

Цифровые автоматы защиты лампы накаливания с фазоимпульсным и ШИМ-управлением

Александр Одинец (г. Минск, Беларусь)

В статье рассматриваются два автомата, обеспечивающие плавное линейное нарастание среднего значения тока лампы накаливания в течение нескольких секунд. Возможно применение данных устройств в качестве цифровых регуляторов мощности.

Как известно, срок службы лампы накаливания во многом зависит от режима её работы. Нить лампы накаливания наиболее подвержена разрушению именно в момент включения, когда её сопротивление в холодном состоянии в несколько раз меньше, чем в нагретом. Плавное увеличение тока в момент включения позволяет избежать разрушения нити и значительно продлить срок службы лампы накаливания. Известные автору аналоговые конструкции автоматов защиты ламп накаливания на самом деле обеспечивают лавинообразное нарастание тока в момент включения. Дело в том, что вольтамперная характеристика коммутирующего биполярного или полевого транзистора имеет нелинейный вид. Фактически, в начальный момент времени, при включении в сеть, ток через лампу накаливания имеет очень малое значение. Далее ток возрастает нелинейно и лавинообразно, пока коммутирующий транзистор не войдёт в режим насыщения, соответствующий максимальной яркости лампы накаливания. Таким образом не удаётся полностью избежать броска тока в момент включения даже при относительно большом значении времени задержки включения. В результате лампа долго не загорается, а затем выходит на максимальный уровень яркости очень быстро, за доли секунды. Кроме того, данный режим неблагоприятно сказывается и на работе самих коммутирующих элементов.

Применение цифровых методов управления коммутирующими силовыми элементами с использованием фазоимпульсной модуляции и ШИМ-модуляции позволяет добиться действительно линейного нарастания

среднего значения тока через лампу накаливания в момент включения и, тем самым, обеспечить наиболее благоприятный режим её работы. Кроме того, благодаря функции регулятора мощности, можно ограничить максимальную мощность лампы накаливания, которая обычно возрастает в вечерние часы, когда число потребителей уменьшается, и напряжение в сети возрастает, и тем самым, ещё больше увеличить ресурс лампы накаливания.

Электрическая схема первого варианта автомата приведена на рисунке 1. В данном автомате реализовано управление мощностью методом фазоимпульсной модуляции. При этом время нарастания яркости от нуля до максимума может выбираться в пределах от долей секунды до десятков секунд.

Сущность фазоимпульсного метода заключается в изменении времени задержки открывания симистора, считая с момента перехода сетевым напряжением нулевого значения. Чем больше время задержки, тем больше времени симистор находится в закрытом состоянии, тем меньше яркость, и, наоборот, чем раньше открывается симистор, тем больше яркость лампы накаливания.

Схема устройства содержит:

- параметрический стабилизатор на элементах R1, R2, VD2, интегральный стабилизатор DA1 напряжения «5 В» и конденсаторы фильтра C1...C4;
- задающий НЧ-генератор на триггере Шмитта DD2.1;
- одновибратор-схему выделения моментов перехода сетевого напряжения через ноль на элементах DD1.1, DD1.2;

- RS-триггер управления симистором на элементах DD5.2, DD5.3;
- усилительный каскад на транзисторе VT1;
- ВЧ-генератор прямоугольных импульсов на элементах DD2.3, DD2.4;
- схему формирования кодовых комбинаций фазового угла управления симистором, в состав которой входят: двоичные счётчики DD3.1, DD3.2, а также реверсивные счётчики DD6 и DD7.

Рассмотрим работу автомата, считая с момента перехода напряжением сети нулевого значения. При этом ток через стабилитрон VD2 уменьшается до нуля и на его катоде (относительно анода) формируется отрицательный импульс пилообразной формы амплитудой 10 В. Этот импульс через резистивный делитель R5–R6 поступает на вход одновибратора на элементах DD1.1, DD1.2, который формирует из него стабильный по длительности, но уже прямоугольный отрицательный импульс. Этот импульс после инвертирования элементом DD1.4 устанавливает RS-триггер в исходное состояние и одновременно обеспечивает загрузку двоичной комбинации с выходов счётчиков DD3.1 и DD3.2 в собственные двоичные разряды счётчиков DD6 и DD7. По входам «D0...D3» счётчиков DD6 и DD7 сразу же после включения питания будет записана двоичная комбинация «00000000», так как счётчики DD3.1 и DD3.2 были установлены в исходное нулевое состояние благодаря интегрирующей цепочке C10–R15.

С каждым выходным импульсом ВЧ-генератора (DD2.3, DD2.4), поступающим на вход суммирования (вывод 5) счётчика DD6, происходит увеличение его состояния, а вслед за ним – и DD7. Как только второй из них (DD7) достигнет пятнадцатого состояния, то следующий отрицательный импульс на его суммирующем входе вызовет появление на его выходе переноса «+CR» (вывод 12) короткого отрицательного импульса и пере-

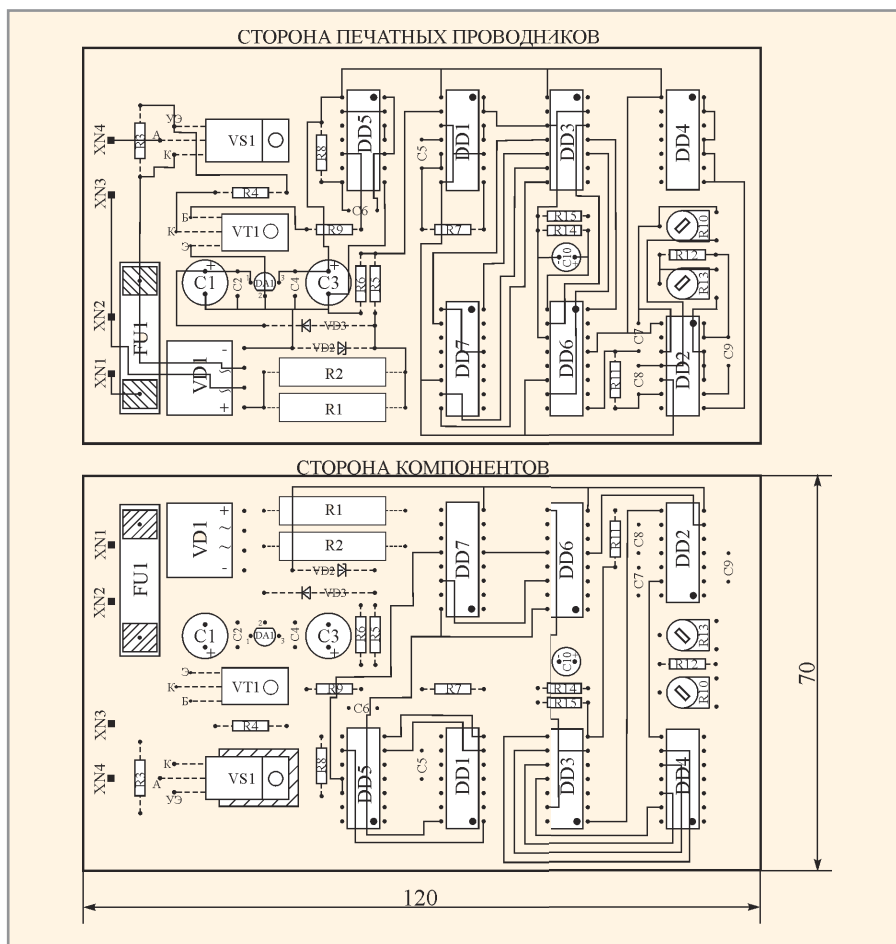


Рис. 2. Печатная плата цифрового автомата защиты лампы накаливания с фазоимпульсным управлением

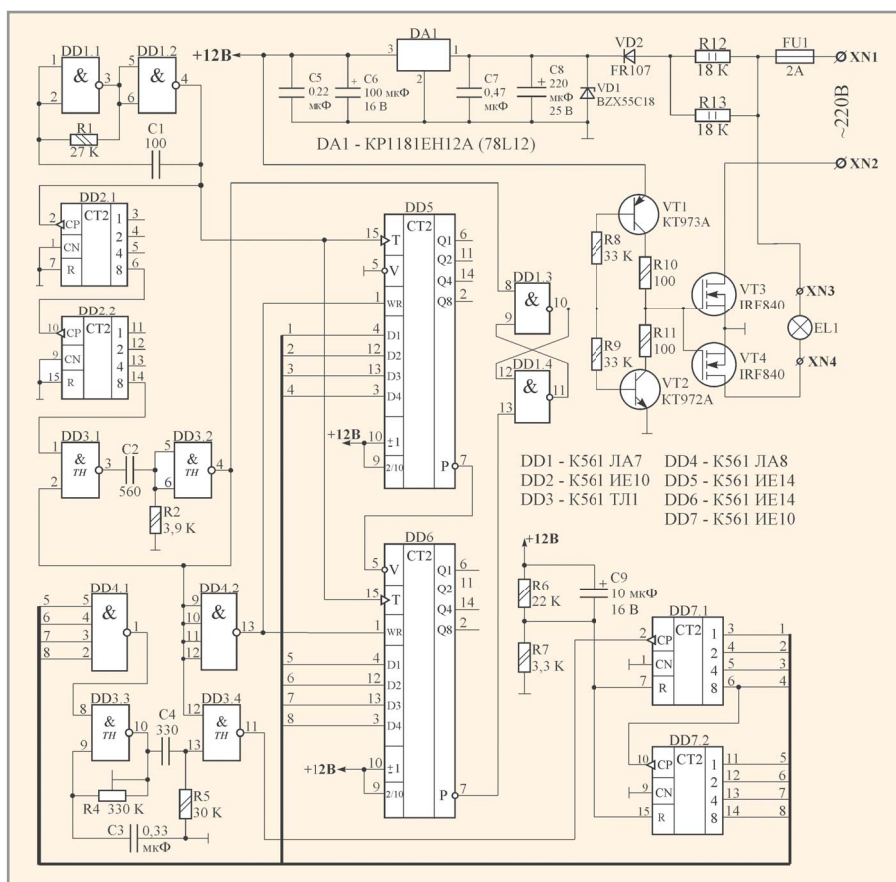


Рис. 3. Электрическая принципиальная схема цифрового автомата защиты лампы накаливания с ШИМ-управлением

необходимо установить на теплоотвод. Интегральный стабилизатор применён типа KP1181EH5A (78L05).

Настройка автомата заключается в установке необходимой скорости нарастания яркости подстроечным резистором R10 и частоты задающего ВЧ-генератора резистором R13 около 25600 Гц. Сделать это можно визуально наблюдением изменения яркости от нуля до максимума в циклическом режиме, если снять запрет на работу генератора DD2.1. Для этого необходимо верхний по схеме вход элемента DD2.1 (вывод 13) отсоединить от выхода элемента DD4.2 и подать на этот вход уровень лог.1, т.е. разрешить непрерывную работу генератора. При этом будет происходить циклическое возрастание яркости от нуля до максимума, затем выключение лампы и так далее «по кругу».

Частоту ВЧ-генератора устанавливают подстроечным резистором R13 таким образом, чтобы сразу же после выключения лампы наблюдалось визуально едва заметное слабое свечение нити накаливания. Если частота ВЧ-генератора окажется слишком высокой, то нить накаливания начнёт загораться преждевременно, а если слишком низкой, то нить накаливания начнёт загораться с запозданием. Точному значению частоты 25600 Гц соответствует зажигание от нуля лампы сразу же после её выключения в циклическом режиме. После установки требуемого значения частоты восстанавливают соединение верхнего по схеме входа элемента DD2.1 (при отключенной сети!) с выходом DD4.2. На этом настройка завершена. Автомат готов к работе.

Электрическая принципиальная схема второго варианта автомата с ШИМ-управлением приведена на рисунке 3. В данном варианте автомата реализовано управление мощностью путём изменения скважности импульсов ШИМ-сигнала. Частота ШИМ-импульсов составляет 1 кГц при частоте задающего генератора 256 кГц. При этом время нарастания яркости от нуля до максимального значения также может выбираться в пределах от долей секунды до десятков секунд.

Работает автомат следующим образом. При подаче питающего напряжения интегрирующая цепочка C9-R7 формирует короткий положительный импульс, сбрасывающий счётчики DD7.1 и DD7.2 в исходное нулевое

состояние. При этом на входы предустановки счётчиков DD5 и DD6 поступают уровни лог.0 с выходов счётчиков DD7.1 и DD7.2. Импульсы задающего генератора DD1.1–DD1.2 делятся счётчиками DD2.1 и DD2.2 и подаются на вход одновибратора, собранного на элементах DD3.1–DD3.2. Одновибратор формирует короткие отрицательные импульсы по спадам импульсов на входе элемента DD3.1 (вывод 13), которые устанавливают RS-триггер DD1.3–DD1.4 в исходное единичное состояние и после инвертирования элементом DD4.2 осуществляют предустановку счётчиков DD5 и DD6 по их входам асинхронной записи «WR» (выводы 1).

В начальный момент времени счётчики DD7.1, DD7.2 находятся в нулевом состоянии, поэтому по входам предустановки «D1...D4» счётчиков DD5 и DD6 загружается нулевая двоичная комбинация. Поскольку RS-триггер DD1.3–DD1.4 изначально находится в условном единичном состоянии, на выходе DD1.3 присутствует лог.1, а на выходе DD1.4 – лог.0. Ключевые транзисторы VT3, VT4 закрыты, лампа обесточена.

Счётные импульсы по входам «Т» (выводы 15) счётчиков DD5, DD6 увеличивают их состояние, и, когда счётчик DD6 достигнет пятнадцатого состояния, на его выходе переноса «P» (вывод 7) сформируется короткий отрицательный импульс, перебрасывающий RS-триггер в противоположное нулевое состояние. На выходе DD1.4 появится лог.1, а на выходе DD1.3 – лог.0, открывающий транзистор VT1 и закрывающий VT2, что приводит к открыванию мощных ключевых транзисторов VT3 и VT4. Лампа накаливания оказывается подключённой к сети. Описанный процесс повторяется с частотой 1 кГц и обеспечивает свечение лампы накаливания с минимальной яркостью.

Очередной счётный импульс с выхода генератора, собранного на триггере Шмитта DD3.3, после дифференцирования цепью C4–R5 и инвертирования элементом DD3.4, увеличивает состояние счётчика DD7.1 на единицу, что приводит к увеличению яркости лампы накаливания на 0,4%. Теперь в собственные двоичные разряды счётчиков DD5 и DD6 загружается двоичный код «0000001» и так далее по возрастанию, что приводит к увеличению яркости лампы накаливания с шагом 0,4%. При

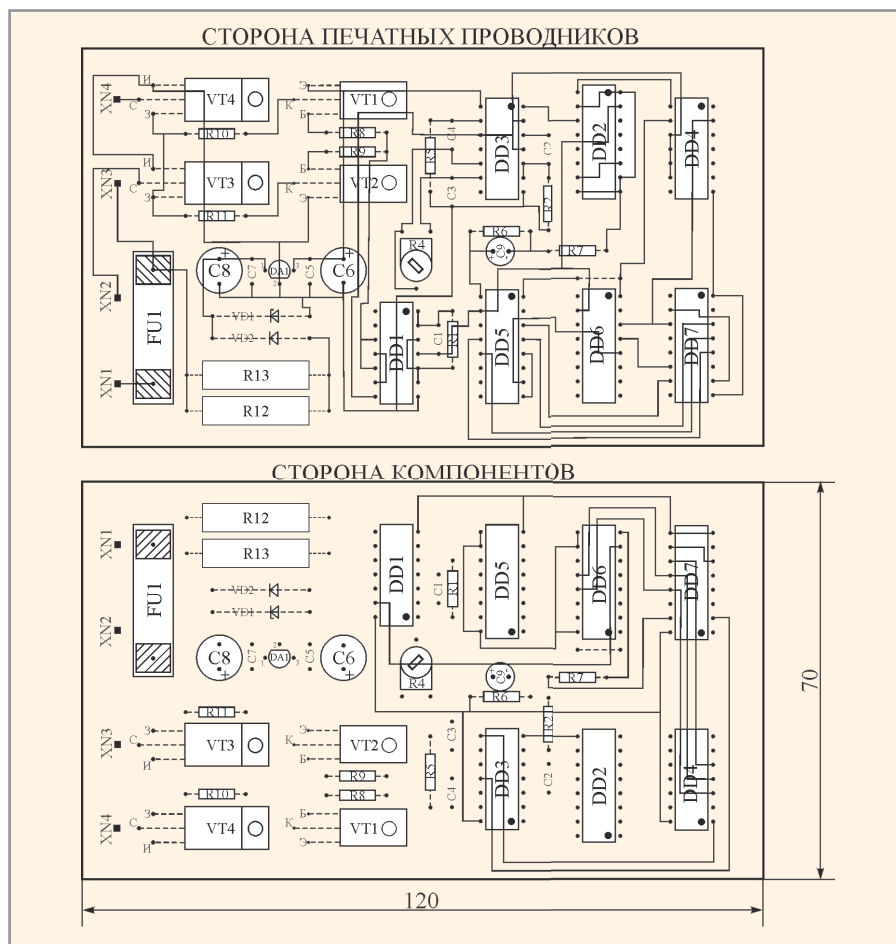


Рис. 4. Печатная плата цифрового автомата защиты лампы накаливания с ШИМ-управлением

достижении счётчиком DD7.2 пятнадцатого состояния, на выходе элемента DD4.1 появится уровень лог.0, который заблокирует работу генератора на элементе DD3.3. Счётчик DD7.2 останется в пятнадцатом, а DD7.1 – в нулевом состоянии. Теперь яркость лампы накаливания будет соответствовать максимальному значению 94%.

Кроме основной функции, автомат также легко приспособить для использования в качестве цифрового регулятора мощности, если исключить счётчики DD7.1 и DD7.2 и дополнить его формирователем управляющего кода предустановки по входам счётчиков DD5, DD6, который будет определять мощность, отдаваемую в нагрузку.

Второй вариант автомата собран на печатной плате из двустороннего фольгированного стеклотекстолита (см. рис. 4) толщиной 1,5 мм размерами 120 × 70 мм. В устройстве применены постоянные резисторы типа МЛТ-0,125, МЛТ-2 (R12, R13), подстроечный СП3-386 в горизонтальном исполнении, конденсаторы неполярные типа К10-17, оксидные К50-35 или импортные. Стабилитрон VD1 на напряжение стабилизации 15...18 В может быть

типа BZX55C15, BZX85C15, BZX85C18, KC515A или аналогичный, диод VD2 – кремниевый средней мощности с минимально допустимым обратным напряжением не менее 400 В. Транзисторы MOSFET типа IRF840 заменяемы на IRF740 и другие с минимально допустимым рабочим напряжением стока не менее 400 В и минимально возможным сопротивлением канала в открытом состоянии. Максимальная мощность лампы накаливания при эксплуатации без радиатора не должна превышать 300 Вт. Такой нагрузочной способности вполне достаточно для управления люстрой. Интегральный стабилизатор применён типа КР1181ЕН12А (78L12).

Налаживание автомата заключается в выборе желаемого времени нарастания яркости от нуля до максимума резистором R4.

В заключение хочется напомнить о правилах электробезопасности при работе с сетью напряжением 220 В. Следует избегать прикосновения к элементам включённого устройства, а при настройке использовать отвёртку с ручкой из изоляционного материала.

