

Дмитрий НИКОЛЬСКИЙ

Ленинградский Институт Инженеров
Железнодорожного ТранспортаОХЛАЖДЕНИЕ ИНВЕРТОРА ВАГОНА МЕТРОПОЛИТЕНА
С АСИНХРОННЫМ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ ЖИДКИМ
КИПЯЩИМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

Содержание. Рассматривается перспективный метод охлаждения инвертора вагона метрополитена с асинхронными тяговыми двигателями жидким кипящим диэлектриком. Описаны тепловые процессы испарительно-воздушной погружной системы охлаждения инвертора и способ ее расчета. Приведены результаты аэродинамических исследований поля скоростей в подвагонном пространстве при движении поезда в тоннеле, даны рекомендации по расположению оборудования. Описана ремонтно-пригодность системы.

В настоящее время в Ленинградском метрополитене создается серия опытных вагонов с асинхронным тяговым приводом. Тяговые двигатели управляются инвертором напряжения, собранным на базе силовых преобразовательных приводов (СПП) таблеточной конструкции ТБ-253-1000 и ДЧ-143-1000. Каждая фаза инвертора состоит из четырех тиристора и двух диодов (рис. 1.).

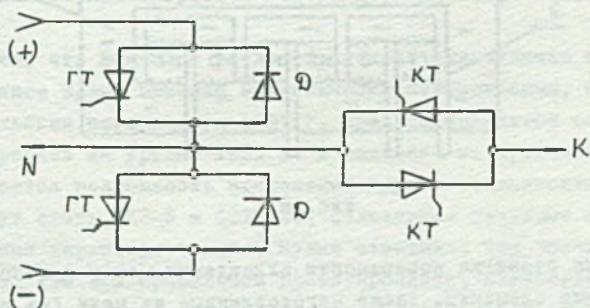


Рис. 1

Для надежной работы инвертора необходимо обеспечить эффективное охлаждение СПП, т.к. при превышении температуры последних определенных значений (125...140°C), они выходят из строя. Применение выпускаемых в СССР промышленностью серийных охладителей не позволяет реализовать требуемые массогабаритные показатели инвертора.

Среди известных способов интенсивного охлаждения СПП особо привлекательны для условий метрополитена т.к. погружные системы, в которых приборы находятся в герметичной емкости, заполненной диэлектрической жидкостью. Эта жидкость играет роль промежуточного теплоносителя, она кипит под воздействием тепловыделений СПП и отдает теплоту воздушному потоку, омывающему емкость, образуя замкнутый испарительно-конденсационный цикл. Преимущества этого способа состоят в том, что электропроводные части полностью защищены от воздействия среды, система пожаробезопасна, возможно применение бескорпусных СПП. Это позволяет создать надежное и долговечное устройство в минимальных габаритах. К недостаткам надо отнести проблему герметизации емкости, более сложный ремонт и необходимость изучения токсичности системы и ее воздействия на среду.

Полупроводниковые преобразователи с таким видом охлаждения созданы и успешно эксплуатируются во Франции на высокоскоростном подвижном составе магистральных железных дорог, в метрополитенах и городском электротранспорте, имеются разработки св Японии, Австрии и ФРГ. В СССР подобные системы на железнодорожном транспорте не создавались.

Разработанная в Ленинградском институте инженеров железнодорожного транспорта система испарительного охлаждения погружного типа для инвертора вагона с асинхронным тяговым приводом (рис. 2), представляет собой герметичный бак 1, заполненный промежуточным теплоносителем 2, имеющим температуру кипения 50–70°C при атмосферном давлении. Внутри бака расположен комплект СПП (два главных тиристора ГТ, два коммутирующих тиристора КТ и два обратных диода Д) с медными токоведущими шинами 3, стянутые типовым стяжным

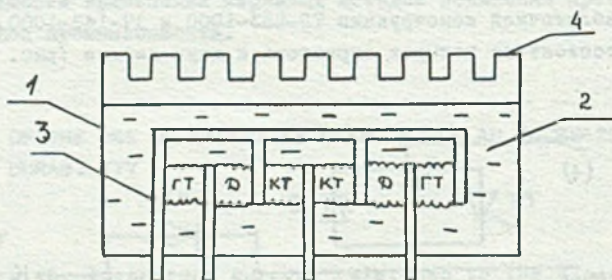


Рис. 2

устройством. Для развития поверхности охлаждения между приборами предусмотрены охлаждающие элементы, также изготовленные из меди (на рисунке не указаны). Верхняя часть бака с оребренной крышкой 4 является конденсатором и располагается под вагоном в специальном воздуховоде, организирующем обдув при движении поезда. Конденсат возвращается в бак под действием силы тяжести. Внутри бака помещены также коммутационные R-C-цепи и элементы цепей защиты.

При расчете температуры кремниевой структуры тиристорov решалась стационарная двумерная нелинейная задача теплопроводности (уравнение Лапласа) с

граничными условиями I и II рода. Использовался метод конечных разностей с реализацией численной задачи на ЭВМ СМ-4. Система разностных уравнений

решалась методом Гаусса-Зейделя [1]. Расчеты (рис. 3) показали, что оптимальной формой охлаждающего элемента является

цельнометаллическая конструкция, представляющая собой диск с выступами для прижима тиристоров (кривая 1 - без охлаждающего элемента, 2 - с охлаждающим элементом, 3 - бескорпусный тиристор).

Блоки инвертора располагаются под вагоном в коробке воздуховода, это позволяет сделать герметичность системы охлаждения. Определение характера воз-

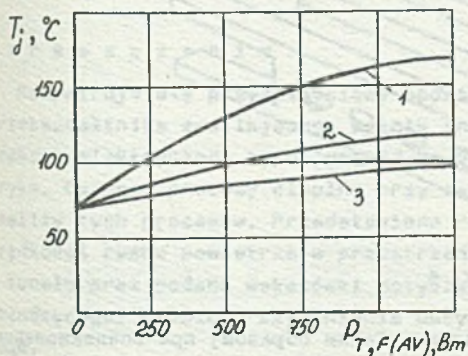


Рис. 3

душного потока в подвагонном пространстве проводилось манометрическим методом в ходе натурных испытаний опытного вагона на линии Ленинградского метрополитена. Испытания показали, что значения скорости движения воздуха в подвижном пространстве неоднородны. Их величины составляют от 7,8 до 15,6 м/с при скорости движения вагона 70 км/ч. Влияние расположения вагона в составе незначительно, с приближением к концу оостава скорость движения воздуха увеличивается на 1,3%, что является специфической особенностью движения в тоннеле. Анализ аэродинамических исследований для реверсивно обращающегося подвижного состава метрополитена показал, что инвертор целесообразно располагать в средней части длины подвагонного пространства, а для получения наибольших скоростей набегающего потока - вблизи боковых стен вагона.

В связи с тем, что наиболее распространенная охлаждающая жидкость - фреон, в настоящее время признан экологически небезопасным, и в соответствии с Монреальским соглашением 1987 г. предусматривается замораживание производства фреонов на уровне 1986 г. и снижение их производства на 50% к 1999 г. изучается возможность применения других теплоносителей. Такими жидкостями могут стать МДЗ-Ф и ЛЗТК-2Ф, обладающие сходными с фреонами теплотехническими характеристиками. Нужно отметить, что специалисты фирмы Siemens считают, что при правильном проектировании, изготовлении и эксплуатации герметичных погружных систем, применение фреонов вполне допустимо (2).

Как отмечалось, ремонтпригодность описываемой системы довольно низка, т.к. выход из строя любой токопроводящей части устройства связан с необходимостью разгерметизации емкости. Решать эту проблему позволяет модульная компоновка инвертора. Каждый модуль (рис. 4) заключает в себе фазу инвертора. На весь преобразователь требуется четыре модуля - три фазы инвертора

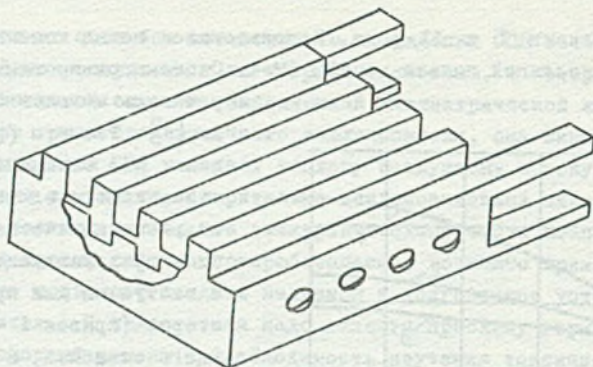


Рис. 4

и тормозной блок. Модули взаимозаменяемы. Таким образом, при возникновении отказа достаточно заменить неисправный модуль, не выцепляя вагон из состава. Долговечность модуля, учитывая его защищенность от воздействия среды, будет определяться качеством электрической части.

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемая система охлаждения позволит осуществить эффективное охлаждение и высокую надежность работы инвертора. Низкая ремонтпригодность герметичных емкостей компенсируется модульной компоновкой инвертора.

2. Значительно улучшаются условия охлаждения при использовании баскорпусных приборов. Применение дисковых охлаждающих элементов позволяет существенно снизить термическую нагрузку тиристоров и реализовать более высокие электрические мощности.

3. Инвертор целесообразно располагать в средней части длины подвагонного пространства у боковых стен вагона. Это позволяет оптимизировать обдув модулей набегавшим воздушным потоком.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н.И. Истомина, Д.В. Никольский: Погружная система охлаждения полупроводникового модуля. Сборник науч. тр. "Совершенствование систем охлаждения мощных полупроводниковых преобразователей железнодорожного транспорта", ЛИИЖТ, 1988, с. 78-86.
- [2] Evaluation of freon modules for power electronics for a locomotive traction drive. Prakash H. Desai, Guenter Wienger. Conf. Rec. IEEE Ind. Appl. Soc. 23rd Annu. Meet., Pittsburg, Pa, Oct. 2-7, 1988. Pt 1. - New York (N.Y.), 1988. - С. 973-979.

Рецензент: Doc. dr hab. inż. Aleksander Żywiec

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1990 r.

CHŁODZENIE PRZEKSZTAŁNIKA ZASILAJĄCEGO SILNIK INDUKCYJNY
NAPĘDU WAGONÓW PODZIEMNEJ TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ
ZA POMOCĄ PARUJĄCEGO CIEKŁEGO DIELEKTRYKA

S t r e s z c z e n i e

Rozpatruje się przyszłościowy sposób chłodzenia tyrystorów i diod przekształtnika zasilającego silnik indukcyjny napędu wagonów podziemnej trakcji elektrycznej typu "metro" za pomocą parującego ciekłego dielektryka. Opisano procesy cieplne przy takim chłodzeniu oraz podano sposób analizy tych procesów. Przedstawiono rezultaty aerodynamicznych badań prędkości ruchu powietrza w przestrzeni podwagonowej przy ruchu pojazdu w tunelu oraz podano wskazówki dotyczące miejsca umieszczenia zespołu chłodzącego. Omówiono zagrożenia dotyczące awaryjności zespołu chłodzącego.

COOLING OF METRO ELECTRIC MOTOR COACH INVERTER
FOR ASYNCHRONOUS MOTOR DRIVE BY LIQUID BOILING DIELECTRIC

S u m m a r y

Perspective method of cooling metro electric motor coach's inverter for asynchronous motor drive by liquid boiling dielectric is examined. Thermal processes of immersible air - evaporative cooling system and methods of its estimation are described. Results from aerodynamic investigation of speed field in undervagon space driving through a tunnel are presented. Recommendations for equipment arrangement are given. The system's maintainability is described.