

УДК 629.423.31-48.24

А. М. АФАНАСОВ¹

¹Д. т. н., доцент, декан факультета «Электрификация железных дорог», профессор кафедры «Электроподвижной состав железных дорог», ДНУЖТ им. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел.: +38 (056) 373-15-31, эл. почта: afanasof@ukr.net

СИСТЕМЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ТЯГОВОГО И МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МАГИСТРАЛЬНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА

Цель. Определение рациональных вариантов системы взаимного нагружения тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока, обеспечивающих высокую энергетическую эффективность и качество приемо-сдаточных испытаний тяговых электромашин при минимальной себестоимости испытательной станции. **Методика.** Проанализировано двадцать принципиально возможных вариантов системы взаимного нагружения тяговых электромашин, определены три рациональные альтернативы, которые характеризуются наибольшей энергетической эффективностью, минимальной суммарной мощностью источников питания испытательного стенда и наиболее высоким качеством испытаний. **Результаты.** Проведен анализ каждого из рациональных вариантов на предмет возможности технической реализации для отдельных кластеров типового ряда тяговых электромашин. **Научная новизна.** Анализ реального состояния станций для испытаний тяговых электрических машин показывает несоответствие современным требованиям организации ремонта и технического контроля на большинстве ремонтных предприятий. На испытательных станциях используются стенды взаимной нагрузки с низкой энергетической эффективностью, «ручными» способами регулирования, контроля и регистрации данных. Необходимость в модернизации существующих станций для испытания тяговых электрических машин в настоящий момент является очевидной. Однако вопрос о том, какой из вариантов системы нагружения будет наиболее рациональным для определенного типа испытуемых тяговых электромашин, остается актуальным. **Практическая значимость.** В качестве критерия целесообразности использования определенных рациональных альтернатив будем рассматривать, прежде всего простоту их технической реализации на испытательных станциях.

Ключевые слова: тяговая электрическая машина; испытание; взаимная нагрузка; автоматическое управление; энергетическая эффективность.

Введение

Требования соответствующих стандартов и правил ремонта тягового и моторвагонного подвижного состава магистрального и промышленного транспорта предусматривают проведение приемо-сдаточных испытаний каждой вновь изготовленной или вышедшей из ремонта тяговой электромашин [1]. Эти испытания представляют собой важную и неотъемлемую часть технологического процесса изготовления или ремонта электромашин, материальные затраты на которую входят в себестоимость конечной продукции. Качество технического контроля, проводимого при приемо-сдаточных испытаниях тяговых электрических машин, в конечном счете определяет надежность и безотказность всего тягового средства, а следовательно и экономическую эффективность железнодорожных перевозок магистрального и промышленного транспорта. Испытания на нагрев, проверка частоты вращения и реверсирования, а также проверка коммутации требуют обязательного нагружения тяговых электромашин [1] на испытательном стенде. Наибольшая энергетическая эф-

фективность приемо-сдаточных испытаний может быть достигнута путем использования систем взаимного нагружения тяговых электромашин [2].

Цель

Целью является определение рациональных вариантов системы взаимного нагружения тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока, обеспечивающих высокую энергетическую эффективность, а также качество приемо-сдаточных испытаний тяговых электромашин при минимальной себестоимости испытательной станции. В соответствии с этим в работе представлены три системы взаимного нагружения тяговых электрических машин, использование которых позволит улучшить энергоеффективность и др. показатели.

Методика

В ходе анализа возможных вариантов системы взаимного нагружения тяговых электромашин, были определены три

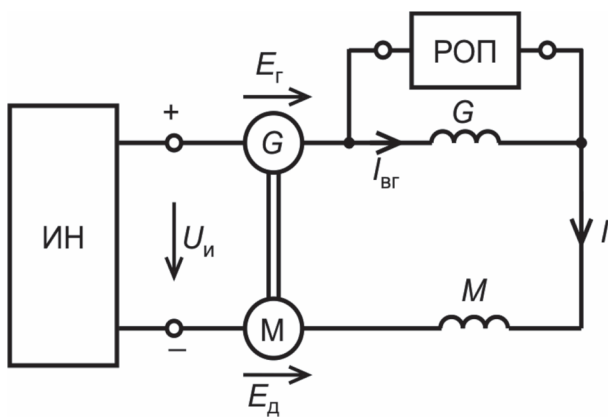


Рис. 1. Схема системы взаимного нагружения для варианта 1

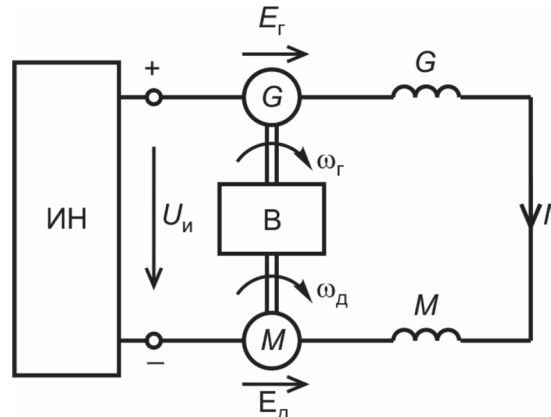


Рис. 3. Схема системы взаимного нагружения для варианта 2

рациональные альтернативы, которые характеризуются наибольшей энергетической эффективностью, минимальной суммарной мощностью источников питания испытательного стенда и наиболее высоким качеством испытаний.

Результаты

Вариант 1. Схема системы взаимного нагружения приведена на рис. 1 и включает испытываемые тяговые электромашины М и G, источник напряжения ИН и регулятор ослабления поля РОП. Все потери мощности в испытываемых электромашинах в такой системе взаимного нагружения покрываются одним источником мощности ИН. Электрические по-

тери покрываются прямым способом, а потери холостого хода — косвенным, за счет создания небалансного электромагнитного момента испытываемых двигателя М и генератора G [3].

Преимуществами данной схемы являются [2; 3]:

- наличие только одного источника мощности;
- отсутствие источников высокого напряжения;
- одинаковая тепловая нагрузка обмоток якорей.

К недостаткам данной схемы относятся:

- расхождение тепловых нагрузок обмоток возбуждения;
- необходимость в системе автоматического регулирования.

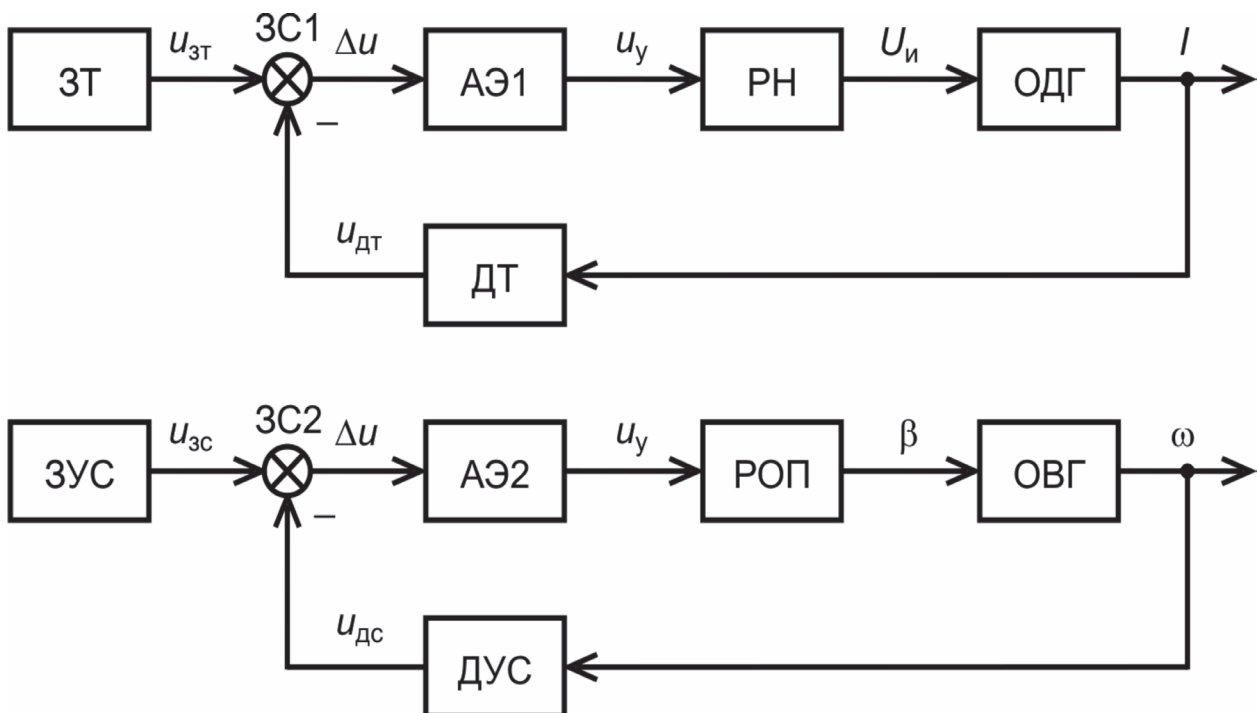


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического регулирования для варианта 1

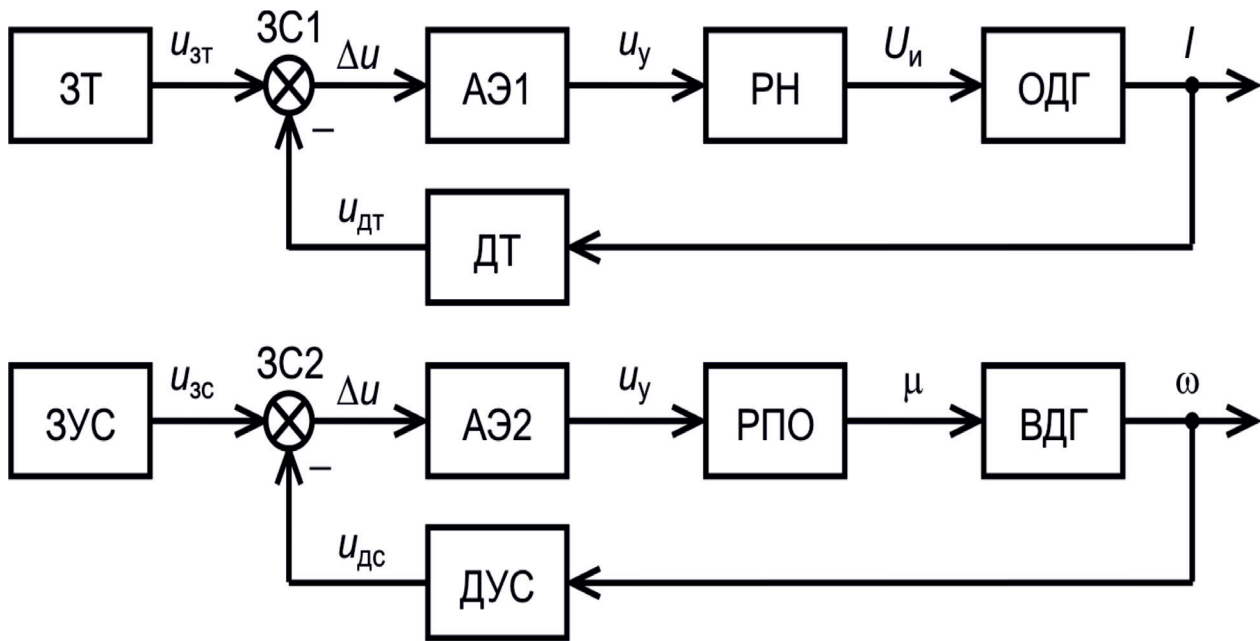


Рис. 4. Функциональная схема системы автоматического регулирования для варианта 2

Система автоматического управления режимом взаимного нагружения должна быть двухконтурной [4]. Первый контур должен обеспечивать стабилизацию тока нагрузки, а второй — стабилизацию частоты вращения. Структурная схема системы автоматического управления представлена на рис. 2. Первый контур автоматического регулирования включает в себя: задатчик тока ЗТ; датчик тока

ДТ; звено сравнения токов ЗС1; астатический элемент АЭ1; регулятор напряжения РН; обмотки двигателя и генератора ОДГ.

Второй контур автоматического регулирования включает в себя: задатчик угловой скорости ЗУС; датчик угловой скорости ДУС; звено сравнения ЗС2; астатический элемент АЭ2; регулятор ослабления поля РПО; обмотку возбуждения генератора ОВГ.

Управляющей координатой [4] в первом контуре является напряжение на задатчике тока $u_{зт}$, а управляемой координатой — ток якоря испытуемого двигателя I (напряжение на выходе датчика тока $u_{дт}$). Напряжение управления u_y определяет величину напряжения источника $U_{и}$, в свою очередь, связано с напряжением рассогласования Δu , принятым законом регулирования.

Управляющей координатой во втором контуре является напряжение задатчика скорости $u_{зс}$, а управляемой координатой — угловая скорость вращения вала двигателя ω (напряжение на выходе датчика скорости $u_{дс}$). Напряжение управления u_y определяет величину коэффициента ослабления поля β , небалансный электромагнитный момент μ , в свою очередь, связано с напряжением рассогласования Δu , принятым законом регулирования.

Данный вариант системы взаимного нагружения является рациональным для всех типов электрических машин тягового подвижного состава, как для тяговых электрических двигателей, так и для вспомогательных электрических машин.

Вариант 2. Главной особенностью данного варианта является наличие механического конвертора. Схема системы взаимного нагружения приведена на рис. 3. Схема включает в себя источник напряжения ИН, испытуемые тяговые электромашины М и Г, механический вариатор В. Все потери мощности в испытуемых электромашинах в такой системе взаимного нагружения, как и в системе нагружения по варианту 1, покрываются одним источником мощности ИН.

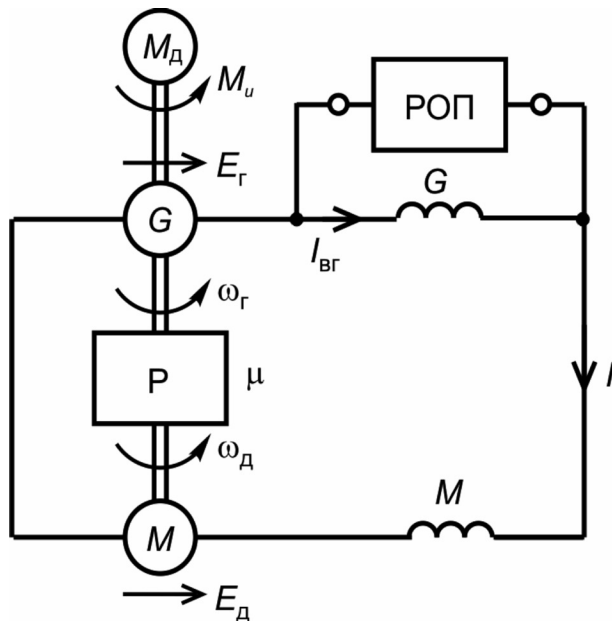


Рис. 5. Схема системы взаимного нагружения для варианта 3

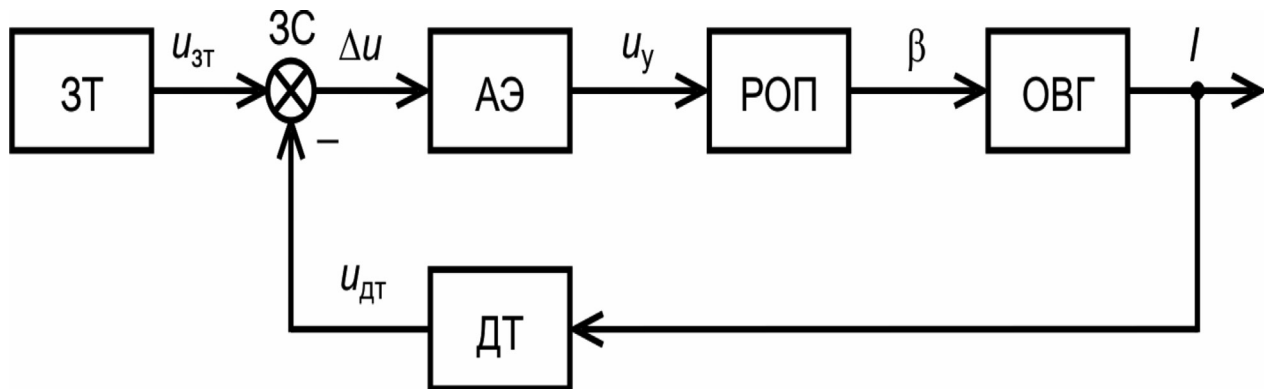


Рис. 6. Функциональная схема системы автоматического регулирования тока нагрузки для варианта 3

Электрические потери покрываются прямым способом, а потери холостого хода — косвенным [2].

Регулирование режима взаимного нагружения в данной схеме осуществляется как за счет изменения напряжения источника, так и за счет передаточного отношения механического конвертора. Для этого последний должен быть выполнен регулируемым, т. е. в виде вариатора.

Преимуществами данной схемы являются [2; 3]:

- наличие только одного источника мощности;
- отсутствие источника высокого напряжения;
- одинаковая тепловая нагруженность обмоток якорей и обмоток возбуждения пары испытываемых тяговых электромашин.

К недостаткам схемы относятся:

- относительная сложность регулирования передаточного отношения вариатора;
- необходимость в системе автоматического управления.

Выполнение вариаторов с большой мощностью, соответствующей реальной мощности тяговых электродвигателей подвижного состава магистрального и промышленного транспорта, весьма затруднительно, в связи с чем данная схема является рациональной только для вспомогательных электрических машин.

Функциональная схема системы автоматического регулирования для варианта 2 приведена на рис. 4. Первый контур системы аналогичен контуру стабилизации тока по варианту 1. Второй контур отличается от варианта 1 наличием регулятора передаточного отношения РПО (вместо регулятора ослабления поля РОП), который соединен с валами двигателя и генератора ВДГ. Управляющим воздействием [4] в контуре регулирования частоты вращения (второй контур) является коэффициент передачи угловой скорости вариатора μ .

Вариант 3. Главной особенностью данного варианта является наличие как механического конвертора, так и регулятора ослабления поля. Схема системы взаимного нагружения (рис. 5) включает в себя испытываемые электромашин M и G , дополнительный приводной двигатель МД, постоянный редуктор P , регулятор ослабления поля РОП.

Все потери мощности в испытываемых электромашин в такой системе взаимного нагружения покрываются одним источником механической мощности — двигателем МД. Потери холостого хода покрываются прямым способом, а электри-

ческие потери — косвенным, за счет создания небалансной электродвижущей силы генератора G и двигателя M [2; 3].

В качестве источника момента в данной схеме может быть использован либо частотноуправляемый асинхронный привод, либо нерегулируемый асинхронный привод. В последнем случае для регулирования частоты вращения, которое может быть ступенчатым, необходимо использовать механическую коробку передач.

Для испытания по данной схеме тяговых электрических двигателей, используемых в односторонних тяговых передачах (пассажирские электровозы, электропоезда, тепловозы), приводной двигатель МД через коробку передач должен быть соединен непосредственно с редуктором P .

К преимуществам данной схемы относятся [2; 3]:

- один источник механической мощности;
- отсутствие источников высокого напряжения;
- одинаковая тепловая нагрузка обмоток якорей;
- малое расхождение тепловых нагрузок обмоток возбуждения.

К недостаткам схемы относятся:

- наличие регулятора поля и преобразователя мощности;
- необходимость в системе автоматического регулирования;
- необходимость в коробке передач или частотноуправляемом асинхронном приводе.

Данная схема является наиболее рациональной для тяговых электрических двигателей электропоездов и тепловозов.

Частота вращения испытываемых электромашин регулируется системой управления дополнительным приводным двигателем МД или с помощью коробки передач.

Функциональная схема системы автоматического регулирования тока нагрузки испытываемых электромашин приведена на рис. 6. Управляющим воздействием [4] в контуре регулирования тока нагрузки испытываемых электромашин является коэффициент ослабления поля генератора β .

Передаточное число (постоянное) механического редуктора P подбирается таким, чтобы при максимально возможном расхождении магнитных характеристик испытываемых электромашин небалансная ЭДС [2] при наименьшей испытательной частоте вращения и выключенном регуляторе ослабления поля РОП обеспечивала максимальный ток нагрузки испытываемых электромашин.

Выводы

Использование рассмотренных систем взаимного нагружения тяговых электрических машин позволит существенно снизить себестоимость новых испытательных станций (или затраты на модернизацию существующих), повысит энергетическую эффективность и качество приемо-сдаточных испытаний электромашин тягового и моторвагонного подвижного состава магистрального и промышленного транспорта.

А. М. АФАНАСОВ¹

¹Д. т. н., доцент, декан факультету «Електрифікація залізниць», професор кафедри «Електрорухомий склад залізниць», ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел.: +38 (056) 373-15-31, ел. пошта: afanasof@ukr.net

СИСТЕМИ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ТЯГОВОГО Й МОТОРВАГОННОГО РУХОМОГО СКЛАДУ МАГІСТРАЛЬНОГО ТА ПРОМИСЛОВОГО ТРАНСПОРТУ

Мета. Визначення раціональних варіантів системи взаємного навантаження тягових електричних машин постійного й пульсуючого струму, що забезпечують високу енергетичну ефективність та якість приймально-здавальних випробувань тягових електромашин при мінімальній собівартості випробувальної станції. **Методика.** Проаналізовано двадцять принципово можливих варіантів системи взаємного навантаження тягових електромашин, визначено три раціональні альтернативи, які характеризуються найбільшою енергетичною ефективністю, мінімальною сумарною потужністю джерел живлення випробувального стенду й найбільш високою якістю випробувань. **Результати.** Проведено аналіз кожного з раціональних варіантів на предмет можливості технічної реалізації для окремих кластерів типового ряду тягових електромашин. **Наукова новизна.** Аналіз реального стану станцій для випробувань тягових електричних машин показує невідповідність сучасним вимогам організації ремонту та технічного контролю на більшості ремонтних підприємств. На випробувальних станціях використовуються стенди взаємного навантаження з низькою енергетичною ефективністю, «ручними» способами регулювання, контролю та реєстрації даних. Необхідність у модернізації існуючих станцій для випробування тягових електричних машин зараз є очевидною. Однак питання про те, який з варіантів системи навантаження буде найбільш раціональним для певного типу випробовуваних тягових електромашин, залишається актуальним. **Практична значимість.** У якості критерію доцільності використання певних раціональних альтернатив будемо розглядати, насамперед простоту технічної реалізації на випробувальних станціях.

Ключові слова: тягова електрична машина; випробування; взаємна навантаження; автоматичне керування; енергетична ефективність.

А. М. АФАНАСОВ¹

¹Dr. eng., associate professor, dean of the faculty «Electrification of railways», professor of Department «Electric rolling stock of railways», DNUR named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 31, e-mail: afanasof@ukr.net

SYSTEMS FOR TESTING OF ELECTRICAL MACHINES OF THE TRACTION AND MULTIPLE UNIT ROLLING STOCK OF MAINLINE AND INDUSTRIAL TRANSPORT

Aim. Determination of rational variants of mutual loading of traction electric machines of direct and pulsating current, providing high energy efficiency and the quality of reception and acceptance testing of traction electric machines with minimal cost of test station. **Methods.** Analyzed twenty fundamentally options of mutual loading traction electric machines, identified three rational alternatives that are characterized by the highest energy efficiency, the minimum total capacity of power supply test bench and the highest quality of tests. **Results.** The analysis of each from rational variants for the purpose possibility of technical realization for the separate clusters of model row of hauling electric machines is conducted. **Originality.** The analysis of the real state of the stations for the tests of hauling electric machines shows disparity to the modern requirements of organization of repair and technical control on most repair enterprises. On the tester stations the stands of the mutual loading with low power efficiency, «hand» methods of regulation, control and registration of information are used. A necessity in modernization of the existent stations for the test of hauling electric machines presently is obvious. However much a question about what from the variants of the system of loading will be most rational for the certain type of examinee hauling electric machines, remains actual. **Practical relevance.** As the criterion of expedience of the use of certain rational alternatives we will considers, foremost simplicity of their technical realization on the tester stations.

Keywords: traction electric machines; testing; pumpback; automatic control; energy efficiency.

Локомотив

Матеріал отриман 02.12.2014

© А. М. АФАНАСОВ, 2015

№ 09 / сентябрь / 2014