

УДК 537.315

**РЕЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ  
НЕПРИОРИТЕТНОЙ НАГРУЗКИ  
С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

А.Г. Кагиров, К.В. Потарский

Томский политехнический университет

E-mail: kagirov@tpu.ru

**Кагиров Артур Геннадьевич**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ИНК ТПУ.  
E-mail: kagirov@tpu.ru

Область научных интересов: микропроцессорная техника, системы автоматизированного управления технологическими процессами.

**Потарский Константин Викторович**, учащийся 11 класса лицея при ТПУ.  
E-mail: potarskii@ya.ru  
Область научных интересов: микропроцессорная техника.

В статье обсуждены достоинства и недостатки различных устройств отключения неприоритетных нагрузок. Описаны недостатки наиболее популярных и доступных устройств. Сформулированы принципиальные требования, которым должно соответствовать реле отключения неприоритетной нагрузки с точки зрения как безопасности, так и комфорта для потребителя. Приведено описание устройства отключения неприоритетных нагрузок с микропроцессорным управлением, разработанного малым инновационным предприятием при Томском политехническом университете ООО «ЭКОЛАН».

**Ключевые слова:**

Реле приоритетной нагрузки, микропроцессор, потребитель электрической энергии.

Реле отключения неприоритетной нагрузки предназначено для временного отключения неприоритетной нагрузки, когда потребление превышает значение выбранного порога отключения. Под нагрузкой можно понимать любое электрическое устройство, сутью которого можно пренебречь и рассматривать его лишь как потребителя электрической энергии. Приоритетной нагрузкой является устройство, которое должно быть постоянно включенным, например электрочайник, фен, пылесос и т. п. Под неприоритетной нагрузкой следует понимать устройство, для которого допускается кратковременное отключение.

Когда текущее потребление тока превышает значение выбранного порога отключения, реле временно отключает неприоритетную нагрузку. Его применение позволяет увеличить количество нагрузок без изменения выделенной мощности, уменьшить потребляемую мощность, предотвратить неудобства, связанные с отключением вводного автоматического выключателя.

На данный момент на рынке существует несколько компаний, производящих подобные устройства [1–3]. Эксплуатация реле отключения неприоритетной нагрузки CDS 15908/CDS 15913, получивших наибольшее распространение, а также подобных им аналогов выявила ряд недостатков:

1. Периодическое с интервалом 5 минут включение и моментальное отключение реле. В определенном режиме работы возникают резонансные явления, ввиду чего потребители вынуждены бороться с периодическим шумом коммутации контакторов (замыкание/размыкание каждые 5 минут).

2. Случаи полного обесточивания потребителя из-за выгорания контактов CDS 15908, предназначенных для подключения приоритетной нагрузки.

3. Высокая погрешность установочных токов отключения, а также ограниченный выбор их номиналов.

Целью настоящей работы является разработка устройства отключения неприоритетной нагрузки с микропроцессорным управлением, бесконтактным контролем тока приоритетной нагрузки и индикацией текущего состояния неприоритетной нагрузки.

Поясним ниже причину, из-за которой возникает явление резонанса, на примере одной фазы в устройстве CDS 15913 (или аналогичном устройстве). Рассмотрим случай, когда в устройстве отключения неприоритетной нагрузки установлен порог отключения 20 А, неприори-

тетная нагрузка потребляет ток 10 А, а в текущий момент времени ток приоритетного потребителя для рассматриваемой фазы составляет 15 А. В рассматриваемом случае внутренний алгоритм работы CDS 15908/15913 приводит к возникновению нежелательных кратковременных срабатываний контакторов (которые потребитель слышит как громкие щелчки в электрощитовой, их периодичность составляет 5 мин). Для борьбы с указанным явлением можно уменьшить или увеличить порог отключения реле, однако и первый, и второй способы нежелательны. Уменьшение порога приводит к снижению потребляемой мощности (в этом случае использование самого устройства отключения нецелесообразно), во втором случае возрастает вероятность отключения вводного автомата.

Если в доме кратковременно используются устройства, потребляющие большой ток, например фен, электрочайник и т. д., то время работы неприоритетной нагрузки сокращается. Например, если каждые пять минут кратковременно включать мощную приоритетную нагрузку, то неприоритетная нагрузка никогда не будет коммутироваться. Кроме того, для корректной работы реле отключения неприоритетной нагрузки необходимо знать величину коммутируемого тока по цепи неприоритетной нагрузки, так как именно она определяет пороги ее отключения и включения. А если эта нагрузка непостоянна (в одну цепь подключено несколько неприоритетных потребителей), то ситуация только усугубляется.

Исключить вышеописанные недостатки в работе реле можно лишь непрерывным мониторингом текущего значения потребляемого тока (суммарного по фазе). Соответственно, условием для отключения неприоритетной нагрузки является превышение текущего тока установленного порога, а подключение неприоритетной нагрузки должно происходить только при значении текущего тока, равного или меньше разности установленного порогового значения и тока неприоритетной нагрузки. В случае установки нескольких уровней приоритета нагрузок алгоритм работы еще более усложняется. Реализовать такой алгоритм управления можно только с использованием микроконтроллера.

Допустим, в устройстве отключения неприоритетной нагрузки установлен порог отключения  $I_1$ , а неприоритетная нагрузка потребляет ток  $I_2$ , тогда включение неприоритетного потребителя произойдет только в случае, если суммарный ток по фазе станет менее  $I_1 - I_2$ , а как только суммарный ток превысит значение  $I_1$ , неприоритетная нагрузка отключится. В диапазоне токов от  $I_1 - I_2$  до  $I_1$  сохраняется текущее состояние реле неприоритетной нагрузки. В случае если неприоритетная нагрузка представляет собой более одного устройства, то они будут отключаться по очереди (в зависимости от приоритета), пока ток не примет допустимое значение. При такой конструкции является необходимым постоянно следить за значением тока.

Измерение тока происходит с помощью линейного датчика Холла SS495, помещенного в воздушный зазор ферритового кольца К 28×16×9 (рис. 1). Датчик Холла надежно закрепляется в зазоре ферритового кольца, а сквозь кольцо пропускается фазный провод. При прохождении по проводу тока образуется магнитное поле, которое концентрируется в кольце. Таким образом, линии магнитной индукции проходят через датчик Холла, который выдает сигнал напряжения, прямо пропорциональный индукции магнитного поля. Аналогово-цифровой преобразователь измеряет текущее значение силы тока.

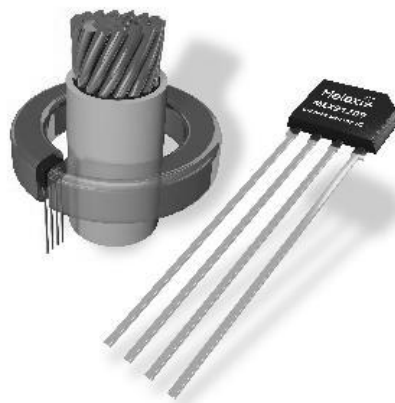


Рис. 1. Измерение тока датчиком Холла

Для коммутации силовой нагрузки используются оптореле и симистор, а подключение мощной нагрузки осуществляется через модульные контакторы. Внутри оптореле находится светодиод и оптосимистор, рассчитанный на небольшой ток. Упрощенная принципиальная электрическая схема реле изображена на рис. 2.

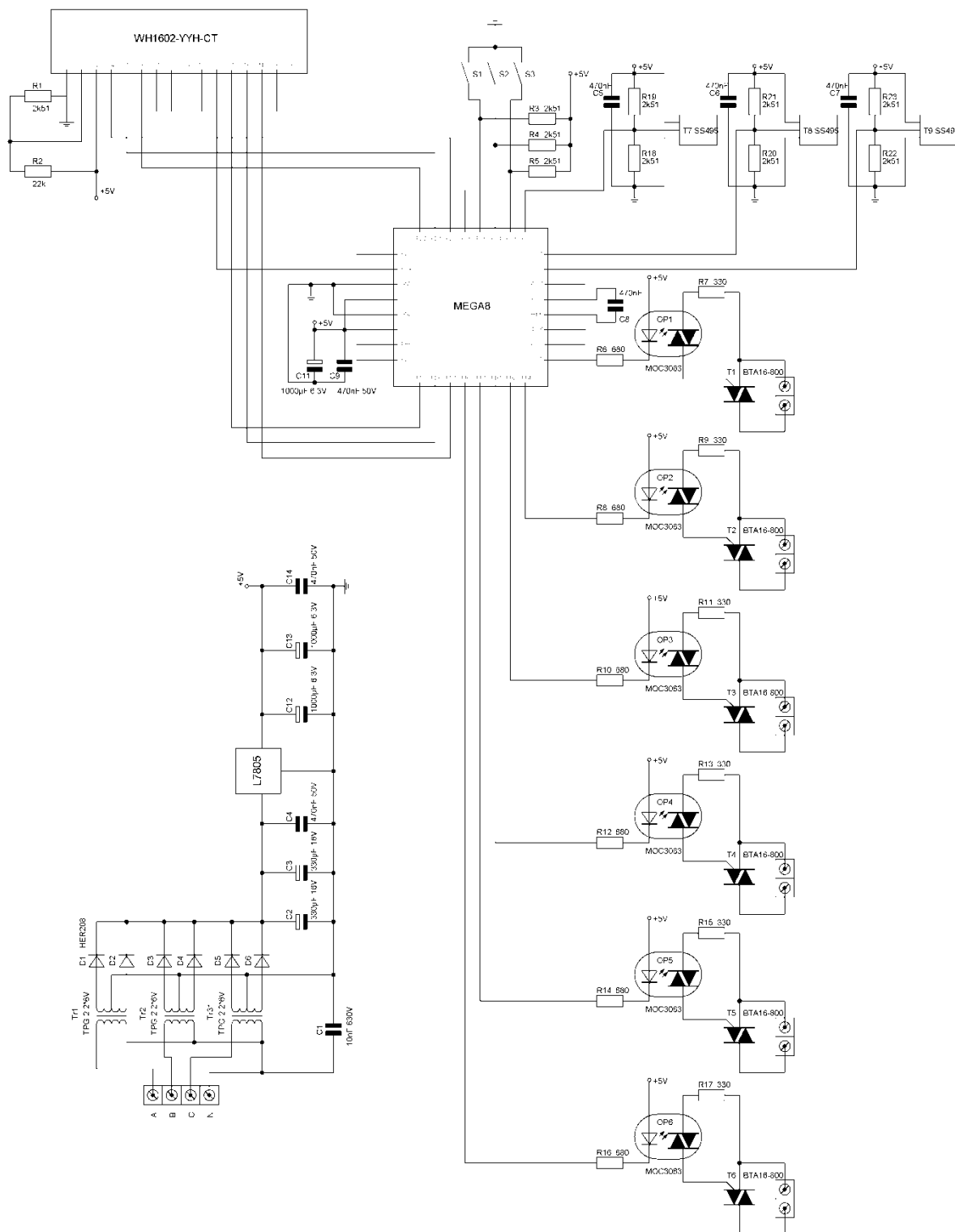


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема реле

Питание устройства трёхфазное, через три однофазных трансформатора. Это позволяет устройству работать в аварийных режимах, когда отсутствует одна или две фазы. Выпрямленное напряжение стабилизируется LM7805 до 5 В. В качестве микроконтроллера выбрана популярная AtMega8, LCD-экран со светодиодной подсветкой WH1602. Датчики холла при нулевом магнитном поле имеют напряжение на выходе 2,5 В, при прохождении тока по силовому проводу с частотой 50 Гц возникает пропорциональное ему синусоидальное напряжение, которое вычисляется аналогово-цифровым преобразователем непосредственно в микропроцессоре.

Разработанное в Томском политехническом университете устройство отключения неприоритетной нагрузки имеет следующие преимущества перед аналогами:

1. Питающий кабель, которым подключена приоритетная нагрузка, гальванически связан от измерительных цепей и пропускается через устройство, аналогичное по принципу трансформатору тока, что исключает возможность выгорания контактов приоритетной нагрузки. Сечение фазного провода может варьироваться в широком диапазоне и не должно превышать 300 мм<sup>2</sup> (ограничено внутренним диаметром ферритового кольца). Таким образом, сохраняется целостность питающего кабеля.

2. Устройство имеет микропроцессорное управление, LCD-экран и кнопки выбора порога и очередности отключения каждой из неприоритетных нагрузок. На этом экране также имеется индикация текущего состояния (включена или отключена) для каждой из шести нагрузок. Все установленные пользователем настройки хранятся в энергонезависимой памяти микроконтроллера.

3. Устройство предусматривает возможность подключения до двух неприоритетных нагрузок на каждую фазу (всего шесть нагрузок). При этом алгоритм работы устройства позволяет отключать и подключать их по отдельности, чтобы суммарный ток не превышал пороговый ток отключения. Пользователь самостоятельно устанавливает очередность подключения/отключения нагрузок, т. е. уровень приоритета.

4. На LCD-экране отображается текущее значение потребляемого тока по каждой фазе (0–100 А, дискретность 0,1 А). Порог отключения неприоритетных нагрузок устанавливается с шагом в 1 А.

На рис. 3 представлена фотография собранного щита автоматики с установленным реле отключения неприоритетных нагрузок.



**Рис. 3.** Реле отключения неприоритетной нагрузки в собранном щите автоматики внизу слева (частный дом, пос. Росинка)

**Результаты работы.** Для коммерциализации разработки в декабре 2013 года при Томском политехническом университете было создано ООО «ЭКОЛАН».



**Рис. 4.** Фотография устройства отключения неприоритетных нагрузок ООО «ЭКОЛАН» (г. Томск)

В г. Челябинске были осуществлены пробные поставки разработанных устройств отключения неприоритетной нагрузки в феврале и сентябре 2014 г. Заказчики были полностью удовлетворены работой устройства, а также возможностью изменения порогов отключения непосредственно на объекте исходя из фактического потребления тока. Индикация потребляемого тока также является удобной опцией при вводе реле в эксплуатацию. На сегодняшний день в Томской, Новосибирской и Кемеровской областях на различных объектах уже установлено более 30 устройств отключения неприоритетной нагрузки производства ООО «ЭКОЛАН» (рис. 4), ни одно из которых пока не вышло из строя. Помимо вышеуказанных преимуществ разработанного реле отключения неприоритетной нагрузки, необходимо отметить еще и его дешевизну: стоимость устройства по крайней мере в три раза ниже аналогичных приборов производства Schneider Electric.

*Статья рекомендована к публикации по итогам работы V Международной молодежной конференции "Электроэнергетика глазами молодежи 2014".*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мобильное устройство адресного управления неприоритетной нагрузкой: пат. 119182 Рос. Федерация N 2000131736/09; заявл. 18.12.00; опубл. 20.08.02, Бюл. N 23 (II ч.). 3 с.
2. Устройство отключения неприоритетных цепей Legrand 03813. – URL: [http://elmaks.ru/page\\_23.html](http://elmaks.ru/page_23.html) (дата обращения: 10.02.2015).
3. Реле отключения неприоритетных нагрузок CDS 15913. – URL: <http://www.electricaline.ru/catalog/SE/zeleo%20control/15913.pdf> (дата обращения: 10.02.2015).

Поступила 17.02.2015 г.