

тельно большими. Работа таких электродвигателей при несинусоидальном напряжении чревата опасностью недопустимого перегрева и повреждения обмотки возбуждения.

**Потери в трансформаторах.** В трансформаторах добавочные потери на частотах ВГ зависят от конструкции в двухобмоточных трансформаторах. Суммарные потери, обусловленные токами ВГ, составляют:

$$\Delta P_{\Sigma V} = 0,6 \frac{\Delta P_{K3}}{u_{K3}^2} \sum_{v=2}^n \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} (1 + 0,05v^2).$$

**Потери от высших гармоник в ЛЭП** определяются из выражения:

$$\Delta P_{\Sigma в.г. ЛЭП} = 3 \sum_{n=2}^n I_{(n)}^2 r_{0(n)} k_{r(n)},$$

Коэффициент изменения активного сопротивления токоведущих частей на частоте  $n$ -й гармоники  $k_{r(n)} = \sqrt{n}$ .

Активное сопротивление проводника на частоте  $n$ -й гармоники

$$r_{0(n)} = r_0 (K_n + K_b),$$

где  $K_n$  и  $K_b$  – коэффициенты, учитывающие соответственно поверхностный эффект и эффект близости проводников в линии электропередач.

Общие потери от высших гармоник в электрооборудовании и в линиях электропередачи определяются суммой потерь электроэнергии по элементам.

Иногда добавочные потери от ВГ достигают значительного уровня, что исчисляется миллионными убытками при наличии производстве большого количества электрооборудования средней и большой мощности. В качестве технических средств направленных на снижения уровня гармоник можно выделить два метода: рациональное проектирование схемы электроснабжения; применение специальных технических средств.

Снижение уровней гармоник рациональным построением схемы электроснабжения, при которой обеспечивается допустимый уровень гармоник напряжения на шинах потребителя, осуществляется путем выделения нелинейных нагрузок на секции шин, питающиеся от отдельных двухобмоточных трансформаторов или отдельных обмоток трехобмоточных трансформаторов связи с энергосистемой; подключения параллельно нелинейным нагрузкам синхронных электродвигателей и компенсаторов, асинхронных электродвигателей и других линейных нагрузок. Очевидно, что этот метод может быть успешно применен в стадии проектирования или при капитальной реконструкции.

Метод применения специальных технических средств, прежде всего, предусматривает применение различного рода фильтров и фильтрокомпенсирующих устройств, которые регулируются на определенные гармоники, особенностью работы фильтров является возможность беспрепятственно пропускать к приемникам токи одних частот и задерживать или пропускать, но с большим затуханием, токи других частот.

#### Список литературы

1. Семёнов А.С., Бондарев В.А. Выбор контрольно-измерительной техники для регистрации показателей качества электроэнергии // Студенческий научный форум – 2015 [Электронное издание], 2015.
2. Семёнов А.С., Самсонов А.В., Матул Г.А., Черенков Н.С., Заголило С.А., Мартынова А.Б. Исследование качества электроэнергии при проведении энергоаудита учебного корпуса // Естественные и технические науки. – 2015. – № 10 (88). – С. 331-334.
3. Семёнов А.С., Самсонов А.В., Бебихов Ю.В., Матул Г.А. Измерение и анализ показателей качества электрической энергии потре-

бителей промышленных предприятий // Естественные и технические науки. – 2015. – № 6 (84). – С. 446-450.

4. Семёнов А.С., Бондарев В.А. Выбор контрольно-измерительной техники для регистрации показателей качества электроэнергии // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-4. – С. 414-416.

5. Семёнов А.С., Черенков Н.С. Анализ показателей качества электроэнергии при работе асинхронного двигателя от трёхфазного источника питания // Наука и инновационные разработки – Север: сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции. – Якутск: Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 2014. – С. 106-107.

6. Кузнецов Н.М., Семенов А.С., Бебихов Ю.В., Рыбников А.В. Результаты мониторинга показателей качества электрической энергии потребителей подземного рудника // Горный журнал. – 2014. – № 1. – С. 23-26.

7. Семенов А.С., Кузнецов Н.М. Анализ результатов мониторинга показателей качества электрической энергии в подземном руднике // Измерительная техника. – 2014. – № 4. – С. 31-34.

8. Семёнов А.С., Матул Г.А., Хазиев Р.Р., Шевчук В.А., Черенков Н.С. Анализ показателей качества электрической энергии при работе асинхронного двигателя от трёхфазного источника питания // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-6. – С. 1210-1215.

9. Semenov A.S. Measurement and analysis parameters quality of electric energy on the mining enterprises // Наука и технологии. – 2014. – № 3. – С. 22-28.

10. Карташев И.И., Тульский В.Н., Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Мониторинг показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения горных предприятий: Монография. – М., 2013. – 144 с.

11. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Разработка системы мониторинга для измерения показателей качества электроэнергии на горных предприятиях // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4-2. – С. 295-299.

12. Кузнецов Н.М., Бебихов Ю.В., Самсонов А.В., Егоров А.Н., Семёнов А.С. Качество электрической энергии горных предприятий: Монография. – М., 2012. – 68 с.

13. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С., Шипулин В.С. Теоретические основы выбора показателей качества электрической энергии по обеспечению электромагнитной совместимости в распределительных системах электроснабжения / Отчет о НИР № ВКТОКП 96 4830 3 от 01.01.2010 (Министерство образования и науки РФ).

14. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С., Бебихов Ю.В., Самсонов А.В., Егоров А.Н., Шипулин В.С., Рушкин Е.И. Разработка и внедрение системы мониторинга показателей качества электрической энергии для снижения энергоёмкости производства и повышения эффективности работы электрооборудования / Отчет о НИР № ВКТОКП 96 4830 3 от 01.01.2010 (Министерство образования и науки РФ).

15. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Система мониторинга показателей качества электроэнергии применительно к алмазодобывающему подземному руднику // В сборнике: В мире научных открытий материалы IV международной научно-практической конференции (24 июня 2012 г.): сборник научных трудов / под науч. ред. С.П. Акутиной. – М.: Центр науч. мысли, 2012. – С. 146-149.

16. Semenov A.S. Development of monitoring system for measuring the quality of electrical energy on the mining industry // Applied and Fundamental Studies Proceedings of the 1st International Academic Conference. Edited by Yan Maximov, 2012. – С. 301-304.

17. Семенов А.С. Разработка системы мониторинга показателей качества электроэнергии горных предприятий // Технические науки – от теории к практике. – 2012. – № 11. – С. 68-73.

### ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

Винокуров В.С., Матул Г.А.

Политехнический институт, филиал  
ФГАОУ ВПО «Северо-восточный федеральный  
университет им. М.К. Аммосова», Мирный,  
e-mail: mailbox428@gmail.com

#### Понятие о программируемом логическом контроллере

Любое устройство, способное работать автоматически, имеет в своем составе управляющий контроллер – модуль, определяющий логику работы устройства.

Программируемый логический контроллер (сокращенно ПЛК) – электронная составляющая промышленного контроллера, специализированного (компьютеризированного) устройства, используемого для автоматизации технологических процессов.

Физически типичный ПЛК представляет собой блок, имеющий определенный набор выходов и входов для подключения датчиков и исполнительных механизмов. Логика управления описывается программно на основе микрокомпьютерного ядра. Абсолютно

одинаковые ПЛК могут выполнять совершенно разные функции. Причем для изменения алгоритма работы не требуется каких-либо переделок аппаратной части. Аппаратная реализация входов и выходов ПЛК ориентирована на сопряжение с унифицированными приборами и мало подвержена изменениям.

#### Актуальность новой разработки

Каждое предприятие имеет свою специфику и, несмотря на большое количество готовых решений, не всегда можно найти устройство, удовлетворяющее всем требованиям.

На основе предъявленных требований к устройству были отобраны существующие на рынке решения. В таблице представлены результаты этой выборки.

Устройство должно иметь:

8 дискретных входов. Они реализуются в виде сухих контактов. Эти контакты позволят принимать сигналы с таких устройств как: кнопки, датчики закрытия дверей, реле и др.

8 дискретных выходов. Реализуются также в виде сухих контактов, на которые генерируется сигнал.

Позволяют передавать дискретные сигналы типа лог. 0 или 1. Можно использовать для передачи сигнала запуска или остановки некоторого процесса/устройства: включить/выключить свет, активировать сигнализацию и т.п.

4 аналоговых входа 4-20 мА. Возможность принимать с таких контактов уровень сигнала предо-

Производитель	Модель	Недостатки	Стоимость, тыс. руб.
Owen	ПЛК160-24.И-L	Стоимость, функциональная избыточность	26,2
ABB	AC500-ECO, PM554-T-ETH + AX561	Малая память программ, недостаточная функциональность	40,9
Omron	CPIE-N30DR-D + CP1W-MAD42	Функциональная избыточность, специфическое ПО для программирования	48,3
Schneider Electric	TWDLMDA20DRT + TM2AMM6HT	Специфическое ПО, только 2 языка программирования	29,4

В результате анализа можно сделать вывод, что готовые решения имеют высокую цену и обладают при этом некоторыми недостатками.

#### Требования к устройству

К разрабатываемому программируемому логическому контроллеру были предъявлены технические требования, они изображены на рис. 1.

ставляет достаточно широкие технологические возможности. В частности, можно сопоставить некоторые уровни сигнала различным командам или информационным сообщениям. Например: сигнал 4 мА означает, что нужно подать сигнал на 1-й дискретный выход, 6 мА – на 2-й, 8 мА – на 3-й и так далее. Также зачастую сигналы такого типа при-



Рис. 1. Технические требования к ПЛК

меняются для передачи информации о значении некоторой переменной. Например, по таким линиям можно передавать информацию о температуре с термостата или о положении заслонки в трубе и многое другое.

2 аналоговых выхода 4-20 мА. Позволяет передавать различные уровни сигнала. Аналогично приему эти контакты можно использовать для передачи логических уровней или управлять значением какой-либо переменной в заданных пределах.

COM-порт, то есть интерфейс стандарта RS-232. Позволит ПЛК связывать с ПК или другими устройствами. Через этот порт будет осуществляться программирование ПЛК, а также доступ с ПК к памяти контроллера. Возможна организация связи с дру-

гими устройствами, например, SCADA системами, другими контроллерами.

**Алгоритм работы устройства**

При проектировании системы необходимо отчетливо представлять алгоритм её работы. Алгоритм работы разрабатываемого контроллера представлен на рис. 2.

**Структурная схема контроллера**

Проектирование любой системы начинается с разработки структурной схемы. Она включает в себя набор элементарных звеньев объекта и связей между ними. Структурная схема разрабатываемого ПЛК представлена на рис. 3.

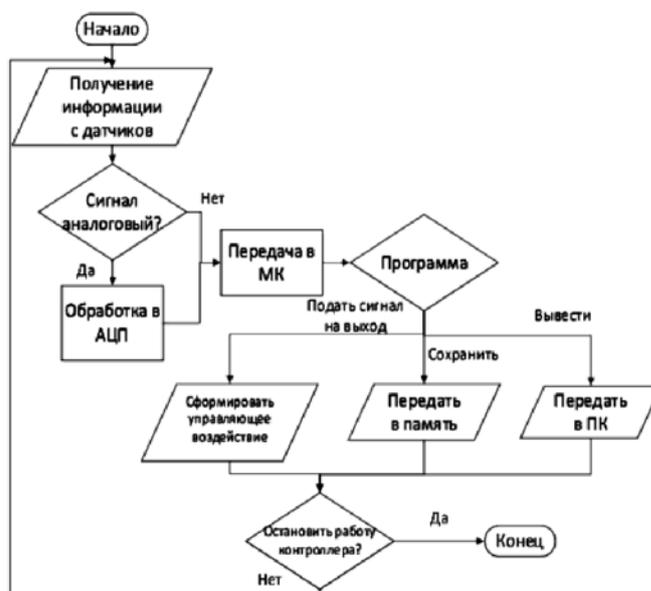


Рис. 2. Алгоритм работы устройства

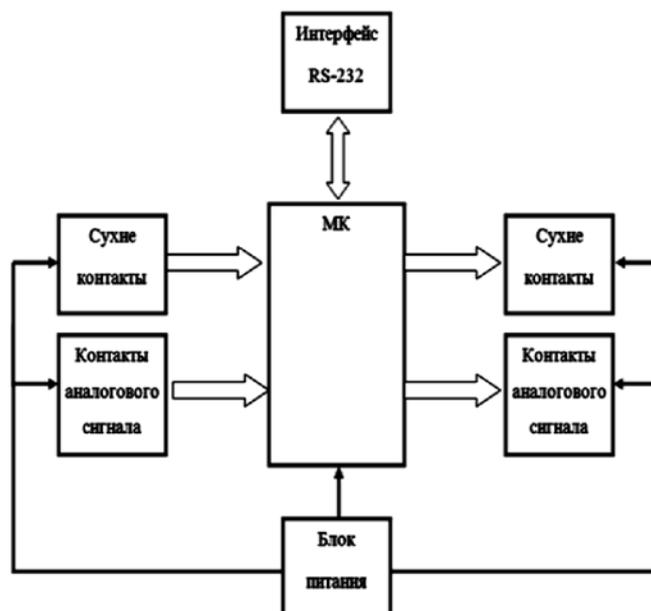


Рис. 3. Структурная схема ПЛК

Разрабатываемое устройство состоит из 7 блоков.

**МК:** Основной блок. Содержит в себе микропроцессор, ПЗУ в виде флеш-памяти и ОЗУ, АЦП и ЦАП. Исполняет заданную пользователем программу и осуществляет управление интерфейсом RS-232, принимает сигналы с портов ввода, формирует воздействия для передачи сигналов через порты вывода. АЦП преобразует входные аналоговые сигналы в цифровые для передачи на процессор. ЦАП преобразует цифровые сигналы процессора в аналоговые для передачи на контакты аналоговых выходов.

**Сухие контакты:** Это контакты, не имеющие гальванической связи с цепями электропитания и «землей», то есть контакт гальванически развязан от управляющего сигнала. Требуется питания 24В, 2А.

**Контакты аналогового сигнала:** Контакт передает уровень сигнала с помощью тока 4-20 мА. Отсутствие тока (0 мА) означает отсутствие подключения к контакту. Для передачи сигнала на процессор требуется АЦП. Для передачи сигнала с процессора на контакты требуется ЦАП.

**Блок питания:** Подключается к внешнему питанию 24В. Осуществляет фильтрацию и преобразование входного напряжения до уровней, необходимых элементам схемы.

**Интерфейс RS-232:** Порт RS-232 необходим для связи с ПК. С его помощью осуществляется программирование ПЛК и снятие данных с его памяти.

**Функциональная схема контроллера**

Функциональная схема разъясняет процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия или установки в целом.

Функциональная схема на рис. 4 дополняет структурную схему, раскрывая принципы построения контактов ввода/вывода.

Дискретные сигналы – контакты типа «сухой контакт». Для приема сигнала с таких контактов требуется компаратор и выработка опорного напряжения для него. При наличии на входной линии напряжения больше опорного, компаратор подает сигнал на микроконтроллер. Сухой контакт требует питания, которое реализуется линией от блока питания с напряжением 24 В.

Для передачи сигнала на сухой контакт используется твердотельное реле. МК формирует управляющее воздействие и при его подаче, реле передает сигнал с напряжением 24В и током 2Л с источника питания на контакт. Использование именно твердотельного реле обуславливается их небольшими размерами, которые позволяют свободно монтировать их на платы. Также они имеют много других преимуществ: высокое быстродействие, отсутствие акустического шума, дребезжания и искрения, энергопотребление.

**Аналоговые входы – пара контактов,** по которым течет ток 4-20 мА. Уровень сигнала передается силой тока. Для регистрации этого уровня контакты подключаются к прецизионным резисторам 250 Ом, и значение снимается уже по напряжению 1-5 В. Оно передается на АЦП для оцифровки и передачи в МК. Аналоговые выходы – на МК с помощью ЦАП генерируется сигнал 1-5 В. Он подается на прецизионный резистор 250 Ом для генерации на контактах сигнала 4–20 мА.

#### Список литературы

1. Матул Г.А., Мартынова А.Б. Информационно-измерительные системы в автоматизированном производстве // Молодежь в науке: Новые аргументы: Сборник научных работ II-го Международного молодежного конкурса / Отв. ред. А.В. Горбенко. – Липецк, 2015. – С. 105-108.
2. Матул Г.А., Андросова А.С. Система подземной микросотовой мобильной связи // Молодежь в науке: Новые аргументы: Сборник научных работ II-го Международного молодежного конкурса. Отв. ред. А.В. Горбенко. – Липецк, 2015. – С. 23-25.
3. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
4. Матул Г.А. Комплексная автоматизация и оптимизация производства алмазодобывающих предприятий // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-4. – С. 412-414.
5. Семёнов А.С., Матул Г.А., Хазиев Р.Р., Шевчук В.А., Черенков Н.С. Анализ показателей качества электрической энергии при работе асинхронного двигателя от трёхфазного источника питания // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9-6. – С. 1210-1215.
6. Рушкин Е.И., Семёнов А.С., Саввинов П.В. Анализ применения протокола MODBUS для управления электроприводом на горных предприятиях // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-12. – С. 2615-2619.
7. Семёнов А.С., Шипулин В.С. Использование газоаналитических систем нового поколения для защиты рудника // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6-3. – С. 480-484.
8. Официальный сайт компании Schneider Electric: <http://www.schneider-electric.com> [Электронный ресурс].

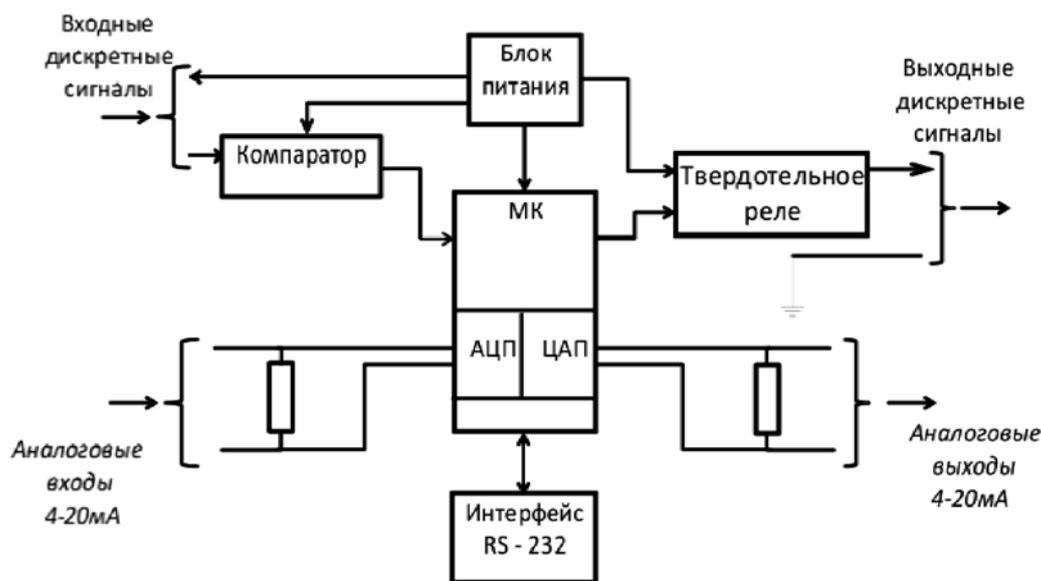


Рис. 4. Функциональная схема ПЛК