

Микроконтроллеры AVR в устройстве защиты аппаратуры от аномального напряжения сети 220 В

Роман Булышев (г. Луганск, Украина)

Предлагаемое микроконтроллерное устройство предназначено для защиты электрооборудования и аппаратуры, подключенных к сети 220 В. При возникновении аварийной ситуации, когда напряжение сети выйдет за допустимые пределы, устройство защиты отключает нагрузку. Одновременно устройство отображает значение напряжения сети на светодиодном 7-сегментном 3-разрядном индикаторе.

ВВЕДЕНИЕ

Количество электроприборов и аппаратуры, окружающей нас в повседневной жизни, постоянно увеличивается. В домах появились такие необходимые вещи, как стиральная машина, компьютер, телевизор, музыкальный центр, DVD-проигрыватель, кондиционер, холодильник, водонагреватель (бойлер), микроволновая печь и т.д. Некоторые из них постоянно включены в сеть и работают круглосуточно. В то же время напряжение электросети ~220 В, от которой питаются электроприборы, не всегда находится в допустимых пределах 187...242 В.

Наиболее опасным для электроприборов и радиоаппаратуры является аварийное повышение сетевого напряжения. Это может случиться при замыкании одного из фазных проводов на нулевой провод или когда происходит отгорание общего нулевого провода. В сети некоторое время может действовать напряжение до 380 В. При этом включенные лампочки лопаются, а все остальные радиоэлектронные устройства выходят из строя.

Не следует забывать и о занижении напряжения в сети, при котором выходят из строя наиболее дорогостоящие электроприборы: холодильники, стиральные машины, кондиционеры, системы микроклимата (сплит-системы). Не любят также снижения напряжения ниже допустимой величины импульсные источники питания телевизоров, видеомагнитофонов, персональных компьютеров и другой бытовой радиоаппаратуры.

Существует много схем и устройств, которые в той или иной степени способны защитить бытовую технику от запредельного (аномального) высокого или низкого напряжения. К недостаткам большинства из них можно отнести малое быстродействие, устаревшую элементную базу, низкую функциональность. Ниже приводится описание защитного устройства, выполненного на базе микроконтроллера (МК). Оно лишено указанных недостатков и способно надёжно защитить бытовую технику от воздействия аномального сетевого напряжения.

УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ АППАРАТУРЫ ОТ АНОМАЛЬНОГО НАПЯЖЕНИЯ СЕТИ ~220 В

Устройство защиты (УЗ) предназначено для отключения электроприборов от сети переменного тока напряжением 220 В (50 Гц) в случае уменьшения или увеличения напряжения в сети ниже или выше значений, заданных пользователем.

УЗ обладает следующими возможностями и характеристиками:

- постоянный мониторинг напряжения сети, отображение результатов на индикаторе и автоматическое отключение нагрузки при возникновении аномального напряжения в сети;
- быстродействие, достаточное для отключения защищаемой нагрузки при возникновении аномального напряжения в сети;
- возможность перестройки пределов и диапазонов контролируемых напряжений;
- возможность программно регулировать точность настроек и стабильно поддерживать их при эксплуатации;
- помехозащищённость и малое энергопотребление;
- мощность достаточна для защиты используемой бытовой техники;
- построено на современной элементной базе.

Внешний вид УЗ показан на рис. 1, а принципиальная электрическая схема – на рис. 2.

УЗ имеет следующие технические характеристики:

Диапазон контролируемых напряжений, В120...380
Нижний/верхний предел устанавливаемых напряжений срабатывания, В170...209/216...280
Время срабатывания при аварии при использовании реле, с0,1
Погрешность измерения напряжения, В±1
Время включения после аварии (задаётся пользователем), с1...600
Дискретность установки порогов напряжения, В1
Потребляемый ток (без учёта реле), мА	...30

Максимальная коммутируемая мощность зависит от используемого устройства коммутации: реле, контактор, оптосимистор, управляющий мощным симистором и т.п.

Принцип работы УЗ основан на прямом измерении амплитудного значения сетевого напряжения в течение положительного полупериода,



Рис. 1. Внешний вид устройства защиты от аномального напряжения сети ~220 В

пересчёте его в действующее напряжение и выводе результата измерения на индикатор. Основой УЗ является МК ATmega8 фирмы Atmel, имеющий встроенный десятиразрядный АЦП. УЗ управляется тремя кнопками. Кнопкой «Режим» выбирают поочередно один из четырёх режимов: верхний, а затем нижний предел срабатывания, задержку времени на включение и поправочный коэффициент. Кнопками «+» и «-» увеличивают или уменьшают значение изменяемой величины на единицу.

В работе программы МК используются три прерывания:

- прерывание 1 – срабатывает по переднему фронту прямоугольного импульса на входе PD2 (INT0), синхронизирует генератор 5 мс с частотой сети;
- прерывание 2 – срабатывает по переполнению таймера 1 и необходимо для отсчёта интервалов времени 5 мс (это время, равное четверти периода частоты сетевого напряжения; оно необходимо для привязки включения модуля АЦП к вершине синусоиды);
- прерывание 3 – возникает по окончании измерения напряжения встроенным модулем АЦП МК.

Если сетевое напряжение выходит за установленные пределы, то МК подаёт команду, срабатывает реле, нагрузка отключается от сети, а МК продолжает измерение сетевого напряжения. Если напряжение пришло в норму, то произойдёт отсчёт временного интервала на задержку включения нагрузки (1...600 с). Следует отметить, что задержки на включение продолжительностью 8...10 мин необходимы для таких устройств, в состав которых входят компрессоры (холодильники, кондиционеры, морозильные камеры).

Алгоритм работы программы УЗ (подпрограммы по внешнему прерыванию INT0) от перепадов сетевого напряжения следующий: начало → → запуск таймера T1 → конец. После пуска и инициализации МК разрешаются прерывания. При поступлении положительной полуволны на устройство формирования прямоугольных импульсов, которые дальше поступают на вход внешнего прерывания INT0, происходит запуск встроенного таймера T1 МК, настроенного на отсчёт временного интервала в 5 мс. При переполнении таймера T1 происходит генерация прерывания

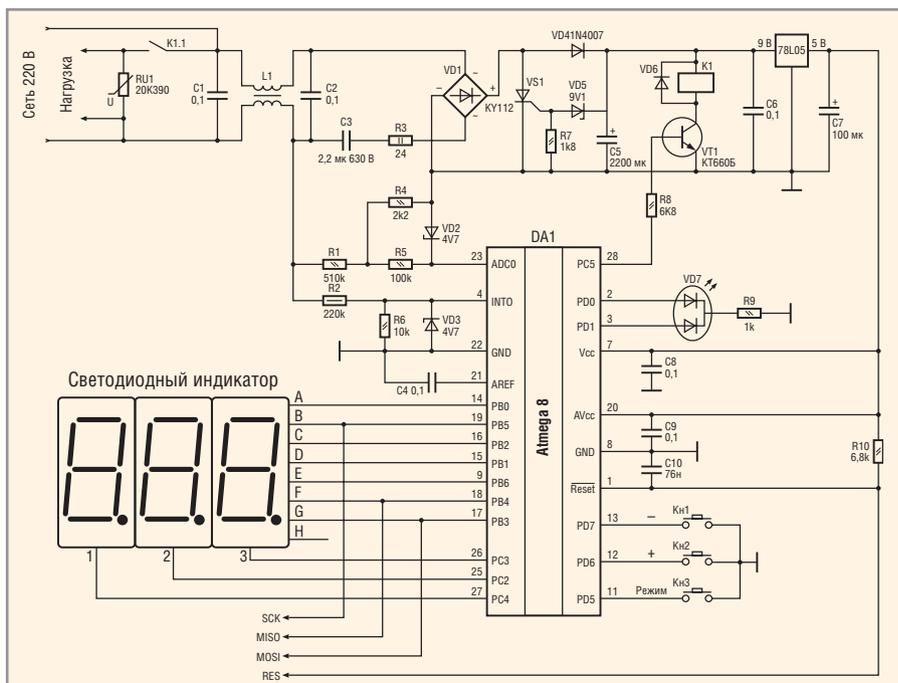


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема устройства защиты аппаратуры от аномального напряжения сети ~220 В

таймера. По этому прерыванию запускается аналого-цифровое преобразование. Алгоритм работы подпрограммы по прерыванию от таймера T1 в режиме сброс следующий: начало → остановка таймера T1 → запуск однократного аналого-цифрового преобразования → конец. Таким образом, запуск преобразования АЦП произойдёт с задержкой 5 мс после появления переднего фронта прямоугольного импульса на входе INT0, что и позволит произвести измерение амплитуды синусоидального напряжения. За одну секунду происходит пятьдесят выборок измеряемого напряжения (см. рис. 3).

Рассмотрим подробнее алгоритм работы подпрограммы измерения напряжения, приведённый на рис. 4. Контроль сетевого напряжения начинается с проверки попадания измеренного напряжения U_{izm} в диапазон заданных граничных напряжений $\{U_{min}...U_{max}\}$. В случае пятикратного непопадания происходит отключение нагрузки. Данная проверка необходима для повышения помехоустойчивости и отсеивания сетевых помех. Это соответствует задержке срабатывания исполнительного реле (отключения нагрузки) через 100 мс после возникновения первого непопадания в диапазон заданных граничных напряжений $\{U_{min}...U_{max}\}$.

При отключенной нагрузке и возвращении U_{izm} в диапазон $\{U_{min} +$

$+ 3 В...U_{max} - 3 В\}$ запустится механизм подсчёта временного интервала, необходимого для задержки включения нагрузки. Этот временной интервал может задаваться самим пользователем в диапазоне от 1 с до 10 мин. Смещение граничных напряжений в центр заданного диапазона на 3 В необходимо для чёткого и однозначного переключения реле в случае, если напряжение сети нестабильно и находится у одной из заданных границ.

Далее выполняется усреднение измеренного значения напряжения по тридцати предыдущим выборкам согласно формуле:

$$U_{izm_sredn} = \sum_{i=1}^{30} U_{izm_i} / 30.$$

После окончания подпрограммы измерения напряжения управление передаётся основной программе,

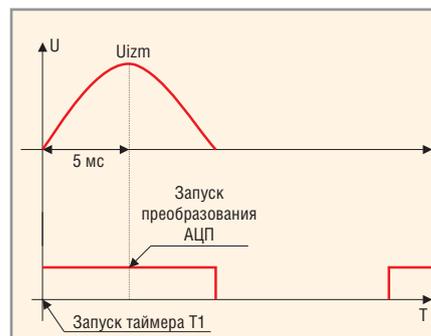


Рис. 3. Форма сигналов, поступающих на вход АЦП (верхний) и на вход внешнего прерывания INT0

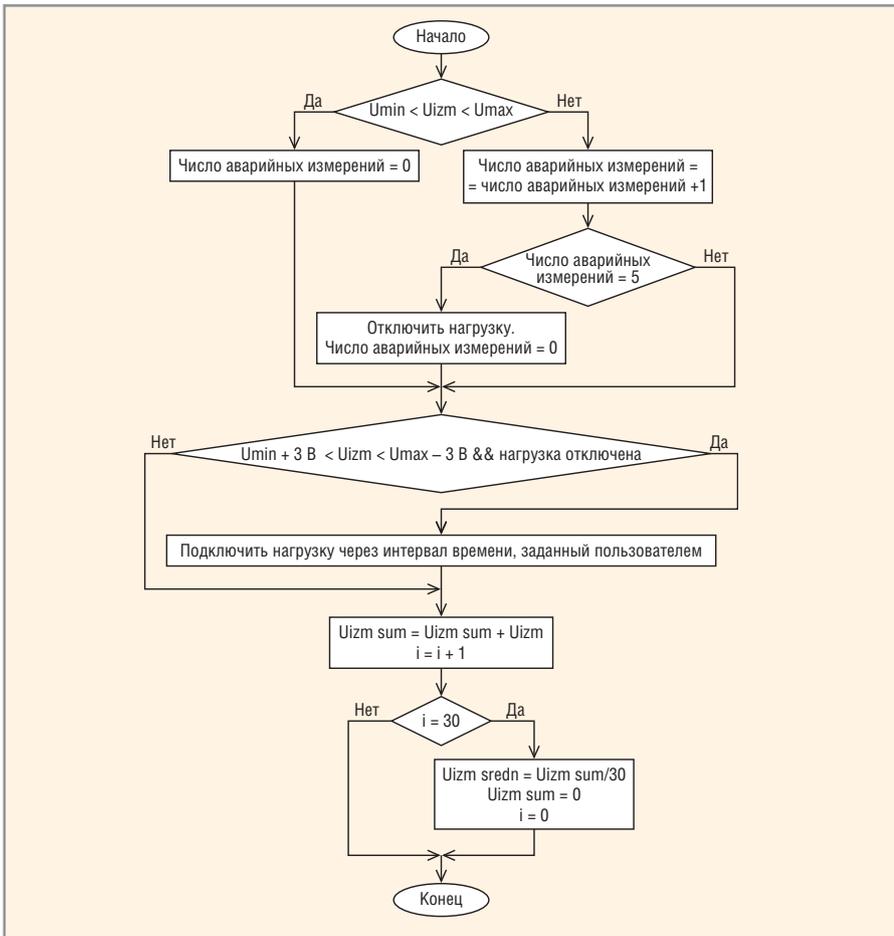


Рис. 4. Алгоритм измерения напряжения

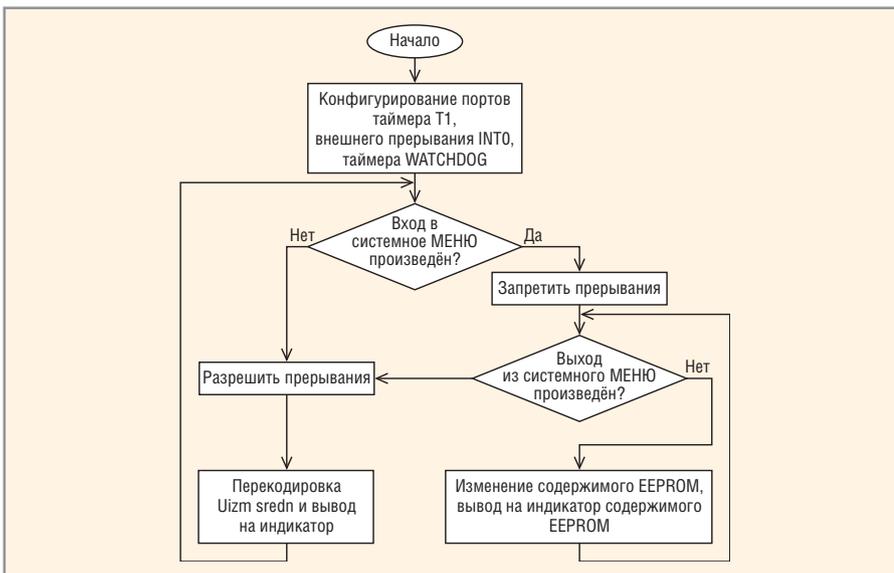


Рис. 5. Алгоритм основной программы

изображённой на рис. 5. После подачи питания на МК начинает работать основная программа. Происходит первоначальная конфигурация портов, таймера T1 и Watchdog, настройка и разрешение прерываний. Затем выявляется нажатая кнопка. Если была нажата кнопка «+» или «-», никаких действий не производится. Если же была нажата кнопка «Режим», то про-

исходит запрет работы всех прерываний, и автомат защиты переходит в режим системного меню. На индикаторе высвечивается название первой настраиваемой величины (находящейся в EEPROM) – «Uup» – это верхнее граничное напряжение, а затем её значение в вольтах. Последующее нажатие кнопок «+» или «-» приведёт к изменению этой переменной на

единицу и сохранению в EEPROM. Последующие нажатия на кнопку «Режим» будут производить переключение между настраиваемыми параметрами:

- Udn – нижнее граничное напряжение (второе нажатие на кнопку «Режим»);
- tir – время на задержку включения контактора после вхождения измеряемого напряжения в заданные пределы (третье нажатие на кнопку «Режим»);
- tun – поправочный коэффициент, необходимый для пересчёта результата измерения сетевого напряжения, произведённого АЦП, в U_{izm} .

Таким образом, каждое изменение параметров установки фиксируется в энергонезависимой EEPROM-памяти МК. Это необходимо для того, чтобы при выключении сетевого напряжения ранее установленные значения были сохранены. После записи в память EEPROM и выхода из режима настройки производится разрешение всех прерываний.

Выход из системного меню происходит при пятом нажатии кнопки «Режим» или если в течении 30 с не нажималась ни одна из кнопок УЗ. После этого разрешаются прерывания и происходит перекодировка усреднённого результата измерения U_{izm_sredn} в двоично-десятичный код. Полученный результат пересылается в регистры МК, отвечающие за индикацию.

Рассмотрим элементы, присутствующие в принципиальной схеме (рис. 1). RU1, C1, L1, C2 – стандартный сетевой помехоподавляющий LC-фильтр, позволяющий отсеять сетевые помехи и повысить точность измеряемого напряжения. Варистор RU1 (20K391 или 20K430) защищает нагрузку от кратковременных перенапряжений и импульсных высоковольтных помех. Измеряемое сетевое напряжение через делитель R1, R4, R5 поступает на вход АЦП (23 вывод DA1).

Стабилитрон VD2 ограничивает входное напряжение на уровне 4,7 В. Диоды VD1 выпрямительного моста пропускают на измерительный вход МК только положительную часть поделенного сетевого напряжения. Делитель напряжения R2, R6 совместно со стабилитроном VD3 формирует прямоугольные импульсы на входе INTO. По фронту этих импульсов происходит синхронизация работы внутреннего генератора 5 мс.

Транзистор VT1 управляет реле K1. К сети нагрузка подключается через контакты реле K1.1. Контакты реле должны выдерживать ток, потребляемый нагрузкой. Трёхвыводной светодиод VD7 – двухцветный. В нормальном режиме, т.е. когда контролируемое напряжение находится в заданных пределах, светодиод VD7 светится зелёным светом. Если напряжение сети выходит за установленные пределы, то светодиод VD7 светится красным светом. При этом контакты реле K1.1 отключают нагрузку от сети.

Питание УЗ осуществляется от блока питания, построенного по бестрансформаторной схеме с гасящим конденсатором. Отказ от сетевого трансформатора позволил уменьшить габариты и стоимость УЗ. В состав бестрансформаторного блока питания входят следующие элементы: C3, R3, VD1, VS1, R7, VD5, VD4. Следует отметить, что элементы C3, R3, VD1, VS1, а также входной помехоподавляющий фильтр должны выдерживать переменное напряжение 380 В. Использование тиристора VS1 в качестве силового элемента, стабилизирующего напряжение 9 В, позволило создать надёжный и эффективный блок питания, работающий в широком диапазоне сетевого напряжения (120...380 В).

МК ATmega8 может быть заменён на более дешёвый – ATmega8L, являющийся облегченной версией ATmega8. В данном устройстве используется встроенный в ATmega8 RC-генератор, настроенный на частоту 8 МГц.

В качестве устройства отображения информации применён 3-разрядный семисегментный светодиодный индикатор с общим катодом, работающий в режиме динамической индикации. Сегменты индикатора подключаются непосредственно к порту PB МК без токоограничительных резисторов, т.к. МК семейства Mega обладают портами ввода/вывода с повышенной нагрузочной способностью (до 20 мА на каждом выводе). Катоды индикатора подключены ко второму, третьему и четвёртому разряду порта PC. Такое подключение сегментов индикатора к порту PB позволяет упростить разводку печатной платы УЗ.

Кнопки «Режим», «+» и «-» подключены также без токоограничительных резисторов к шестому, пятому и седьмому разрядам порта PD МК. К нулевому и первому разряду порта PD подключен двухцветный светодиод

VD7 (красный-зелёный), сигнализирующий о режиме работы УЗ. Зелёный – нагрузка подключена к сети, красный – нагрузка отключена. Подключив последовательно со светодиодами оптореле (оптосимистор, управляющий мощным симистором), можно при необходимости увеличить функциональность устройства.

Применение МК ATmega8 дало возможность использовать внутрисхемное программирование непосредственно на собранной плате с помощью последовательного интерфейса SPI (выводы SCK, MISO, MOSI, RESET, +5В и GND), что также повысило технологичность изделия. На время программирования желательно отключать индикатор и стабилизатор 5 В (78L05). Для этого на плате имеются соответствующие разъёмы и джампер.

Налаживание и работа с УЗ сводится к вхождению в соответствующие режимы с помощью кнопки «Режим». Нажатие этой кнопки позволяет войти в режим установки нижнего и верхнего предела срабатывания УЗ, установки поправочного коэффициента (режим «tun»), а также установки задержки времени на включение. Изменение выбранных величин производится кнопками «+» и «-». В режиме установки максимального и минимального значения измерение напряжения не производится.

Установка необходимого коэффициента tun даёт возможность изменить индицируемую величину измеренного сетевого напряжения в широких пределах. Это позволило отказаться от точного подбора резистивного делителя на входе АЦП МК. При установке этого коэффициента необходимо добиться совпадения показаний на индикаторе УЗ с показаниями эталонного вольтметра переменного тока.

При возникновении аварийной ситуации реле K1 отключит нагрузку размыканием контактов K1.1. Светодиод VD7 будет светиться красным светом, а светодиодный индикатор будет показывать измеряемое напряжение. После пропадания аварийной ситуации и окончания времени задержки на включение сработает реле, нагрузка будет опять подключена к сети, а светодиод засветится зелёным светом.

Работу настроенного УЗ можно проверить при помощи трансформа-

тора, позволяющего изменять подаваемое на УЗ напряжение сети в широких пределах.

На сайте журнала представлены некоторые дополнительные материалы, которые можно использовать для воспроизведения такого УЗ. Показана печатная плата УЗ (115 × 91 мм) и печатная плата для установки индикаторов (82 × 31 мм), как со стороны печатных проводников, так и со стороны расположения компонентов. Прошивка МК находится в файлах zachita.eep и zachita.hex.

Фьюзы ATmega8 программировались из следующих условий:

- отсутствие защиты от просмотра и копирования;
- тактирование от внутреннего генератора частотой 8 МГц;
- включен детектор Brown-Out с напряжением порога 4 В;
- включен таймер Watchdog.

Ниже приведена сокращённая формула программирования фьюзов:

CKSEL0 = CKSEL1 = CKSEL3 = SUT0 = SUT1 = BODLEVEL = BODEN = WDTON = 0. Остальные фьюзы и биты защиты равны «1», т.е. они не запрограммированы (в PonyProg отсутствуют «галочки»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel. М.: Додэка-XX1, 2004.
2. Зеленин А. Полуавтомат защиты радиоаппаратуры от «перепадов» напряжения сети. Радио. 1998. № 10.
3. Квятковский В. Устройство защиты радиоаппаратуры от превышения сетевого напряжения. Радио. 1999. № 10.
4. Нечаев И. Устройство защиты аппаратуры от колебаний напряжения сети. Радио. 2001. № 1.
5. Шрайбер А. Устройство защиты от перепадов напряжения в электросети. Радио. 2001. № 2.
6. Коротков И. Устройство защиты бытовых приборов от аномальных напряжений в сети. Радио. 2001. № 8.
7. Аксёнов В. Экономное устройство защиты аппаратуры от колебаний напряжения сети. Радио. 2003. № 7.
8. Майоров М. Устройство защиты от перенапряжения. Схемотехника. 2004. № 4.
9. Федоров О. Ещё раз о бестрансформаторных блоках питания с гасящим конденсатором. Схемотехника. 2004. №№ 6 и 7.

