

# ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И РАДИОТЕХНИКА

---

УДК 621.316.925

DOI 10.21685/2072-3059-2019-3-6

*Н. А. Агафонов, А. И. Агафонов, Т. Ю. Бростилова, К. О. Кильдюшкин*

## ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, АВТОМАТИКИ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### **Аннотация.**

*Актуальность и цели.* Актуальность работы заключается в разработке системы автоматизации, управления, контроля и защиты в электроэнергетических системах (ЭЭС) путем замены устаревшей элементной базы на электро-механических реле на современную микропроцессорную элементную базу. Целью работы является обеспечение надежного качественного электроснабжения потребителей путем создания цифровой системы управления, автоматики и защиты ЭЭС на микропроцессорной элементной базе.

*Материалы и методы.* Рассмотрены особенности проектирования релейной защиты и автоматики (РЗА) на микропроцессорных устройствах для ЭЭС. Выполнен сравнительный анализ структурных схем устройств РЗА на электро-механической и микропроцессорной элементной базах, представлены: принцип работы устройства РЗА с учетом обязательных для них структурных частей (измерительной, логической, управляющих частей источника оперативного тока); проблема более низкой помехозащищенности цифровых устройств РЗА в результате значительного снижения порога чувствительности цифровых схем РЗА к уровню помех в ЭЭС.

*Результаты и выводы.* Все это требует разработки сложных технических средств в части низковольтных источников питания, источников бесперебойного электропитания повышенной надежности и помехозащищенности, систем заземления и экранирования с учетом обеспечения повышенной электромагнитной совместимости. Все предлагаемые решения по повышению помехозащищенности и надежности современной РЗА на микропроцессорных устройствах обеспечивают надежное и качественное энергоснабжение в соответствии с требованиями ГОСТ 13109, а также дешевого и надежного электроснабжения потребителей за счет более эффективного управления. Подсистема РЗА на микропроцессорных устройствах с учетом существующих в ЭЭС автоматической системы диспетчерского управления и автоматической подсистемы контроля и учета электроэнергии обеспечивают надежное функционирование ЭЭС.

---

© Агафонов Н. А., Агафонов А. И., Бростилова Т. Ю., Кильдюшкин К. О., 2019. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

**Ключевые слова:** микропроцессорные устройства, цифровая техника, надежность, снижение стоимости.

*N. A. Agafonov, A. I. Agafonov, T. Yu. Brostilova, K. O. Kil'dyushkin*

## **FEATURES AND PROBLEMS OF THE DESIGN OF MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEMS, AUTOMATION AND PROTECTION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS**

### **Abstract.**

*Background.* The relevance of the work lies in the development of a system of automation, control, and protection in electric power systems (PS) by replacing the outdated element base on electro-mechanical relays with a modern microprocessor element base. The aim of the work is to provide reliable high-quality power supply to consumers by creating a digital control system, automation and protection of the PS on a microprocessor element base.

*Materials and methods.* The features of the design of relay protection and automation (RPA) on microprocessor devices for PS are considered. A comparative analysis of the structural schemes of RPA devices on Electromechanical and microprocessor element bases is carried out, the following are presented: the principle of operation of RPA devices taking into account the structural parts required for them (measuring, logic, control parts of the operational current source); the problem of lower noise immunity of digital RPA devices as a result of a significant decrease in the threshold of sensitivity of digital RPA circuits to the level of interference in the PS.

*Results and conclusions.* All this requires the development of complex technical means in terms of low-voltage power supplies, uninterruptible power supplies of increased reliability and noise immunity, grounding and shielding systems, taking into account the provision of increased electromagnetic compatibility. All the proposed solutions to improve the noise immunity and reliability of modern RPA on microprocessor devices provide reliable and high-quality power supply in accordance with the requirements of GOST 13109, as well as cheap and reliable power supply to consumers through more efficient management. The RPA subsystem on microprocessor devices, taking into account the existing automatic dispatching control system and automatic subsystem of control and accounting of electricity, ensure reliable operation of the PS.

**Keywords:** microprocessor devices, digital technology, reliability, cost reduction.

### **1. Некоторые проблемы при создании микроэлектроники и микропроцессорных устройств**

Микроэлектроника и микропроцессорные устройства являются новым научно-техническим направлением электроники, которое на базе сложного комплекса физических, химических, схемотехнических, технологических методов и математического моделирования, а также богатого опыта проектирования высоконадежной и экономичной электронной аппаратуры решает проблему создания высоконадежных и экономичных микроминиатюрных электронных схем и устройств [1–14].

Микропроцессорные устройства и микроэлектронику часто не отличают от микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры и вычислитель-

ной техники, в то время как это два существенно разных направления. Например, если главной целью микроминиатюризации аппаратуры является обеспечение минимальных размеров устройств, собранных из малогабаритных деталей, то для микропроцессорной техники и микроэлектроники центральной является проблема создания максимально надежных элементов, схем и устройств и разработка надежных и дешевых методов их соединений путем особых технологических процессов. При решении этой проблемы решается также задача микроминиатюризации, что представляет собой высшее, качественно новое направление микроминиатюризации.

Главная задача микроэлектроники и микропроцессорных устройств заключается в создании надежных устройств путем максимального исключения ненадежных элементов и ненадежных методов их производства и соединения, снижения мощности потребления и облегчения режимов работы, использования новых схем, методов построения элементов и устройств на новых физических принципах [4–12].

Вторая по важности задача при создании микропроцессорных устройств и микроэлектроники заключается в максимальном снижении их стоимости путем исключения нерациональных операций, сокращения числа соединений, исключения раздельной герметизации элементов и перехода к герметизации схем, узлов и блоков.

Для решения этих задач в микропроцессорной технике и микроэлектронике используются новейшие достижения физики, химии, металлургии, радиотехники, электротехники, математики, приборостроения, биологии (бионики), оптоэлектроники и других наук.

При создании микропроцессорных устройств и микроэлектроники используются два направления развития:

- 1) универсализация элементов и упрощение выполняемых ими функций, что сокращает число различных типов элементов;
- 2) специализация элементов и усложнение выполняемых ими функций, что значительно уменьшает число разновидностей функциональных элементов.

Каждое из этих направлений имеет свои достоинства и недостатки, которые и определяют области преимущественного применения.

Первое направление обеспечивает значительное упрощение технологии изготовления отдельных элементов, что позволяет значительно снизить их стоимость за счет организации массового производства, повышает технологичность и надежность элементов и схем на их базе.

Однако для более сложных систем это приведет к увеличению числа однотипных элементов, росту числа связей между ними, что в целом снизит надежность таких систем. Практически первое направление может быть перспективным только для простых систем из небольшого числа элементов. Для повышения надежности сложных систем можно использовать резервирование, что потребует значительного увеличения числа элементов и связей между ними. При этом, с одной стороны, увеличение числа элементов при резервировании повышает надежность, но, с другой стороны, надежность системы уменьшается при увеличении общего числа элементов. Поэтому при данном способе резервирования существует определенный предел логической мощности системы на данных элементах.

Второе направление обеспечивает значительное уменьшение числа сложных функциональных элементов в аппаратуре и связей между ними, что

требует разработки большого числа различных схем, усложнения технологии их изготовления, повышает стоимость и снижает процент выхода годных схем и их надежность.

В системах с большим числом элементов сложные функциональные элементы более перспективны. Их использование в целом позволяет снизить стоимость аппаратуры при одновременном значительном увеличении надежности за счет общего сокращения числа элементов, связей между ними, удешевления монтажных, наладочных и ремонтных работ, что перекрывает расходы, связанные со значительной стоимостью сложных элементов.

Именно с этим направлением связан процесс создания и развития микропроцессорной техники.

## **2. Основные характеристики микропроцессорных устройств**

В настоящее время отмечается тенденция перевода оборудования релейной защиты и автоматики (РЗА) с электромеханических реле и устройств на цифровую элементную базу. Переход на новую элементную базу не приводит к изменению принципов релейной защиты и электроавтоматики, не только расширяет ее функциональные возможности, но упрощает эксплуатацию и снижает ее стоимость. Именно по этим причинам микропроцессорные устройства очень быстро занимают место устаревших электромеханических и микроэлектронных реле [4–14].

Основные характеристики микропроцессорных защит значительно выше, чем у микроэлектронных, а тем более электромеханических. Так, мощность, потребляемая от измерительных трансформаторов тока и напряжения, находится на уровне 0,1–0,5 ВА, аппаратная погрешность – в пределах 2–5 %, коэффициент возврата измерительных органов составляет 0,96–0,97.

Переход на цифровые способы обработки информации в устройствах РЗА не привел к появлению каких-либо новых принципов построения защиты электроустановок, но существенно улучшил эксплуатационные качества реле.

Современные цифровые устройства РЗА интегрированы в рамках единого информационного комплекса функции релейной защиты, измерения, регулирования и управления электроустановкой. Такие устройства в структуре автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) энергетического объекта являются оконечными устройствами сбора информации. В интегрированных цифровых комплексах РЗА появляется возможность перехода к новым нетрадиционным измерительным преобразователям тока и напряжения – на основе оптоэлектронных датчиков, трансформаторов без ферромагнитных сердечников и т.д. Эти преобразователи технологичнее при производстве, обладают очень высокими метрологическими характеристиками, но имеют малую выходную мощность и непригодны для работы с традиционной аппаратурой.

Цифровые устройства релейной защиты различного назначения имеют много общего, а их структурные схемы очень похожи и подобны представленной на рис. 1. Центральным узлом цифрового устройства является микроЭВМ (микропроцессор), который через свои устройства ввода-вывода обменивается информацией с периферийными узлами. С помощью этих дополнительных узлов осуществляется сопряжение микроЭВМ (микропроцессора)

с внешней средой: датчиками исходной информации, объектом управления, оператором и т.д.

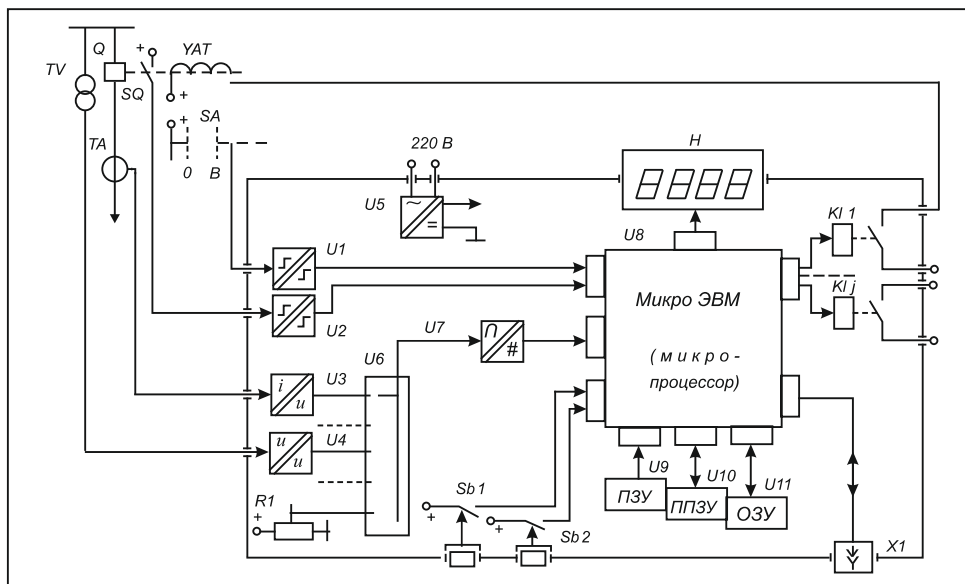


Рис. 1. Структурная схема цифровой релейной защиты и автоматики:  
ПЗУ – постоянное запоминающее устройство; ППЗУ – полупроводниковое  
запоминающее устройство; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство

Следует отметить, что в реальном устройстве релейной защиты может использоваться несколько микропроцессоров (МП), каждый из которых будет занят решением отдельного фрагмента общей задачи с целью обеспечения высокого быстродействия. Так, фирма ALSTOM для этой цели использует один мощный процессор, а фирма ABB использует 4–10 МП, работающих параллельно.

Базовыми узлами цифрового устройства РЗА являются (рис. 1): входные U1–U4 и выходные KL1–KLJ преобразователи сигналов, тракт аналого-цифрового преобразования U6, U7, кнопки управления и ввода информации от оператора SB1, SB2, дисплей H для отображения информации и блок питания U5. Современные цифровые устройства, как правило, оснащаются и коммуникационным портом X1 для связи с другими устройствами через интерфейс.

Под интерфейсом понимается совокупность аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации взаимодействия различных цифровых устройств, объединенных в систему. По принципу обмена информацией интерфейсы подразделяются на интерфейсы с *параллельной* и *последовательной* передачей данных.

Наиболее быстрый обмен информацией между двумя цифровыми устройствами обеспечивает параллельный интерфейс, упрощенная схема которого представлена на рис. 2,а. Число каналов связи при параллельной передаче равно числу разрядов кодовых комбинаций, рис. 2,б поясняет работу последовательного интерфейса.

Структурная схема устройства обработки информации и управления объектом регулирования в РЗА может строиться тремя различными способами:

1. Аппаратное решение с использованием «жесткой логики», т.е. не изменяемой структуры на все время эксплуатации системы. Это, по существу, замена реле в системе электронными схемами, выполняющими те же логические операции. Используются при этом интегральные схемы средней степени интеграции и дискретные элементы. Изменение алгоритма обработки информации можно осуществить только изменением схемы устройства, это серьезный недостаток способа. Достоинством является высокое быстродействие схемы, ремонтпригодность (можно заменить один вышедший из строя элемент).

2. Программно-аппаратное выполнение устройства. Основные логические операции выполняются в аппаратном варианте, но алгоритм работы в целом задается программными методами. Это позволяет, при необходимости, заменить алгоритм действия сменой одного узла ПЗУ, что выполняется достаточно быстро и не требует значительных затрат. По быстродействию этот способ несколько уступает первому, так как извлечение очередной команды из ПЗУ требует нескольких тактов работы схемы управления ПЗУ. С учетом быстродействия современных микросхем памяти задержка срабатывания на несколько десятков наносекунд несущественно влияет на общее время работы РЗА. Важное достоинство – возможность оперативного изменения алгоритма работы защиты.

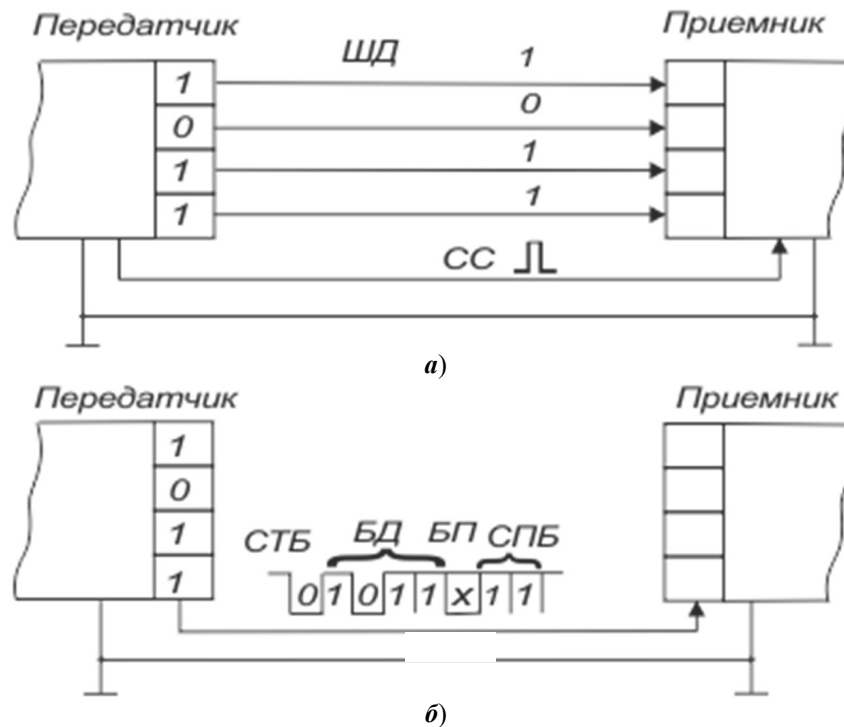


Рис. 2. Варианты обмена информацией

3. Программное исполнение устройства управления защитой системы содержит входное устройство, включающее аналого-цифровой преобразова-

тель, арифметико-логическое устройство и исполнительный блок. Достоинства: широкая возможность выбора и оперативной коррекции алгоритма работы релейной защиты, компактный монтаж на печатной плате, меньшее число соединений между корпусами микросхем, экономичность цепей питания. Все это вместе взятое повышает надежность схемы управления. Специализированные большие интегральные микросхемы позволяют выполнить весь монтаж схемы управления на 3–5 корпусах интегральных микросхем, а размеры печатной платы менее чем  $100 \times 100 \text{ мм}^2$ . Быстродействие такого микроконтроллера незначительно уступает скорости обработки информации в первом и втором вариантах, превышая скорость работы электромеханических реле (10–40 мс) примерно в 1000 раз. Остается серьезная проблема при использовании полупроводниковых устройств – обеспечить надежную защиту импульсных схем от воздействия перенапряжений и высокочастотных помех, особенно импульсных.

### Заключение

В статье рассмотрены особенности и проблемы проектирования микропроцессорных систем управления автоматике и защиты сложных высоковольтных электроэнергетических систем напряжением до 200–700 кВ. Отмечается, что в настоящее время практически во всех развитых странах мира протекает трудный процесс замены электромеханических устройств РЗА на микропроцессорные устройства. При этом МПУ, являясь новым научно-техническим направлением, решают комплексную задачу создания максимально надежных элементов, схем и устройств за счет применения новых схем, методов их соединения, построения элементов и устройств на новых физических принципах, для чего в МПУ используются новейшие достижения физики, химии, металлургии, радиотехники, электротехники, математики, приборостроения, оптоэлектроники и других наук. При этом характеристики релейных защит на МПУ значительно выше, чем у электромеханических реле, особенно в части надежности, мощности потребления, габаритов и условий эксплуатации.

В целом цифровые устройства обладают всеми достоинствами, достигнутыми с помощью электронных реле с аналоговыми принципами обработки информации. Это более близкий к единице коэффициент возврата измерительных органов (0,96–0,97 вместо 0,800–0,85 у механических реле), малое потребление мощности от трансформаторов тока и напряжения (на уровне 0,1–0,5 ВА вместо 10–30 ВА у электромеханических реле). Правда, при этом электронным реле требуется надежный и стабилизированный источник питания и источник бесперебойного электропитания. Практически независимо от числа реализуемых функций цифровое устройство релейной защиты потребляет от сети оперативного тока мощность порядка 5–20 Вт.

### Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации». С изменениями и дополнениями от 16 декабря 2015 г. – Москва, 2015.
2. **Агафонов, А. И.** Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : учеб. пособие / А. И. Агафонов, М. В. Постнов, В. С. Савоськин. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – 210 с.

3. **Агафонов, А. И.** Исследование моделей релейной защиты и автоматики с использованием набора базовых модулей основных узлов РЗА и ЭЭС и компьютерной технологии : лабораторный практикум / А. И. Агафонов. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – 146 с.
4. **Агафонов, А. И.** Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : учеб. пособие / А. И. Агафонов, Т. Ю. Бростилова, Н. Б. Джазовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2017. – 296 с.
5. **Юэн, Ч. К.** Микропроцессорные системы и их применение при обработке сигналов / Ч. К. Юэн, К. Дж. Бичем, Дж. П. С. Робинсон ; пер. с англ. Т. Э. Кренкеля / под ред. Б.А. Калабекова. – Москва : Радио и связь, 1986. – 296 с.
6. Проектирование импульсных и цифровых устройств радиотехнических систем: учеб. пособие / Ю. П. Гришин, Ю. М. Казаринов, В. М. Катиков, Г. В. Мармузов, В. Н. Номоконов, Г. И. Пухальский. – Москва : Высшая школа, 1985. – 319 с.
7. **Токхайм, Р. Л.** Микропроцессоры. Курс и упражнения / Р. Токхайм ; пер. с англ. В. Н. Грасевича и Л. А. Ильяшенко. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 336 с.
8. **Калабеков, Б. А.** Микропроцессоры и их применение в системах передачи и обработки сигналов : учеб. пособие для вузов / Б. А. Калабеков. – Москва : Радио и связь, 1988. – 368 с.
9. **Новиков, Ю.В.** Основы микропроцессорной техники : учеб. пособие / Ю. В. Новиков, П. К. Скоробогатов. – Изд. 4-е, испр. – Москва, 2012. – 375 с.
10. Микропроцессорные системы автоматического управления / под ред. И. А. Бесекерского и др. – Ленинград : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1988. – 364 с.
11. Микропроцессорные средства обработки и отображения информации в системах управления и связи : сб. ст. – Москва : Радио и связь, 1988. – 158 с.
12. **Бойченко, О. В.** Построение информационной модели цифровой подстанции на основе стандарта МЭК 61850 / О. В. Бойченко, В. С. Дячук // Международный научно-технический журнал. – 2016. – № 4-2 (46). – С. 39–42.
13. **Горелик, Т. Г.** Цифровая подстанция. Стратегия реализации / Т. Г. Горелик, Т. В. Дроздова // Релейная защита и автоматизация. – 2012. – № 2. – С. 64–65.
14. **Войнов, А. С.** Методика автоматической генерации систем функциональных блоков, реализующих человеко-машинный интерфейс для автоматизации цифровых подстанций МЭК 61850 / А. С. Войнов, В. Н. Дубинин, В. В. Вяткин, Ч.-В. Янг // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2018. – № 1 (45). – С. 76–91.

### **References**

1. *Ukaz Prezidenta RF ot 7 iyulya 2011 g. № 899 «Ob utverzhdenii prioritnykh napravleniy razvitiya nauki, tekhnologii i tekhniki v Rossiyskoy Federatsii i perechnya kriticheskikh tekhnologii Rossiyskoy Federatsii». S izmeneniyami i dopolneniyami ot 16 dekabrya 2015 g.* [Ordinance of the President of Russia of 07.07.2011 No. 899 “On approval of priority directions of scientific, technological and engineering development in the Russian Federation the list of critical technologies of the Russian Federation”. Amended and supplemented on 16.12.2015]. Moscow, 2015. [In Russian]
2. Agafonov A. I., Postnov M. V., Savos'kin V. S. *Releynaya zashchita i avtomatika elektroenergeticheskikh sistem: uchebnoe posobie* [Relay protection and automation of electrical power systems: tutorial]. Penza: Izd-vo PGU, 2013, 210 p. [In Russian]
3. Agafonov A. I. *Issledovanie modeley releynoy zashchity i avtomatiki s ispol'zovaniem nabora bazovykh moduley osnovnykh uzlov RZA i EES i komp'yuternoy tekhnologii: laboratornyy praktikum* [A research of models of relay protection and automation using a



- set of base modules of main nodes of RPA and EPS and computer technologies: a laboratory practice]. Penza: Izd-vo PGU, 2013, 146 p. [In Russian]
4. Agafonov A. I., Brostilova T. Yu., Dzhazovskiy N. B. *Sovremennaya reley'naya zashchita i avtomatika elektroenergeticheskikh sistem: uchebnoe posobie* [Modern relay protection and automation of electrical power systems: tutorial]. 2nd ed., rev. and suppl. Penza: Izd-vo PGU, 2017, 296 p. [In Russian]
  5. Yuen Ch. K., Bichem K. Dzh., Robinson Dzh. P. S. *Mikroprotsessornye sistemy i ikh primeneniye pri obrabotke signalov* [Microprocessor systems and their application in signal processing]. Transl. from Engl. by T. E. Krenkel. Moscow: Radio i svyaz', 1986, 296 p. [In Russian]
  6. Grishin Yu. P., Kazarinov Yu. M., Katikov V. M., Marmuzov G. V., Nomokonov V. N., Pukhal'skiy G. I. *Proektirovaniye impul'snykh i tsifrovyykh ustroystv radiotekhnicheskikh sistem: uchebnoe posobie* [Design of impulse and digital devices of radio technical systems: tutorial]. Moscow: Vysshaya shkola, 1985, 319 p. [In Russian]
  7. Tokkhaym R. L. *Mikroprotsessory. Kurs i upravneniya* [Microprocessors. The course and exercises]. Transl. from Engl. by V. N. Grasevich and L. A. Il'yashenko. Moscow: Energoatomizdat, 1988, 336 p. [In Russian]
  8. Kalabekov B. A. *Mikroprotsessory i ikh primeneniye v sistemakh peredachi i obrabotki signalov: uchebnoe posobie dlya vuzov* [Microprocessors and their application in signal transmission and processing systems: tutorial for universities]. Moscow: Radio i svyaz', 1988, 368 p. [In Russian]
  9. Novikov Yu.V., Skorobogatov P. K. *Osnovy mikroprotsessornoy tekhniki: uchebnoe posobie* [Essentials of microprocessor technology: tutorial]. 4th ed, rev. Moscow, 2012, 375 p. [In Russian]
  10. *Mikroprotsessornye sistemy avtomaticheskogo upravleniya* [Microprocessor systems of automatic control]. Eds. I. A. Besekerskiy et al. Leningrad: Mashinostroenie, Leningradskoe otdeleniye, 1988, 364 p. [In Russian]
  11. *Mikroprotsessornyye sredstva obrabotki i oobrazheniya informatsii v sistemakh upravleniya i svyazi: sb. st.* [Microprocessor means of information processing and display in control and communication systems: collected articles]. Moscow: Radio i svyaz', 1988, 158 p. [In Russian]
  12. Boychenko O. V., Dyachuk V. S. *Mezhdunarodnyy nauchno-tekhnicheskyy zhurnal* [International scientific and technical journal]. 2016, no. 4-2 (46), pp. 39–42. [In Russian]
  13. Gorelik T. G., Drozdova T. V. *Reley'naya zashchita i avtomatizatsiya* [Relay protection and automation]. 2012, no. 2, pp. 64–65. [In Russian]
  14. Voynov A. S., Dubinin V. N., Vyatkin V. V., Yang Ch.-V. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskyye nauki* [University proceedings. Volga region. Engineering sciences]. 2018, no. 1 (45), pp. 76–91. [In Russian]

---

**Агафонов Никита Андреевич**  
студент, Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: merundagon12@gmail.com

**Agafonov Nikita Andreevich**  
Student, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

***Агафонов Анатолий Иванович***

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра электроэнергетики  
и электротехники, Пензенский  
государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: niivt@inbox.ru

***Agafonov Anatoliy Ivanovich***

Candidate of engineering sciences,  
associate professor, sub-department  
of power and electrical engineering,  
Penza State University (40 Krasnaya street,  
Penza, Russia)

***Бростилова Татьяна Юрьевна***

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра электроэнергетики  
и электротехники, Пензенский  
государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: tat-krupkina@yandex.ru

***Brostilova Tat'yana Yur'evna***

Candidate of engineering sciences, associate  
professor, sub-department of power  
and electrical engineering, Penza State  
University (40 Krasnaya street,  
Penza, Russia)

***Кильдюшкин Кирилл Олегович***

студент, Пензенский государственный  
университет (Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40)

E-mail: nekirille@yandex.ru

***Kil'dyushkin Kirill Olegovich***

Student, Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Агафонов, Н. А. Особенности и проблемы проектирования микропроцессорных систем управления, автоматики и защиты электроэнергетических систем / Н. А. Агафонов, А. И. Агафонов, Т. Ю. Бростилова, К. О. Кильдюшкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2019. – № 3 (51). – С. 69–78. – DOI 10.21685/2072-3059-2019-3-6.