягового электроснабжения предусмотрены функции, направленные на ускорение работы и экономию электроэнергии. Среди них можно выделить следующие функции: автоматическое обнаружение режима рекуперации; реализация автоматического повторного включения (позволяет уменьшить время возврата в работу инвертора и снизить вероятность повреждения тиристоров); плавный пуск при включении инвертора (позволяет уменьшить броски тока и перенапряжения в контактной сети); управление внешней характеристикой инвертора (стабилизация и наклон); амплитудно-независимое формирование граничных углов управления инвертором (уменьшающее влияние изменения переменного напряжения питающей сети на внешнюю характеристику и вероятность опрокидывания инвертора при нахождении его на ограничении минимального угла управления) [10].

Система охлаждения инвертора разделяется на два режима. При рабочем токе нагрузки меньше 500 А, охлаждение происходит за счет естественной конвекции воздуха, если ток нагрузки превышает 500 А, то включается принудительное охлаждение. Система охлаждения запустится также если температура охладителей превысит 80 °С, и автоматически отключается при падении температуры ниже 70 °С.

Внедрение таких инверторных устройств на железнодорожном транспорте позволяет существенно сэкономить затраты. Это обеспечивается за счет режима рекуперации, возврата части электроэнергии в питающую контактную сеть во время торможения электроприводами [11]. Для повышения надёжности подобных устройств требуется при их проектировании осуществлять подбор СПП для группового соединения, а во время эксплуатации проводить периодическую диагностику состояния приборов с помощью специального оборудования, позволяющего получать информацию об исправности отдельных тириستоров без необходимости разборки инвертора [12].

Список используемых источников:

1. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Лебедев С.В. Моделирование процессов в силовых полупроводниковых приборах при их групповом последовательном включении в среде Multisim // Электроника и электрооборудование транспорта. Томилино: Научно-производственное предприятие «Томилинский электронный завод», 2012. Вып. № 4. С. 30-35.
2. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Капитонова А.В. Методика подбора силовых полупроводниковых приборов для групповых последовательных цепей устройств силовой электроники // Научно-технический вестник Поволжья. Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2014. Вып. № 1. С. 65-68.
3. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С. Описание модели силового диода в состоянии низкой проводимости // Вопросы образования и науки: теоретические и методические аспекты. Тамбов 2015. С. 20-23.
4. Bepalov N.N., Ilyin M.V., Kapitonov S.S. Current generator for testing power semiconductor devices in high conduction state // 11TH International conference on actual problems of electronic instrument engineering, APEIE 2012. Novosibirsk: IEEE, 2012. №1. P. 143-147.

5. Беспалов Н.Н., Евишев А.В., Ильин М.В., Капитонов С.С. Исследование процессов, протекающих в цепях с последовательным групповым соединением силовых полупроводниковых приборов при их выключении // *Огарев-online*. 2015. №11.
URL: <http://journal.mrsu.ru/arts/issledovanie-processov-protekayushhix-v-cepyax-s-posledovatelnyim-grupповым-soedineniem-silovyx-poluprovodnikovyx-priborov-pri-ix-vyklyuchenii>
6. Беспалов Н.Н., Капитонов С.С. Выравнивание напряжений на последовательно распределенных силовых полупроводниковых приборах в состоянии низкой проводимости // *Нелинейный мир*. М.: Радиотехника, 2011. Вып. 8. С. 500-506.
7. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Лебедев С.В. Определение минимальных величин ёмкостей снабберных цепей для ограничения коммутационных перенапряжений на силовых полупроводниковых приборах при их выключении // *Естественные и технические науки*. М.: Спутник+, 2011. Вып. № 6. С. 396-404.
8. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Лебедев С.В. Разработка и исследование электротепловых моделей силовых полупроводниковых приборов основных типовых конструкций // *Естественные и технические науки*. М.: Спутник+, 2011. Вып. №6. С. 405-412.
9. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С. Аппаратно-программный комплекс для испытания и диагностики силовых полупроводниковых приборов // *Труды VIII международной (XIX всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014*. Саранск: изд-во Мордов. ун-та, 2014. Т. 1. С. 362-364.
10. Беспалов Н.Н., Капитонов С.С. Исследование температурной зависимости тока обратного восстановления силовых полупроводниковых приборов // *XL Огаревские чтения*. Саранск: изд-во Мордов. ун-та, 2012. С. 234-238.
11. Капитонов С.С., Евишев А.В., Зорькин А.В. Обзор выпрямительных устройств на основе группового последовательного соединения силовых полупроводниковых приборов // *Новый университет*. Йошкар-Ола. 2015. № 9–10. С. 43-46.
12. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Евишев А.В. Моделирование временных электрических процессов в силовых полупроводниковых диодах в состоянии высокой проводимости при различных значениях температуры их полупроводниковой структуры // *Элементная база отечественной радиоэлектроники: импортозамещение и применение им. О. В. Лосева*. Нижний Новгород. 2015. № 9-10. С. 43-46.

© 2015, Евишев А.В., Зорькин А.В.

Обзор инверторов напряжения для железнодорожного транспорта, реализованных на основе группового последовательного соединения силовых полупроводниковых приборов

© 2015, Evishev A.V., Zorkin A.V.

The review of the inverters of tension for railway transport realized on the basis of group consecutive connection of power semiconductor devices