

Рис. 2. Функциональная схема системы нагружения на основе полупроводниковых статических преобразователей

Нагрузочный модуль в данной схеме построен на базе полупроводниковых преобразователей, включающих управляемый выпрямитель (УВ) и инвертор (И). Система нагружения, выполненная по такой схеме, является энергосберегающей, и способна выполнять весь комплекс необходимых регламентных испытаний.

Проведенный обзор и анализ систем нагружения ДГ показывает, что в настоящее время испытания могут проводиться при помощи различных устройств нагружения, которые различаются по стоимости, способности поддерживать требуемые режимы нагружения, экономичности и другим параметрам.

#### Литература

1. Погуляев, М. Н. Энергоэффективные испытательные стенды / И. В. Дорощенко, М. Н. Погуляев, В. А. Савельев, В. В. Годарев // Энергоэффективность. – 2018. – № 9. – С. 26–30.
2. Погуляев, М. Н. Энергосберегающее устройство нагружения резервных электро-генераторов на основе статических преобразователей / М. Н. Погуляев // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2022. – № 3 (90). – С. 96–103.

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ НАГРУЗОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ ЛОКОМОТИВОВ

Яо Бинь, М. Н. Погуляев

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

*Шаньдунский технологический университет Хуаюй, г. Дэчжоу,  
Китайская Народная Республика*

*Представлено энергосберегающее нагрузочное устройство для испытаний дизель-генераторов локомотивов. Оно использует систему рекуперации энергии на базе статического преобразователя, возвращающую электроэнергию в железнодорожную сеть. На основе модели в MATLAB Simulink проведен анализ работы устройства. Результаты показали эффективность рекуперации до 91 %, что снижает энергозатраты и воздействие на окружающую среду.*

**Ключевые слова:** энергосберегающее нагрузочное устройство, имитационная модель, дизель-генератор, статический преобразователь.

## ENERGY-SAVING LOADING DEVICE FOR TESTING LOCOMOTIVE DIESEL GENERATORS UNDER LOAD

Yao Bin, M. N. Pogulyaev

*Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

*Shandong Huayu University of Technology, Dezhou, People's Republic of China*

*This article presents an energy-saving load device for testing locomotive diesel generators. It uses an energy recovery system based on a static converter, returning electrical energy to the rail*

network. A MATLAB/Simulink model was used to analyze the device's operation. The results showed recovery efficiency of up to 91 %, reducing energy costs and environmental impact.

**Keywords:** energy-saving loading device, simulation model, diesel generator, static converter.

Дизель-генераторные установки (ДГУ) локомотивов являются основным источником энергии, от их надежности зависит безопасность и эффективность движения поездов.

После ремонта ДГУ подвергаются комплексным испытаниям под нагрузкой. Эти испытания направлены на всестороннюю оценку ключевых эксплуатационных характеристик генераторов, таких как мощность, экономичность, стабильность работы, подтверждение соответствия агрегатов установленным техническим требованиям и стандартам, а также выявление потенциальных неисправностей и отклонений в работе оборудования [1].

В большинстве депо применяются реостатные стенды, при которых вся вырабатываемая энергия превращается в тепло и теряется [2]. Это вызывает большие энергопотери, рост расходов и выбросов углерода. Например, при испытаниях локомотива серии ТЭЗ бесполезно теряется до 1844 кВт · ч электроэнергии. Кроме того, такие стенды не позволяют полноценно моделировать динамические режимы работы, что снижает достоверность результатов.

Для решения указанных проблем в настоящей работе предлагается нагрузочное устройство на основе силовой электроники с функцией рекуперации энергии (рис. 1). Данное решение использует статический преобразователь вместо традиционной реостатной нагрузки для преобразования и возврата вырабатываемой электроэнергии в железнодорожную контактную сеть напряжением 25 кВ, 50 Гц, обеспечивая тем самым ее повторное использование.

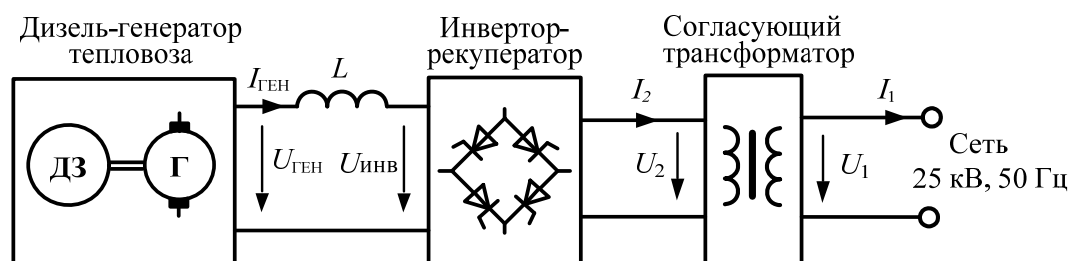


Рис. 1. Функциональная схема энергосберегающего нагрузочного устройства

Ключевая функция устройства – создание различных режимов нагрузки с одновременным эффективным и безопасным возвратом электроэнергии от дизель-генератора в сеть.

Напряжение постоянного тока, генерируемое дизель-генератором, подается на инвертор, который осуществляет преобразование данного напряжения в переменное. Этот процесс трансформации энергии является ключевым этапом в системе передачи электроэнергии в контактную сеть с номинальным напряжением 25 кВ.

Рекуператор, используемый в данной конфигурации, представляет собой однофазный мостовой управляемый выпрямитель, функционирующий на базе тиристоров и работающий в режиме инвертора, ведомого сетью. Данный режим работы обеспечивает высокую эффективность и надежность преобразования энергии, что

является критически важным для обеспечения стабильного и бесперебойного электроснабжения железнодорожного транспорта.

Для согласования выходного напряжения инвертора с уровнем контактной сети используется стандартный силовой тяговый трансформатор электровоза, который выполняет функцию согласующего элемента в данной системе.

Проверка работоспособности предлагаемого устройства проведена на имитационной модели в программе MATLAB Simulink. Данная модель позволяет не только анализировать работу системы в установившихся режимах при различных уровнях мощности, но и исследовать ее динамические реакции на переходные процессы, такие как запуск, резкое изменение нагрузки, а также подключение и отключение от сети. Это обеспечивает надежную теоретическую базу для оптимизации стратегий управления и выбора параметров системы.

Результаты моделирования показали, что система обладает чрезвычайно высокой эффективностью рекуперации энергии. При испытании на имитационной модели локомотива ТЭ10 на номинальной мощности 1210 кВт в сеть возвращается большая часть энергии – КПД рекуперации достигает 91 %. Оставшиеся потери в основном приходятся на преобразователь, трансформатор и линии передачи.

Благодаря высокому КПД рекуперации (91 %), экономическая выгода от использования устройства является весьма значительной. По сравнению с традиционными реостатными испытаниями, прямые затраты для проведения одного испытания могут быть снижены примерно на 57 %. По оценкам, основанным на среднегодовом количестве испытаний в типичном локомотивном депо, внедрение данного энергосберегающего устройства может обеспечить ежегодную экономию на электроэнергии в размере от нескольких десятков до сотен тысяч рублей.

#### Литература

1. Руководство по ТО и ТР тепловозов. Технические требования на реостатные испытания тепловозов при выпуске из текущих ремонтов. – М. : РЖД, 2004 – 87 с.
2. Погуляев, М. Н. Энергосберегающее устройство нагружения резервных электрогенераторов на основе статических преобразователей / М. Н. Погуляев // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2022. – № 3 (90). – С. 96–103.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ДВОЙНОЙ НАКЛОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Ли Дэцян, В. П. Кудин

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

*Представлена разработка широкополосной фазированной антенной решетки с двойной наклонной поляризацией  $\pm 45^\circ$ . Конструкция антенны на основе металлических перекрестных диполей дополнена металлическим паразитным слоем и широкоугольным согласующим слоем для расширения рабочей полосы частот (0,96–2 ГГц) и улучшения характеристик при больших углах сканирования ( $\pm 30^\circ$ ). Применение коаксиального балуна и металлического отражающего корпуса обеспечивает сбалансированное питание и снижает взаимную связь между элементами. Антенна отличается простотой конструкции, высокой мощностной стойкостью и перспективна для применения в системах связи и подавления помех.*

**Ключевые слова:** фазированная антенная решетка, двойная поляризация, перекрестный диполь, широкополосная антенна, широкоугольное согласование.