

УДК 621.316.075

Михеев Дмитрий Иванович, Михеева Наталья Ивановна,  
Кадыркулова Кыял Кудайбердиевна

## **МОНИТОРИНГ РЕЖИМА РАБОТЫ СЕТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

*Основным видом производимой и потребляемой энергии в Кыргызстане является электрическая энергия. Процесс распределения и использования электроэнергии связан с существенными потерями. Одной из основных причин является асимметрия загрузки фаз. С целью снижения асимметрии и оптимизации режима работы сети потребителей предлагается компьютерное устройство для мониторинга тока нагрузки в линии электропередачи на основе датчика Холла и микроконтроллера Arduino UNO.*

*Электрическая энергия, распределительные сети, асимметрия загрузки фаз, мониторинг тока нагрузки, датчик Холла, ARDUINO UNO.*

Mikheev Dmitry Ivanovich, Mikheeva Natalya Ivanovna,  
Kadyrkulova Kyial Kudayberdievna

## **MONITORING OF OPERATING MODE OF THE NETWORK OF ELECTRICITY CONSUMERS**

*The main type of energy produced and consumed in Kyrgyzstan is electricity. The process of distribution and use of electricity is associated with significant losses. One of the main reasons is the asymmetry of phase loading. In order to reduce the asymmetry and optimize the operating mode of the consumer network, a computer device is proposed for monitoring the load current in the power line based on the Hall sensor and the Arduino UNO microcontroller.*

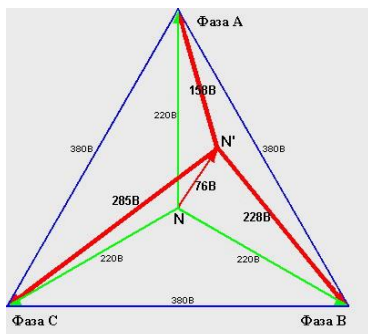
*Electrical energy, distribution networks, phase load asymmetry, load current monitoring, Hall sensor.*

Процесс применения электрической энергии включает три этапа: производство, преобразование и распределения, потребление [1]. Его эффективность ограничивается величиной потерь электроэнергии, зависящих от многих причин.

Одним из важных факторов, ухудшающих эффективность распределения и использования электроэнергии, является асимметрия загрузки фаз (рис. 1) [2]. На задействованной фазе А напряжение падает ниже

нормы, тогда как недогруженная фаза С испытывает скачок напряжения, превышающий допустимые показатели.

Это может приводить к нарушению режимов работы аппаратуры и даже выходу ее из строя, ускоренному старению, дополнительным потерям энергии.



*Рис. 1. Трехфазная сеть при равномерном и неравномерном распределении нагрузки по фазам*

Существует несколько традиционных способов предотвращения асимметрии фаз. Прежде всего, возможно обеспечение равенства загруженности фаз путем грамотного учета мощности используемых приборов при проектировании сети электропитания. Однако это не гарантирует сохранения симметрии в процессе эксплуатации.

Применение специальных устройств – симметрирующих трансформаторов и стабилизаторов напряжения [2] связано с дополнительными затратами на их приобретение и эксплуатацию, а также существенно увеличивает дополнительный расход электроэнергии.

Современным способом ликвидации асимметрии загруженности фаз можно считать использование автоматизированной системы для мониторинга величины токопотребления и управления on-line переключением потребителей между фазами.

В данной работе рассмотрена одна из составляющих частей решения данной задачи, касающейся мониторинга величины тока, потребляемого нагрузкой. Предлагаемая система предназначена для апробации идеи создания "умного" устройства, обеспечивающего индикацию перегрузки в электрической сети. Принципиальная схема этого устройства, показанная

на рис. 2, включает 2 части: силовую и информационную, которые гальванически не связаны между собой.

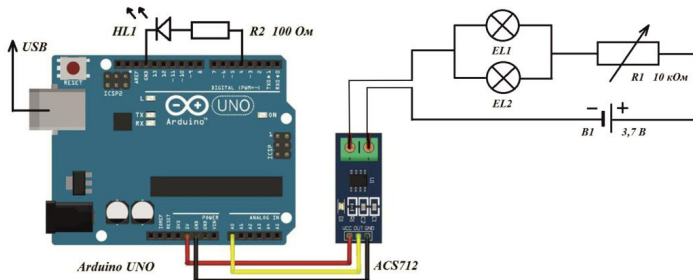


Рис. 2. Система мониторинга величины тока нагрузки

Силовая часть имитирует работу потребителя электрической энергии, источником которой является литий-ионный аккумулятор В1 типа 18650 с напряжением 3,7 вольта. В качестве потребителя с переменной нагрузкой использованы 2 лампы накаливания EL1 и EL2 ( $U_{\text{ном}} = 3,5 \text{ В}$ ;  $I_{\text{ном}} = 0,26 \text{ А}$ ), подключённые параллельно друг другу. Последовательно с лампами включен переменный резистор R1 с сопротивлением в диапазоне от 0 до 10 кОм для изменения тока нагрузки.

Информационная часть основана на плате микроконтроллера Arduino UNO [3], и служит для задания и индикации предельно допустимого тока потребителя электроэнергии. Также она позволяет видеть потребляемый ток в режиме реального времени. В качестве задающего устройства и индикатора использован персональный компьютер со средой разработки Arduino IDE. Монитор COM-порта, встроенный в эту среду, позволяет видеть мгновенные значения тока потребления. При величине тока выше допустимого значения загорается светодиод HL1.

В качестве датчика тока используется элемент ACS712 [4] с диапазоном измерения тока от  $-20$  до  $20$  ампер и чувствительностью  $100 \text{ мВ/А}$ . Его работа основана на эффекте Холла, что обеспечивает высокую линейность функции преобразования и ее слабую зависимость от температуры (рис. 3).

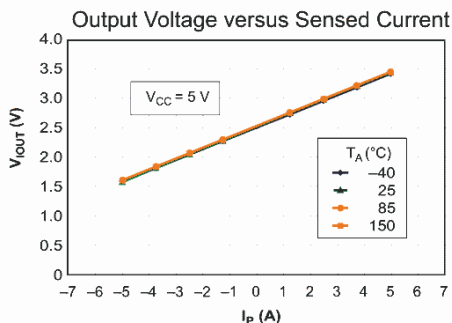


Рис.3. Зависимость напряжения на выходе датчика ACS712 от силы тока

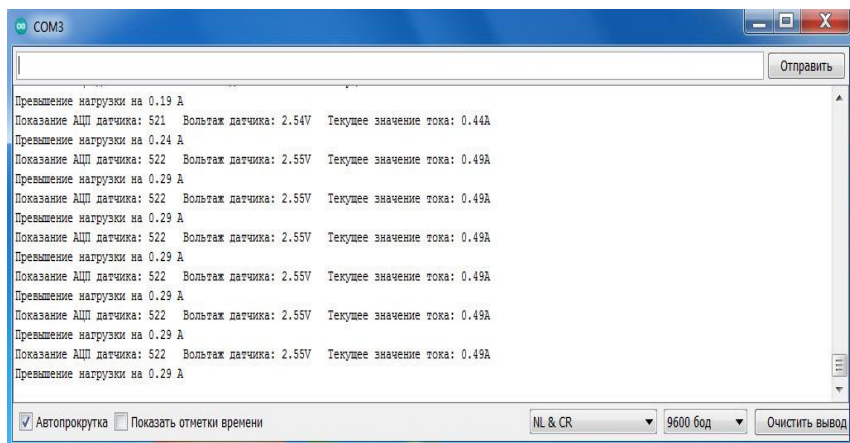
Напряжение питания датчика составляет величину +5 В, ток потребления не превышает 11 мА. При измеряемом токе, равном нулю, напряжение на выходе ACS712 равно 2,5 В и отклоняется или ближе к нулю или ближе к напряжению питания — зависит от направления протекания тока (рис. 2).

Программа обработки результатов измерения для Arduino IDE составлена на С-подобном языке. В ней указывается значение силы измеряемого тока для срабатывания индикации превышения предельно допустимой величины (включения светодиода HL1).

В соответствии с программой осуществляются следующие действия.

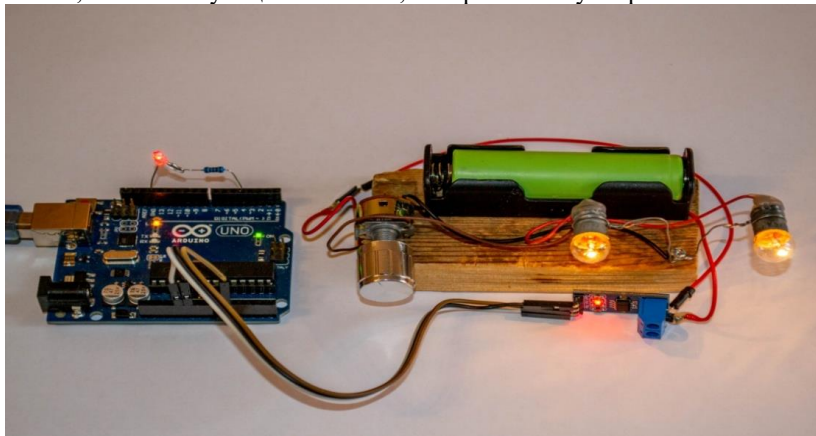
Каждые 2 секунды датчик опрашивается, полученное значение преобразуется 10 разрядным АЦП микроконтроллера в значение от 0 до 1024 со средней точкой посередине: 512. Далее делается обратное преобразование для вычисления напряжения на входе Arduino, учитывая, что напряжение может варьироваться от 0 до 5 В со средней точкой в 2,5 В. Затем вычисляется мгновенное значение тока, учитывая, что чувствительность датчика составляет 100 мВ/А. Затем вычисляется разница между заданным порогом величины тока и мгновенным значением силы тока. Также при превышения силы тока выше установленного значения загорается сигнальный светодиод HL1.

Работа устройств иллюстрируется в окне монитора COM-порта, приведенного на рис. 4 для случая, когда величина тока превышает заданное значение.



*Рис. 4. Монитор СОМ-порта программы для случая превышения током потребления заданной величины*

На рис. 5 показан внешний вид макета предлагаемой системы в состоянии, соответствующем событию, отображенному на рис. 4.



*Рис. 5. Внешний вид макета предлагаемой системы*

Предлагаемый способ мониторинга тока нагрузки в линии может быть использован для построения автоматизированных систем учета расхода электроэнергии, а также оптимизации режима работы сети потребителей электрической энергии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Щелоков Я.М.* Энергетическое обследование: справочное издание: В 2-х томах. Том 2. Электротехника. Екатеринбург: , 2011. 150 с.
2. <https://grand-electro.ru/elektrosnabzhenie/perekos-faz-v-trehfaznoy-seti-chem-oprasen-i-kogda-voznikaet.html#i-3>
3. <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
4. <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/datchik-toka-ac3712/>

**Михеев Дмитрий Иванович**, ст. преподаватель Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, Кыргызстан, город Бишкек, 720044, пр. Ч. Айтматова 66, телефон: +996550962176, email: [dymmyh@gmail.com](mailto:dymmyh@gmail.com)

**Михеева Наталья Ивановна**, к.т.н., доцент Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова, Кыргызстан, город Бишкек, 720044, пр. Ч. Айтматова 66, телефон: +996550603676, email: [mihnata@mail.ru](mailto:mihnata@mail.ru)

**Кадыркулова Кыял Кудайбердиевна**, к.т.н., доцент Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова, Кыргызстан, город Бишкек, 720044, пр. Ч. Айтматова 66, телефон: +996700659057, email: [kyialedi@gmail.com](mailto:kyialedi@gmail.com)

**Mikheev Dmitry Ivanovich**, senior teacher Kyrgyz state technical university after named I. Razzakov, Kyrgyzstan, Bishkek city, 720044, 66 Ave. Ch. Aitmatov, phone: +996550962176, email: [dymmyh@gmail.com](mailto:dymmyh@gmail.com)

**Mikheeva Natalya Ivanovna**, Ph.D., Associate Professor Kyrgyz state technical university. I. Razzakov, Kyrgyzstan, Bishkek city, 720044, 66 Ave. Ch. Aitmatov, phone: +996550603676, email: [mihnata@mail.ru](mailto:mihnata@mail.ru)

**Kadyrkulova Kyial Kudayberdievna**, Ph.D., Associate Professor Kyrgyz State technical university. I. Razzakov, Kyrgyzstan, Bishkek city, 720044, 66 Ave. Ch. Aitmatov, phone: +996770659057, email: [kyialedi@gmail.com](mailto:kyialedi@gmail.com).