

УДК 622.625.28

*Лапина М.Л. магистр техн. наук
старший преподаватель кафедры АПП*

*Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова
Казахстан г. Караганда*

*Каракулин М.Л. к.т.н.
доцент кафедры АПП*

*Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова
Казахстан г. Караганда*

Lapina M.L. master of tech. Sciences

Senior Lecturer

*Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov
Kazakhstan Karaganda*

Karakulin M.L. Ph.D. master of tech. Sciences

Senior Lecturer

*Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov
Kazakhstan Karaganda*

РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ «ИМПУЛЬС»

В статье изложена краткая история проводимых в Карагандинском техническом университете исследований в области создания тиристорно-импульсных систем управления тяговым электроприводом промышленного и городского электрифицированного транспорта. Разработана аппаратура «ИМПУЛЬС», предназначенная для модернизации существующих контактно-реостатных систем управления электрифицированного транспорта. Приведены внешние характеристики аппаратуры «Импульс-3-600» в режиме дозированной передачи энергии и в режиме частотно-широтного регулирования. А также силовая и структурная схемы системы управления. Установлены факторы, влияющие на работу силовой схемы тиристорно-импульсного регулятора, вызывающие срывы коммутации и определен механизм их действия. Основной проблемой перед разработчиками является достижение

надежной циклической работы силовой схемы тиристорно - импульсного регулятора. В статье указаны пути ее решения.

Ключевые слова: тяговый, электропривод, тиристорно-импульсный, регулятор, модернизация, коммутация, транспорт.

The article presents a brief history of research conducted at the Karaganda Technical University in the field of creating thyristor-pulse control systems for the traction electric drive of industrial and urban electrified transport. The equipment "IMPULSE" has been developed, designed to modernize existing contact-rheostat control systems for electrified transport. The external characteristics of the equipment "Impulse-3-600" in the mode of dosed energy transfer and in the mode of frequency-width regulation are given. As well as power and structural diagrams of the control system. The factors influencing the operation of the power circuit of the thyristor-pulse controller, causing switching failures, have been established, and the mechanism of their action has been determined. The main problem for developers is to achieve reliable cyclic operation of the power circuit of the thyristor-pulse controller. The article shows the ways to solve it.

Key words: traction, electric drive, thyristor-pulse, regulator, modernization, switching, transport.

Введение и актуальность исследования

В настоящее время в эксплуатации находится большое количество различных электрифицированных транспортных средств питающихся от контактной тяговой сети постоянного тока (трамваи, троллейбусы, электровозы промышленного транспорта, рудничные электровозы) с устаревшими контактно-реостатными системами управления электроприводом. Целесообразность замены их транспортными средствами с бесконтактными системами управления обладающими требуемыми для практики характеристиками на современном этапе

развития техники не вызывает сомнений. В связи с этим в Карагандинском техническом университете проводились исследования в области создания бесконтактных тиристорно-импульсных систем для управления тяговым электроприводом постоянного тока.

Основной проблемой, стоящей перед разработчиками тиристорно-импульсных систем управления тяговым электроприводом, которые питаются от контактной тяговой сети постоянного тока через скользящие контакты является достижение надежной циклической работы силовой схемы тиристорно - импульсного регулятора. Дело в том, что нарушение контакта между токосъемником и контактным проводом является одной из причин вызывающей «срыв коммутации», нарушение циклической работы силовой схемы тиристорно-импульсного регулятора, то есть переход его в неуправляемый режим работы, что может создать аварийную ситуацию на транспорте [1-3].

Методы исследования

Для уяснения влияния скользящих контактов на работу тиристорно-импульсного регулятора была разработана математическая модель тиристорно-импульсного регулятора и проведен теоретический анализ работы его в условиях изменяющего сопротивления скользящих контактов. Установлены все факторы, влияющие на работу силовой схемы тиристорно-импульсного регулятора вызывающие срывы коммутации и определен механизм их действия [1-3]. Для проверки полученных теоретических выводов был разработан и смонтирован специальный стенд, который позволял проводить испытания тиристорно-импульсных систем управления тяговым электроприводом в широком диапазоне нагрузок от режима холостого хода до полуторакратной номинальной нагрузки как в режиме хода, так и в режиме электродинамического торможения. Стенд содержал четыре двигателя постоянного тока последовательного возбуждения мощностью 110 кВт каждый, которые попарно жестко

соединены между собой валами, а также выпрямитель с номинальным током 300 А при напряжении 550 В. На стенде можно было проводить испытания аппаратуры при нарушениях контакта между токосъемником и контактным проводом, при колебаниях напряжения питания в контактном проводе в пределах от -40% до +30% номинального напряжения. Стенд был смонтирован в цокольной лаборатории четвертого корпуса Карагандинского технического университета. На этом стенде были проведены экспериментальные исследования, которые подтвердили выводы полученные при теоретическом исследовании причин вызывающих срывы коммутации. Результаты этих исследований позволили разработать аппаратуру «ИМПУЛЬС» предназначенную для бесконтактного управления тяговыми электродвигателями электрифицированного транспорта (электровозы, троллейбусы, троллейбусы) работающими от контактной сети постоянного тока, которая обладает высокой коммутационной устойчивостью. К сожалению, в дальнейшем, при очередной реорганизации лабораторий четвертого корпуса стенд был демонтирован, а оборудование его было отправлено в металлолом.

Научные результаты

В целом аппаратура «ИМПУЛЬС» была разработана именно для модернизации систем управления трамваев, троллейбусов и электровозов промышленного транспорта, снабжаемых заводами-изготовителями контактно-реостатными системами управления, которые до сих пор эксплуатируются и выпускаются промышленностью. Модернизация заключается в замене контактно – реостатной системы управления режимом хода тяговых электродвигателей на тиристорно-импульсную с плавным регулированием значения, подаваемого на них напряжения. Для управления режимом электродинамического торможения, используется заводская контактно-реостатная система управления, в которой заменяется пуско-тормозной реостат на менее мощный, так как мощность, выделяемая

в нем в режиме торможения в 3-4 раза меньше, чем в режиме хода. Водителя (или машиниста) не нужно переучивать, поскольку процедура управления транспортным средством не изменяется, так как для управления используется заводской силовой контроллер, который подвергается небольшой модернизации – у него демонтируют силовые контакты, которые использовались для управления тяговыми электродвигателями в режиме хода. На освободившемся пространстве контроллера устанавливается регулятор-переключатель (РП), вал которого приводится в действие от главного вала контроллера через зубчатую передачу. Посредством регулятор-переключателя осуществляется управление режимом работы тиристорно-импульсного регулятора системы «ИМПУЛЬС».

Все модификации аппаратуры системы «Импульс» базировались на основе тиристорно-импульсного регулятора напряжения, упрощенная силовая схема которого представлена на рисунке 1.

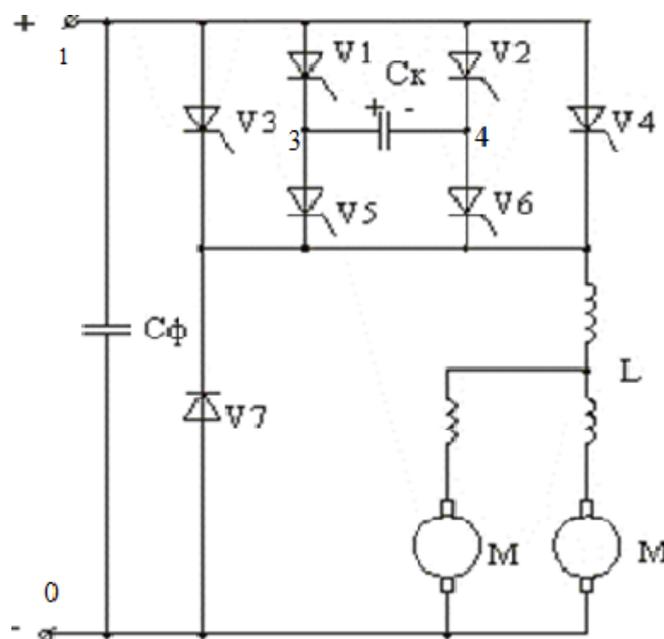


Рисунок 1

Выбор этого типа силовой схемы был обоснован двумя факторами:

1. схема позволяет обеспечить любой ток нагрузки без применения параллельного включения силовых тиристоров;

2. схема может обеспечить широкий диапазон регулирования напряжения на тяговых электродвигателях за счет ее работы в двух режимах:

– в режиме дозированной передачи энергии, используемом для регулирования небольших скоростей движения, при котором происходит поочередное отпирание диагональных пар коммутирующих тиристоров V1, V6 и V2, V5;

– в режиме частотно-широтного регулирования, используемом для регулирования больших скоростей и мощностей, при котором еще и поочередно отпираются рабочие тиристоры V3 и V4.

Для примера на рисунке 2 приведены внешние характеристики аппаратуры «Импульс-3-600» в режиме дозированной передачи энергии, а на рисунке 3 приведены внешние характеристики в режиме частотно-широтного регулирования.

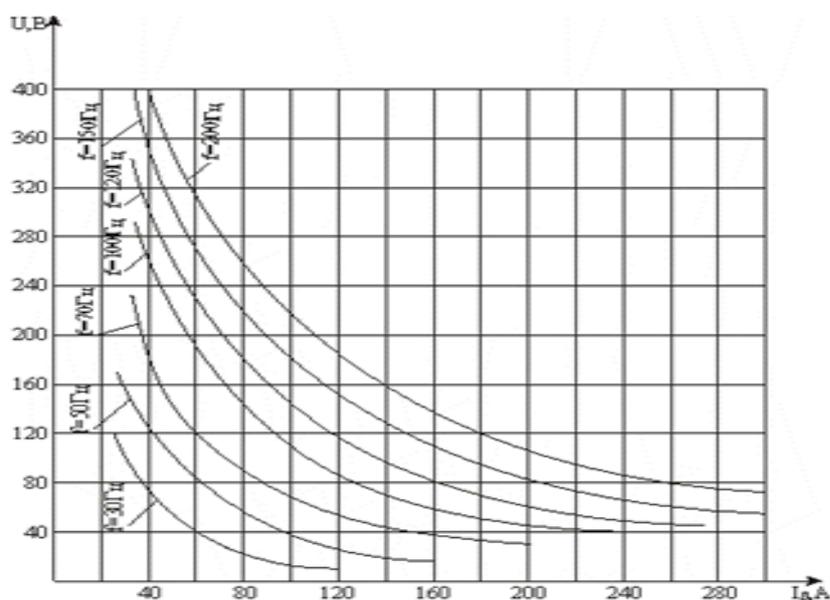


Рисунок 2

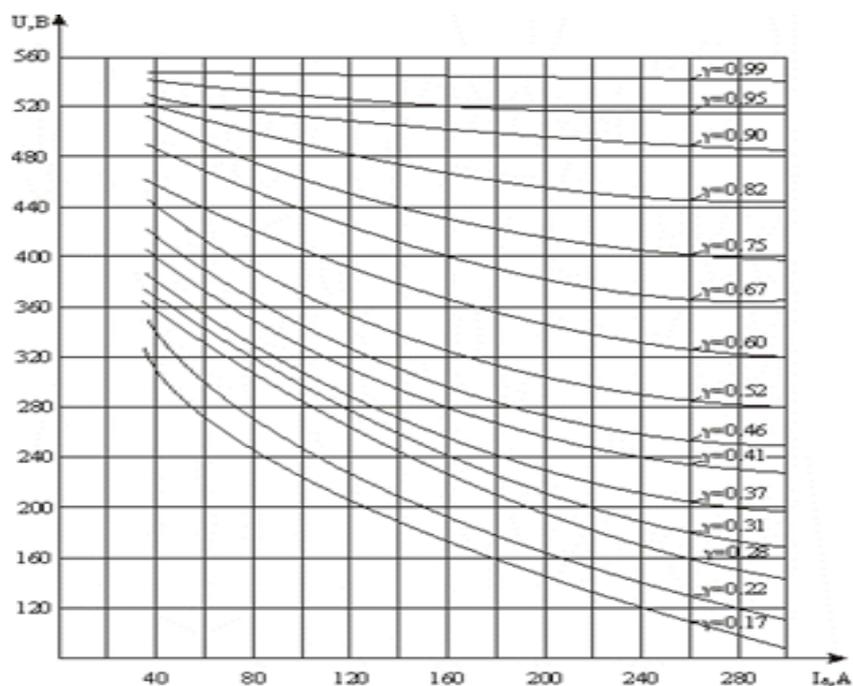


Рисунок 3

Проблема достижения высокой коммутационной устойчивости, аппаратуры «ИМПУЛЬС» была решена за счет нового принципа построения структуры системы управления (рисунок 4) силовой схемой [4-б], в основе которой находятся датчики уровня зарядки коммутирующего конденсатора силовой схемы ГОИ1 и ГОИ2, которые контролируют уровень зарядки коммутирующего конденсатора на каждом цикле работы силовой схемы и обеспечивают отпирание силовых тиристоров формирователями импульсов ФИ-1 и ФИ-2 только после достижения коммутирующим конденсатором уровня зарядки, необходимого для надежного запираения рабочих тиристоров. Управление режимом работы осуществляется устройствами задержки импульсов ГИ и ГП посредством воздействия на них регулятором-переключателем РП. За счет такого построения системы управления происходит корректировка длительности каждого цикла работы схемы с целью обеспечения требуемого уровня зарядки коммутирующего конденсатора, что обеспечивает надежное запираение рабочих тиристоров и исключает возникновение срывов

коммутации. Запуск системы управления осуществляется генератором запуска ГЗ, при помощи которого также производится контроль уровня напряжения на конденсаторе входного фильтра при первоначальной зарядке коммутирующего конденсатора. На структурной схеме системы управления (рисунок 4) обозначены точки силовой схемы куда подсоединяются входные зажимы блоков ГЗ и ГОИ.

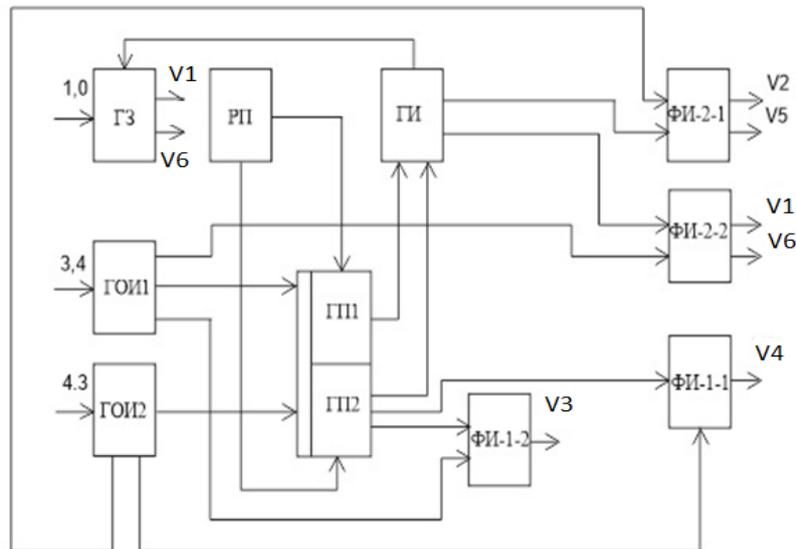


Рисунок 4

Новый принцип построения системы управления силовой схемой был защищен авторскими свидетельствами на изобретения и патентом [3], полученными авторами еще при существовании Советского Союза.

С целью достижения высокой надежности и низкой стоимости все блоки системы управления выполнены на диодных переключающих элементах (тиристоры, стабилитроны, диоды) [6,7], что позволило путем простых схемных решений обеспечить высокий уровень управляющих сигналов по сравнению с уровнем помех и работу блоков системы в дискретном (цифровом) режиме, с высокой помехоустойчивостью.

Заключение

Отличительными особенностями аппаратуры «ИМПУЛЬС» являются:

- высокая коммутационная устойчивость.
- расширенный диапазон регулирования скорости;
- высокая помехоустойчивость;
- простые схемные решения;
- высокая ремонтпригодность.

Вначале был разработан первый вариант этой аппаратуры «ИМПУЛЬС-1», предназначенный для использования на всех типах рудничных контактных электровозов работающих от контактной сети постоянного тока с номинальным напряжением 250 В, которые эксплуатировались практически на всех рудниках бывшего Советского Союза. Комплект аппаратуры «ИМПУЛЬС-1», изготовленный силами сотрудников Карагандинского технического университета, был смонтирован на электровозе К14 который эксплуатировался в подземных условиях Лениногорского рудника Лениногорского полиметаллического комбината. 4 августа 1976 года был издан приказ №593 по Министерству цветной металлургии Казахской ССР о создании комиссии для проведения промышленных испытаний системы «ИМПУЛЬС-1», на Лениногорском полиметаллическом комбинате за подписью и. о. Министра цветной металлургии Казахской ССР И.Б. Едильбаева. По результатам работы Комиссия 29 декабря 1977 года составила акт о том, что тиристорная система «Импульс-1» успешно прошла испытания в реальных промышленных условиях 11 горизонта Лениногорского рудника Лениногорского полиметаллического комбината.

Параллельно с этим проводилась работа по созданию второго (более мощного) варианта аппаратуры «ИМПУЛЬС-3-600», работающей от контактной сети постоянного тока с номинальным напряжением 550В, предназначенного для управления электровозами типа ЕЛ-13 (производства ФРГ), которые используются в Казахстане, для откатки руды в подземных условиях рудников Жезказгана. Специальная комиссия

Министерства цветной металлургии СССР провела обследование опытного образца системы «Импульс-3-600», приняла его в опытно-промышленную эксплуатацию и рекомендовала к внедрению (о чем свидетельствует Акт от 20.11.80 г. утвержденный первым заместителем Министра цветной металлургии СССР Л.В. Козловым от 20.01.1981г). Этот опытный образец аппаратуры «ИМПУЛЬС-3-600» успешно эксплуатировался в течение трех лет на горизонте 180 м. шахты № 57 Восточно-Джезказганского рудника (что подтверждает специальный Акт о техническом состоянии этого опытного образца от 20 июня 1983г).

Первый заместитель Министра цветной металлургии СССР Л.В. Козлов 23.03.1984г. утвердил «ПРОГРАММУ работ по переводу рудничного локомотивного транспорта Жезказганского горно-металлургического комбината на бесконтактное управление на основе тиристорной системы «ИМПУЛЬС-3-600» в период 1984-1987гг.» Запланировано было изготовление 50 комплектов аппаратуры «Импульс-3-600», которое было поручено объединению «ЦЕНТРЭНЕРГОЦВЕТМЕТ». Была подготовлена вся техническая документация, необходимая для изготовления аппаратуры «ИМПУЛЬС-3-600», а именно:

- заявка на разработку и освоение изделия Тиристорная система управления тяговыми двигателями рудничных электровозов «ИМПУЛЬС-3-600»;

- техническое задание на изготовление опытной партии тиристорной системы «ИМПУЛЬС-3-600»;

- расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения одного комплекта тиристорной системы «ИМПУЛЬС-3-600».

Подготовленная техническая документация прошла контрольную экспертизу по вопросам общей безопасности в головном Государственном проектном научно-исследовательском институте ГИПРОНИКЕЛЬ (Заключение № 89-к. от 18.01 1980г.) Конструкторы объединения

ЦЕНТРЭНЕРГОЦВЕТМЕТ» разработали рабочие чертежи для изготовления аппаратуры «ИМПУЛЬС-3-600», по которым (на своей технической базе в городе Кольчугино) был изготовлен один (головной) образец аппаратуры «ИМПУЛЬС-3-600», который затем был смонтирован на электровозе EL-13 и успешно эксплуатировался на горизонте 180 метров шахты № 57 Восточно–Жезказганского рудника.

К сожалению, начавшая в стране ПЕРЕСТРОЙКА привела к нарушению технических связей между предприятиями и в результате изготовление аппаратуры «ИМПУЛЬС» было приостановлено. Было приостановлено и финансирование исследовательских работ в этом направлении, несмотря на это в Карагандинском техническом университете продолжалась работа над совершенствованием аппаратуры «ИМПУЛЬС» и расширением областей ее применения. Были разработаны две модификации аппаратуры «ИМПУЛЬС» – одна для управления трамваем – другая для управления троллейбусом. Разрабатывалась также аппаратура «ИМПУЛЬС-1500» для управления электровозами промышленного транспорта эксплуатируемых в карьерах, работающими от контактной сети постоянного тока с номинальным напряжением 1500 В.

Использование системы «ИМПУЛЬС-3-600» на электровозе EL-13 по сравнению с контактно-реостатной системой управления, позволяет:

- экономить до 30-40% электроэнергии;
- увеличить срок службы тяговых электродвигателей в 5-7 раз;
- снизить нагрузки на тяговую подстанцию;
- снизить потери энергии в контактной сети;
- снизить динамические усилия на элементы трансмиссии электровоза и на подвижной состав, что позволяет в 2-3 раза увеличить межремонтный интервал эксплуатации электровоза и срок службы вагонов;
- повысить безопасность и комфортность работы машиниста электровоза.

Литература

1. Лапина Л.М., Каракулин М.Л., Анализ процессов, происходящих при работе тиристорно-импульсного преобразователя рудничного электровоза// Автоматика и Информатика. Караганда. 2017. № 1. С.13-18.
2. Лапина Л.М., Каракулин М.Л., Обоснование факторов, влияющих на уровень зарядки коммутирующего конденсатора //Труды Карагандинского технического университета, Караганда. 2017. № 3. С.96-99.
3. Каракулин М.Л., Лапина Л.М., Дайч Л.И., Каракулин Е.М. Анализ коммутационной устойчивости тягового тиристорного электропривода// Приводная техника. 2011. № 2. С. 19-22.
4. Каракулин М.Л. Адаптивные импульсные регуляторы для рудничных контактных электровозов // Горный журнал, 1984, №2, С. 56-57.
5. Каракулин М.Л. Внедрение тягового тиристорного электропривода на рудничных контактных электровозах//Автоматика и Информатика. Караганда. 1999. № 3-4. С.52-55
6. Каракулин М.Л. Системы управления тиристорными преобразователями на диодных переключающих элементах// Горный журнал, 1984, №8, с. 53-55
7. Патент SU 961122 Устройство для задержки импульсов Адамович Ю.Ф., Каракулин М.,Л. Опубликовано 23.09.1982.
8. Патент SU 1056412 Электропривод постоянного тока. Адамович Ю.Ф., Бойчевский В.И., Каракулин М.Л., Карманов С.Г. Опубликовано 23.11.1983.

References

1. Lapina L.M., Karakulin M.L. Analiz processov, proishodjashhih pri rabote tiristorno-impul'snogo preobrazovatelja rudnichnogo jelektrovoza [Analysis of the processes occurring during the operation of a thyristor-pulse converter of a

mine electric locomotive]. Avtomatika i Informatika [Automation and Informatics]. Karaganda, 2017, no 1, pp. 13-18.

2. Lapina L.M., Karakulin M.L. Obosnovanie faktorov, vlijajushhih na uroven' zarjadki kommutirujushhego kondensatora [Substantiation of factors affecting the charge level of the switching capacitor]. Trudy Karagandinskogo tehničeskogo universiteta [Proceedings of Karaganda Technical University]. Karaganda, 2017, no 3, pp. 96-99.

3. Karakulin M.L., Lapina L.M., Dajch L.I., Karakulin E.M. Analiz kommutacionnoj ustojchivosti t'jagovogo tiristornogo jelektroprivoda [Analysis of the switching stability of a traction thyristor electric drive]. Privodnaja tehnika [Drive technology]. Moscow, 2011, no 2, pp. 19-22.

4. Karakulin M.L. Adaptivnye impul'snye reguljatory dlja rudnichnyh kontaktnyh jelektrovozov [Adaptive impulse controllers for mine contact electric locomotives]. Gornyj zhurnal [Mining magazine]. Moscow, 1984, no 2, pp. 56-57.

5. Karakulin M.L. Vnedrenie t'jagovogo tiristornogo jelektroprivoda na rudnichnyh kontaktnyh jelektrovozah [Introduction of a traction thyristor electric drive on mine contact electric locomotives]. Avtomatika i Informatika [Automation and Informatics]. Karaganda, 1999, no 3-4, pp. 52-55.

6. Karakulin M.L. Sistemy upravlenija tiristornymi preobrazovateljami na diodnyh pereklyuchajushhih jelementah [Control systems for thyristor converters based on diode switching elements]. Gornyj zhurnal [Mining magazine]. Moscow, 1984, no 8, pp. 53-55.

7. Patent SU 961122 Ustrojstvo dlja zaderzhki impul'sov. Adamovich Ju.F., Karakulin M., L. Opublikovano 23.09.1982.

8. Patent SU 1056412 Jelektroprivod postojannogo toka. Adamovich Ju.F., Bojchevskij V.I., Karakulin M.L., Karmanov S.G. Opublikovano 23.11.1983.