Рекомендации по выбору и подключению реле для коммутации бытовых нагрузок

А.И. Незванов, В.Г. Трубин, М.В. Трубин

ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

Аннотация: В данной статье рассматривается проблема, с которой сталкивается каждый разработчик электронных устройств – выбор электромагнитного реле для коммутации цепей постоянного и переменного тока. Электромагнитные реле имеют множество параметров, разобраться в которых под силу только опытному разработчику, а неправильный выбор реле способен нарушить работу изготовленного устройства и привести к различным проблемам. В данной статье рассмотрены основные характеристики переменного напряжения, электромагнитных реле, а также обсуждаются различные схемы подключения.

Ключевые слова: электромагнитное реле, переменный ток, коммутация, управление нагрузкой с помощью микроконтроллера, ограничитель напряжения, бросок тока, холодный пуск лампы, бросок напряжения.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе разработки электронных устройств часто требуется добавить возможность коммутировать различные электрические цепи. Самым очевидным способом реализации данной задачи является использование электромагнитного реле. Но это устройство не такое простое, как кажется на первый взгляд. Оно имеет множество характеристик, которые необходимо учитывать, так как от них зависит длительная и беспроблемная работа устройства. Для понимания базовых принципов использования электромагнитных реле в ходе данного материала будут рассмотрены их основные параметры.

Также будут рассмотрены различные схемы подключения реле и приведены осциллограммы происходящих в них процессов.

1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1.1. Общие сведения

Переменный ток (*Alternating Current - AC*) [1] – электрический ток, который с течением времени изменяется по величине и направлению. В отличие от постоянного тока, график которого в зависимости от времени представляет собой прямую, переменный ток имеет синусоидальную форму (*Рис.* 1). Частота переменного тока для бытового и промышленного использования в Российской Федерации – 50 *Гц*, то есть за 1 секунду ток меняет свое направление 50 раз (длительность периода – 20 *мс*).

Потребители переменного тока имеют такой параметр, как коэффициент мощности cosφ – безразмерная физическая величина, характеризующая потребителя переменного электрического тока с точки зрения наличия в нагрузке реактивной составляющей [2]. Он показывает, насколько сдвигается по фазе переменный ток, протекающий через нагрузку, относительно приложенного к ней напряжения (*Рис.* 2, пунктирная линия – ток, непрерывная – напряжение).

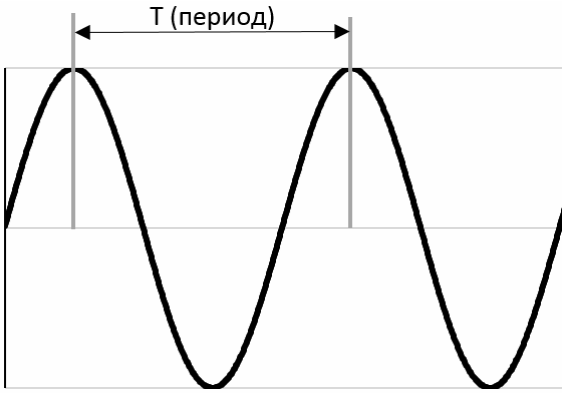

Рис. 1. График переменного тока

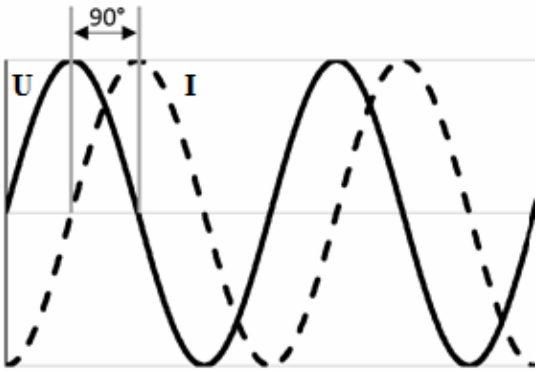

Рис. 2. График запаздывания тока от напряжения

На графике ток сдвинут на 90° (для наглядности), то есть на четверть периода. Например, электрооборудование имеет cosφ = 0,8, что соответствует углу arccos 0,8 ≈ 36.8°. Этот сдвиг происходит из-за наличия в потребителе электроэнергии нелинейных компонентов – ёмкостей и индуктивностей (например, обмотки электродвигателей, трансформаторов и электромагнитов). Для дальнейшего понимания происходящего

требуется учет того факта, что, чем выше коэффициент мощности (максимум 1), тем более эффективно потребитель использует получаемую из сети электроэнергию (то есть большее количество энергии преобразуется в полезную работу) – такую нагрузку называют резистивной («*resistive load*» в документации к реле). При резистивной нагрузке ток в цепи совпадает с напряжением. А при низком коэффициенте мощности нагрузку называют реактивной, то есть часть потребляемой мощности не совершает полезной работы.

Таблица ниже демонстрирует классификацию потребителей по коэффициенту мощности.

Таблица. 1

Классификация потребителей переменного тока

Качество потребителя	cos φ
Высокое	0,95..1
Хорошее	0,8..0,95
Удовлетворительное	0,65..0,8
Низкое	0,5..0,65
Плохое	0..0,5

Следующая таблица демонстрирует коэффициент мощности распространённых в быту потребителей электроэнергии.

Таблица. 2

Коэффициент мощности бытовых приборов

Потребитель	Коэффициент мощности cosφ
Электроплита	1
Электрочайник	1
Бытовой холодильник	0,65
Компьютер	0,95
Лампа накаливания	1
Электроинструмент	0,8
Микроволновая печь	0,85
Светодиодная лампа	0,9

1.2. Категории применения коммутационных устройств

Для стандартизации применения коммутационных устройств были определены категории потребителей переменного тока. Знание этих категорий необходимо при выборе реле и других коммутационных устройств, так как производители используют эти обозначения при отражении допустимых токов и напряжений. Таблица ниже приведена для ознакомления, источником является ГОСТ Р 50030.X [3]. Этот документ является переводом международного стандарта МЭК 60947.

Таблица. 3.

Категории применения коммутационных устройств

Категория применения	Область применения
AC-1	Электроцепи сопротивления; неиндуктивная или малоиндуктивная нагрузка
AC-2	Пуск и торможение противовключением электродвигателей с фазным ротором
AC-3	Прямой пуск электродвигателей с короткозамкнутым ротором, отключение вращающихся двигателей (может предусматривать случайные повторно-кратковременные включения или торможение противотоком ограниченной длительности, например при наладке механизма)
AC-4	Пуск и торможение противовключением электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Для таких режимов работы используются спаренные контакторы, между которыми устанавливается механическая (и не всегда электрическая) блокировка (она не допускает единовременного включения аппаратов). В этом режиме контакторы имеют меньший номинальный ток и ресурс.
AC-5a, AC-5b	Коммутирование разрядных электрических ламп и ламп накаливания соответственно
AC-6a, AC-6b	Управление трансформаторами и батареями конденсаторов соответственно
AC-7a, AC-7b	Коммутирование слабоиндуктивных и двигательных нагрузок в бытовых сетях соответственно
AC-8a, AC-8b	Коммутирование герметичных двигателей компрессоров холодильников (сочетание двигателя и компрессора в одном корпусе) с ручным или автоматическим взводом расцепителей перегрузки соответственно
AC-11	Управление электромагнитами переменного тока
AC-12	Контроль над омическими и неизменными во времени нагрузками
AC-13	Контроль над не меняющимися с течением времени нагрузками
AC-14	Управление электрическими магнитами небольшой мощности N ≤ 72 Вт
AC-15	Контроль над электромагнитами с N ≥ 0,072 киловатт

2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЛЕ

2.1. Общие сведения

Электромагнитное реле [4] (англ. *Electromagnetic relay*) – электромеханическое устройство, которое предназначено для коммутации электрических цепей. Оно имеет в своей конструкции электромагнит, при включении которого срабатывает механизм, замыкающий или размыкающий контакты. Благодаря тому, что управляющая цепь изолирована от выходных контактов, с помощью реле можно управлять высоковольтной нагрузкой, используя низковольтный сигнал.

Электромагнитное реле имеет множество характеристик. Рассмотрим основные из них.

2.2. Контактная схема

Контактная схема отражает характер переключения при подаче напряжения на обмотку реле. Обозначается двумя знаками, первый из которых отражает количество коммутируемых групп, а второй - тип переключения.

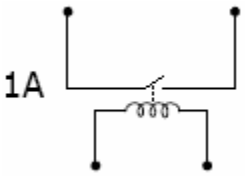

Рис. 3. Контактная схема 1*A*

Контактная схема 1*A* (*Рис*. 3) имеет одну нормально разомкнутую группу *(Н.Р./NO – normally open)*, то есть при подаче напряжения на обмотку реле происходит замыкание одного контакта.

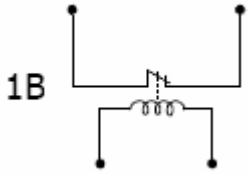

Рис. 4. Контактная схема 1*B*

Контактная схема 1*B* (*Рис*. 4) имеет одну нормально замкнутую группу (*Н.З./NC – normally closed*), то есть при подаче напряжения на обмотку реле происходит размыкание одного контакта.

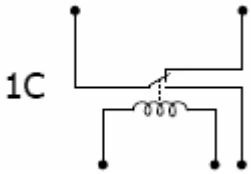

Рис. 5. Контактная схема 1*C*

Контактная схема 1*C* (*Рис*. 5) имеет одну группу контактов, но в отличие от типов *A* и *B*, подвижный контакт при подаче напряжения на обмотку реле переключается от одного контакта к другому, то есть реле с такой контактной схемой работает как переключатель.

Контактная схема *2A* (*Рис*. 6) имеет две нормально разомкнутых группы (*Н.Р./NO – normally open*), то есть при подаче напряжения на обмотку реле происходит замыкание двух контактов.

Также существуют реле с другими вариантами контактных схем: 3A, 2C, 3C и т. п.

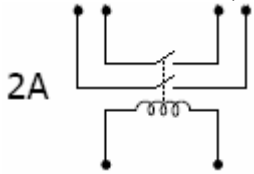

Рис. 6. Контактная схема 2*A*

2.3. Напряжение обмотки

Параметр электромагнитного реле, определяющий величину напряжения, которое требуется приложить к обмотке для её включения.

Наиболее распространённые напряжения:

- 5 *В* постоянного тока (*VDC*) – часто используются в схемах с 5 *В* питанием, например, в схемах с микроконтроллерами;
- 12 *В* постоянного тока – управление в автомобильных цепях.
- 24 *В* постоянного тока – управление в промышленных контроллерах.
- 220 *В* переменного тока (*VAC*) – управление в бытовых и промышленных сетях.

2.4. Ток коммутации и срок службы

Возможно самый важный, и в то же время сложный в выборе реле параметр. Он определяет величину тока, которую реле способно коммутировать, сохраняя дальнейшую работоспособность на долгое время. Рассмотрим в качестве примера широко распространённое реле с контактной схемой *1C SONGLE SRD*-05-*VDC-SL-C* [5] (*Рис*. 7).

Рис. 7. Реле *SONGLE SRD*-05*VDC-SL-C*

На данном реле производитель указывает следующие параметры 10*A* 250*VAC*. Но в действительности, при коммутации высокоиндуктивной нагрузки, такое реле не сможет выдержать и 3 ампер при 250*VAC*.

В документации производителя имеется следующая таблица (*Рис*. 8):

CONTACT RATING

Item \ Type	SRD FORM C	SRD FORM A
Contact Capacity Resistive Load (cosΦ=1)	7A 28VDC 10A 125VAC 7A 240VAC	10A 28VDC 10A 240VAC
Inductive Load (cosΦ=0.4 L/R=7msec)	3A 120VAC 3A 28VDC	5A 120VAC 5A 28VDC
Max. Allowable Voltage	250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power Force	800VAC/240W	1200VA/300W
Contact Material	AgCdO	AgCdO

Рис. 8. Таблица допустимых токов

Исходя из таблицы, становится ясно, что при коммутации «идеальной» нагрузки (тип нагрузки *AC*-1, то есть нагревательного элемента, и прочих, которые полностью преобразовывают получаемую энергию в работу) реле способно выдержать всего лишь 7 *А*. А при коммутации индуктивной нагрузки (имеющей высокую реактивную составляющую) производитель вообще не указал ток.

Для сравнения рассмотрим реле *Omron G2RL*-1*A*-*E*-5*DC* [6] с контактной схемой 1*A* (*Рис*. 9).

Рис. 9. Реле *Omron G2RL-1A-E-5DC*

Производитель указывает на нем допустимый ток 16 *А* при 250 *VAC*. Но в документации есть следующая таблица (*Рис*. 10).

Model	Contact ratings
G2RL-1(A)-E	16 A at 250 VAC (cosϕ=1) 16 A at 24 VDC (L/R=0 ms) AC15: 3 A at 240 VAC (NO) 1.5 A at 240 VAC (NC) DC13: 2.5 A at 24 VDC (NO), 50 ms

Рис. 10. Таблица допустимых токов

Из неё видно, что 16 *А* реле способно выдержать только при резистивной нагрузке (cosφ = 1, категория нагрузки *AC-1*), а при коммутации высокоиндуктивной нагрузки (категория нагрузки *AC-15*, например электромагниты большой мощности) оно способно выдержать ток до 3 ампер. Но помимо этой, в документации есть еще одна таблица (*Рис*. 11), в которой указан ресурс реле по количеству коммутаций.

G2RL-1-E	16 A at 250 VAC (cosϕ=1)	30,000 operations min.
	8 A at 250 VAC (cosϕ=0.4)	200,000 operation min.

Рис. 11. Таблица ресурса по количеству коммутаций

Из неё видно, что при токе 16 *А* при 250 *VAC* cosφ = 1) реле должно сработать минимум 30 тысяч раз, а при токе 8 А при 250 *VAC* (cosφ = 0,4) реле должно сработать минимум 200 тысяч раз.

Рассчитаем примерный срок службы такого реле. При максимальной резистивной нагрузке, при условии включения реле раз в час, его ресурса в 30 тысяч включений хватит примерно на 3,5 года. Следовательно, при выборе реле необходимо руководствоваться не только таблицей допустимых токов, но и сроком службы, так как при частом включении оно может быстро израсходовать ресурс и выйти из строя.

2.5. Время переключения

Этот параметр отражает время, за которое реле изменяет состояние контактов. Для реле *SONGLE SRD*-05-*VDC-SL-C* время включения (*operation time*) составляет не более 10 *мс*, а выключения (*release time*) – не более 5 *мс*.

PERFORMANCE (at initial value)

Item \ Type	SRD
Contact Resistance	100mΩ Max.
Operation Time	10msec Max.
Release Time	5msec Max.

Рис. 12. Время переключения реле *SONGLE SRD-*05*VDC-SL-C.*

2.6. Разновидности реле

Рассмотрим три разновидности реле [7]:

- Сигнальные реле – коммутация управляющих сигналов. От мощных реле отличаются более высокой скоростью коммутации и невысоким током.
- Мощные реле – коммутация силовых цепей. Согласно устоявшейся международной классификации, максимальный коммутируемый ток таких реле составляет 30 *А*;
- Контакторы – коммутация нагрузок мощностью от 100 *Вт* до 1 *МВт*.

Рассмотрим основные отличия. В качестве примера сигнального реле рассмотрим *OMRON G5V-2* [8], мощного реле – *OMRON G2RL*, контактора – *ИЭК* серии *КМИ* [9].

Сравнение параметров:

- Скорость срабатывания – максимальное время включения/выключения:

сигнальное реле – 7 *мс*/3 *мс*;
мощного реле – 15 *мс*/5 *мс*;
контактор – 12-35 *мс*/4-20 *мс*.

- Максимальное коммутируемое напряжение:
  сигнальное реле – 125 *VAC*;
  мощного реле – 440 *VAC*;
  контактор – 660 *VAC*.
- Максимальный коммутируемый ток:
  сигнальное реле – 2 *A*;
  мощного реле – 16 *A*;
  контактор – 95 *A*.

Данное сравнение отражает общие отличия трёх разновидностей реле. Однако можно найти как мощное реле с малым током коммутации и высокой скоростью срабатывания, так и сигнальное реле с большим током коммутации и высоким напряжением, но это частные случаи.

2.7. Минимальный ток

Этот параметр отражает минимальный ток, который должен протекать через замыкаемые контакты реле, чтобы установился стабильный контакт. При коммутации силовых цепей данный параметр практически не влияет работу реле, а при коммутации управляющих сигналов необходимо его учитывать. Как правило, необходимый минимальный ток составляет десятки миллиампер. Если в коммутируемой цепи ток не достигает таких значений, то необходимо установить нагрузочный резистор. Показанная на *Рис*. 13 схема в некоторых случаях может работать некорректно, а схема на *Рис*. 14 обеспечивает стабильное замыкание контактов реле.

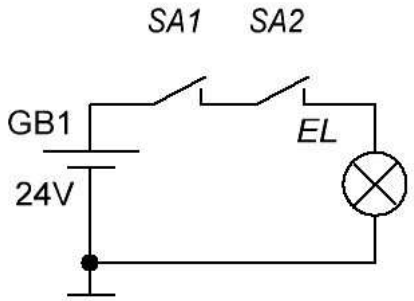

Рис. 13. Схема последовательного включения двух реле

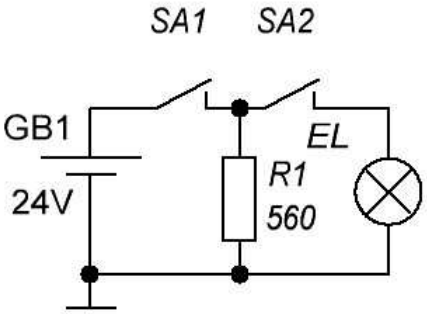

Рис. 14. Схема последовательного включения двух реле с нагрузочным резистором.

Сопротивление резистора *R*1 рассчитывается исходя из минимально необходимого тока коммутации. Для реле *OMRON G2RL*, согласно документации, минимальный ток, при котором устанавливается стабильный контакт, составляет 40 *мА* при 24 *VDC* (параметр *Contacts, Failure rate*). То есть *R*1 = U / I = 24 / 0,04 = 600 *Ом*.

В разных версиях документации на одно и то же изделие производитель может не указывать тот или иной параметр. При отсутствии интересующего параметра в имеющейся документации, стоит поискать другие версии документации, возможно в них он указан.

3. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ РЕЛЕ

Твердотельное реле [10] (*ТТР*) – электронное устройство, являющееся типом реле без механических движущихся частей, служащее для включения и выключения нагрузки с помощью низких напряжений, подаваемых на управляющие клеммы. *ТТР* содержит оптотранзистор, который реагирует на входной управляющий сигнал и включает полупроводниковый ключ. Этот тип реле может использоваться в сетях постоянного и переменного тока. Устройство применяется для тех же задач, что и обычное реле, но не содержит движущихся частей.

Преимуществом *ТТР* перед электромеханическим реле является более высокая скорость переключения, отсутствие ограничения на количество переключений.

Недостатком *ТТР*, из-за которого они на данный момент не получили широкого распространения, является их меньшая приспособленность к кратковременным перегрузкам (превышение предельно допустимых токов и напряжений).

В России разработкой и производством *ТТР* занимается ЗАО «Протон-импульс» [11].

4. СПОСОБЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ РЕЛЕ

4.1. Подключение с защитным диодом

Схема с защитным диодом, подключенным параллельно управляющей катушке реле, является наиболее распространённой (см. *Рис*. 15).

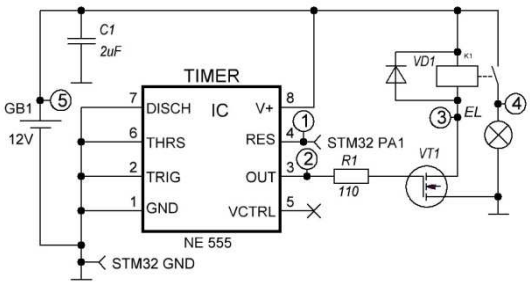

Рис. 15. Схема управления реле с защитным диодом

На представленной схеме в качестве источника управляющего сигнала выступает микроконтроллер (*МК*) *STM*32*F*100, который формирует прямоугольный управляющий сигнал без дребезга. Для повышения напряжения +3,3 *В* на выходе *МК* до +12 *В*, достаточного для открытия полевого транзистора *VT1*, используется микросхема-таймер *NE*555 [12] в режиме преобразователя уровня сигналов. Более подробно об этом режиме работы *NE*555 можно прочитать в статье [13]. Транзистор *VT*1 (*STP*35*NF*10 [14]) при подаче напряжения на затвор открывается, к обмотке реле (*SCHRACK RT*334012 [15]) прикладывается напряжение и начинает протекать ток. Реле коммутирует цепь питания лампы накаливания (автомобильная лампа, 12 *В*, 5 *Вт*). Диод *VD*1 (1*N*4007 [16]) выступает в качестве защиты транзистора *VT*1 от выброса напряжения, который возникает при разрыве питания обмотки реле. В собранном виде схема представлена на *Рис*. 16.

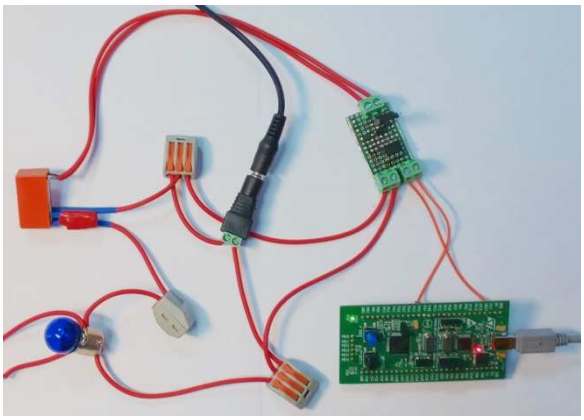

Рис. 16. Схема управления реле (универсальная для всех экспериментов), собранная на макетной плате

Представленные ниже графики (*Рис*. 17-26) отражают процессы, протекающие в схеме, показанной на *Рис*. 15.

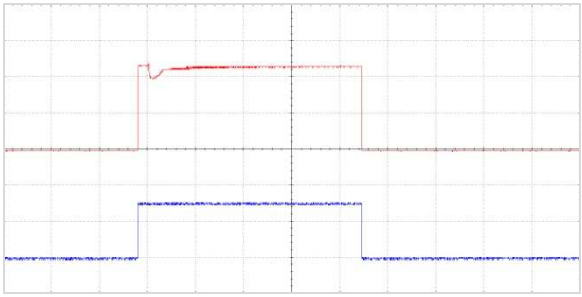

Рис. 17. Сигнал с вывода 3 *NE*555 (верхний сигнал, точка 2, 5 *В/кл*.), сигнал с вывода 4 *NE*555 (нижний сигнал, точка 1, 2 *В/кл*.), 25 *мс/кл*

На *Рис*. 17 отображена зависимость выходного (верхнего) сигнала с *NE*555 от входного (нижнего).

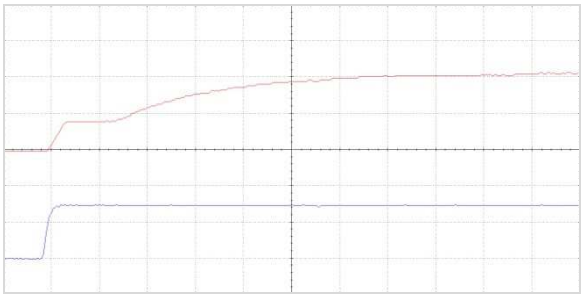

Рис. 18. Сигнал с вывода 3 *NE*555 (верхний сигнал, точка 2, 5 В/кл.), сигнал с вывода 4 *NE*555 (нижний сигнал, точка 1, 2 *В/кл*.), 250 *нс/кл*

На *Рис*. 18 отображена зависимость выходного (верхнего) сигнала с *NE*555 от входного (нижнего) с увеличенным масштабом по времени.

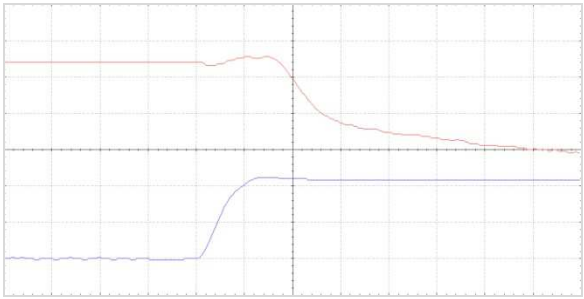

Рис. 19. Напряжение на стоке транзистора (верхний сигнал, точка 3, 5 В/кл.), сигнал с вывода 3 *NE*555 (нижний сигнал, точка 2, 5 *В/кл*.), 50 *нс/кл*

На *Рис*. 19 отображена задержка открытия транзистора *VT*1 при подаче управляющего сигнала с *NE*555.

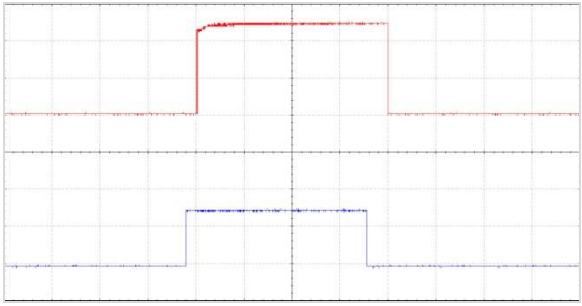

Рис. 20. Напряжение на лампе (верхний сигнал, точка 4, 5*В/кл*.), сигнал с вывода 3 *NE*555 (нижний сигнал, точка 2, 5 В/кл.), 25 *мс/кл*

На *Рис*. 20 отображена задержка включения / выключения лампы от управляющего сигнала с *NE*555.

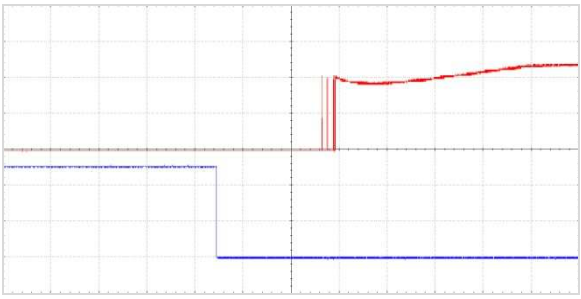

Рис. 21. Напряжение на лампе (верхний сигнал, точка 4, 5 *В/кл*.), напряжение на стоке транзистора (нижний сигнал, точка 3, 5 *В/кл*.), 2.5 *мс/кл*

На *Рис*. 21 отображена задержка между открытием транзистора *VT*1 и включением лампы. Также можно заметить дребезг контактов реле и следующую за ним просадку напряжения питающей линии, вызванную включением лампы.

На *Рис*. 22 отображена задержка между началом подачи управляющего импульса с *МК* и включением лампы, управляемой реле. Также можно заметить дребезг контактов реле.

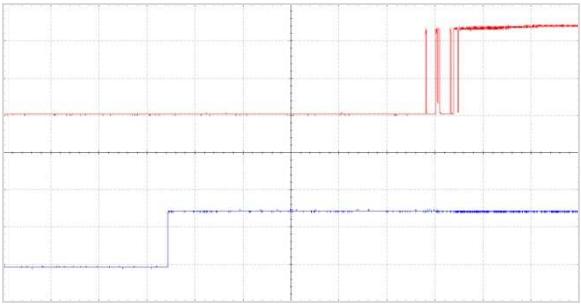

Рис. 22. Напряжение на лампе (верхний сигнал, точка 4, 5 *В/кл*.), сигнал с вывода 4 *NE*555 (нижний сигнал, точка 1, 2 *В/кл*.), 1 *мс/кл*

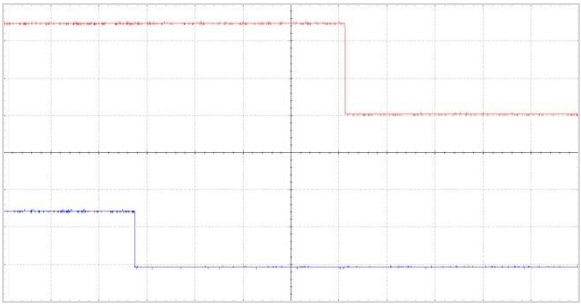

Рис. 23. Напряжение на лампе (верхний сигнал, точка 4, 5 *В/кл*.), сигнал с вывода 4 *NE*555 (нижний сигнал, точка 1, 2 *В/кл*.), 2.5 *мс/кл*

На *Рис*. 23 отображена задержка между окончанием подачи управляющего сигнала с *МК* и отключением лампы.

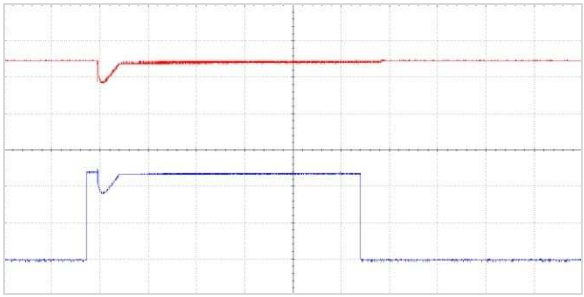

Рис. 24. Напряжение питания (верхний сигнал, точка 5, 5 *В/кл*.), сигнал с вывода 3 *NE*555 (нижний сигнал, точка 3, 5 В/кл.), 25 *мс/кл*

На *Рис*. 24 отображена просадка напряжения в питающей линии в момент включения реле, она объяснятся тем, что во время проведения экспериментов был использован 12 *Вт* источник питания на 12 *В*, мощности которого не хватает для «холодного» пуска лампы [13].

На *Рис*. 25 отображен ток «холодного» пуска лампы накаливания. Он превышает номинальный ток лампы в 4 раза, и в 2 раза превышает рабочий ток источника питания, что вызывает просадку напряжения питающей линии.

При выборе реле необходимо учитывать, что некоторые нагрузки имеют большой пусковой ток, который может превышать номинальный ток для выбранного реле в несколько раз, что может привести к «свариванию» контактов реле.

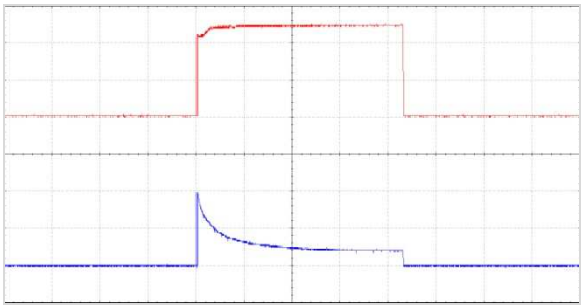

Рис. 25. Напряжение на лампе (верхний сигнал, точка 4, 5 *В/кл*.), ток проходящий через лампу (нижний сигнал, точка 4, 1 *А/кл*.), 25 *мс/кл*

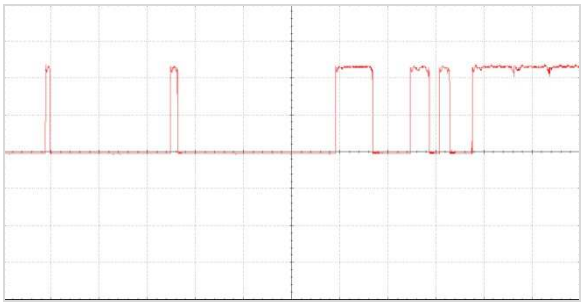

Рис. 26. Напряжение на лампе (дребезг контактов реле), 5 *В/кл*., точка 4, 100 *мкс/кл*

На *Рис*. 26 отображен дребезг контактов реле при его включении. Природа этого явления лежит в соударении контактных площадок, которые «отскакивают» при ударе друг о друга. Постепенно контакты прижимаются всё сильнее, и устанавливается стабильный контакт.

4.2. Подключение без защитного диода

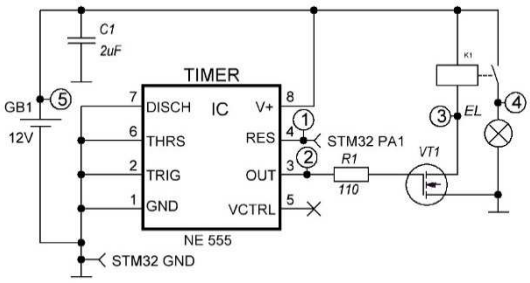

Рис. 27. Схема управления реле без защитного диода

В данном варианте схемы отсутствует диод, защищающий транзистор *VT*1 от выброса напряжения при разрыве цепи питания обмотки реле. Во избежание выхода транзистора из строя, он был заменён на *STP10NK80ZFP* [17], который способен работать с напряжением сток-исток до 800 *В*.

Представленные ниже графики (*Рис*. 28-31) отражают процессы, протекающие в схеме, показанной на *Рис*. 27.

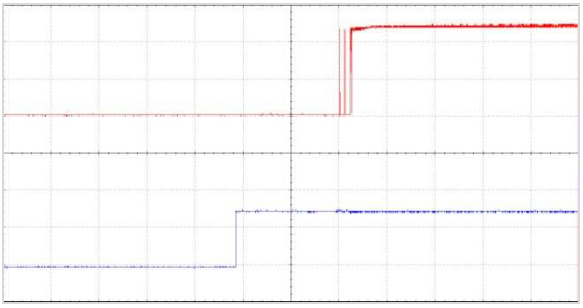

Рис. 28. Напряжение на лампе (верхний сигнал, точка 4, 5 *В/кл*.), сигнал с вывода 4 *NE*555 (нижний сигнал, точка 1, 2 *В/кл*.), без защитного диода, 2.5 *мс/кл.*

На *Рис*. 28 отображена задержка между управляющим сигналом от *МК* и включением лампы. Задержка включения составляет примерно 5 *мс*.

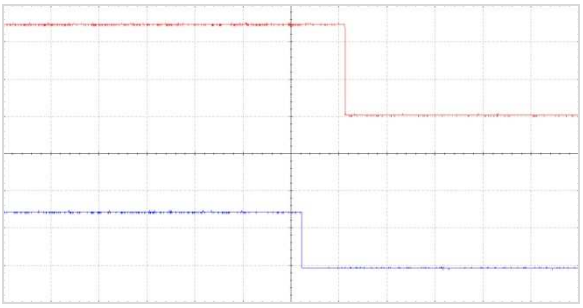

Рис. 29. Напряжение на лампе (верхний сигнал, точка 4, 5 *В/кл*.), сигнал с вывода 4 *NE*555 (нижний сигнал, точка 1, 2 *В/кл*.), без защитного диода, 2.5 *мс/кл*

На *Рис*. 29 отображена задержка выключения лампы. При прекращении подачи напряжения на обмотку реле лампа продолжает гореть еще на протяжении примерно 2,5 *мс*. В сравнении со схемой, в которой используется защитный диод, размыкание контактной группы реле происходит быстрее в ~ 4 раза.

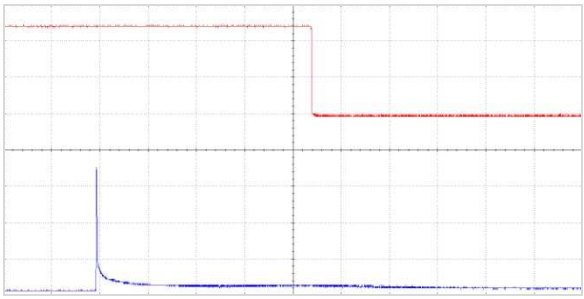

Рис. 30. Напряжение на лампе (верхний сигнал, точка 4, 5 *В/кл*.), напряжение на стоке транзистора (нижний сигнал, точка 3, 200 *В/кл*.) без защитного диода, *500 мкс/кл.*

На *Рис*. 30 изображён выброс напряжения при отключении реле. Его длительность очень мала, но напряжение огромно – около 700 *В*, при 12 *В* питании обмотки реле.

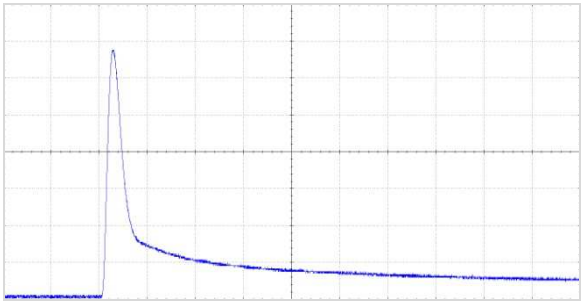

Рис. 31. Бросок напряжения на стоке транзистора без защитного диода, без ограничителя напряжения, точка 3, 100 *В/кл*., 25 *мкс/кл*

На *Рис*. 31 можно увидеть высоковольтный импульс в увеличенном масштабе. Его длительность составляет примерно 15-20 *мкс*.

Исходя из полученных результатов, схема с отсутствием защитного диода рекомендуется в условиях, когда требуется быстро отключать реле. При этом необходимо использовать транзистор, который способен выдержать высоковольтный импульс, образующийся в цепи при отключении реле.

4.3. Подключение с использованием ограничителя напряжения

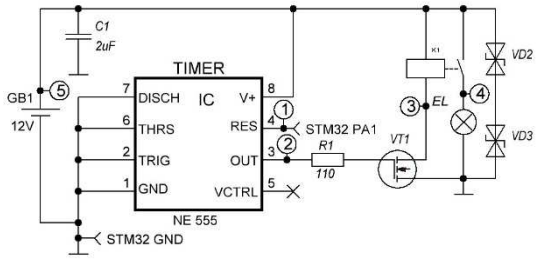

Рис. 32. Схема управления реле с ограничителем напряжения

Также для ограничения выброса напряжения, возникающего при выключении реле, можно использовать полупроводниковый ограничитель напряжения (*ОН*) [18]. В технической литературе можно встретить названия: *TVS*-диод (*Transient Voltage Suppressor*), защитный диод, ограничительный стабилитрон, трансил, ограничитель напряжения, ограничительный диод, супрессор. Рассмотрим для примера *ОН SMBJ24CA* [19].

При напряжении 26-28 *В* *ОН* начинает приоткрываться и «забирать на себя» лишнюю энергию, при этом протекающий через него ток будет около 1 *мА*. При напряжении около 50 *В* *ОН* уже способен пропустить через себя импульс тока 80 *А*.

Большим минусом данных *ОН* можно считать большую зависимость максимальной импульсной мощности от длительности импульса перенапряжения.

При проведении экспериментов было принято решение ограничить выброс напряжения на уровне равном примерно 100 *В*. Для этого были последовательно соединены имеющиеся в наличии два *ОН SMBJ24CA*. При таком включении напряжение ограничения суммируется.

Представленные ниже графики (*Рис*. 33-35) отражают процессы, протекающие в схеме, показанной на *Рис. 32*.

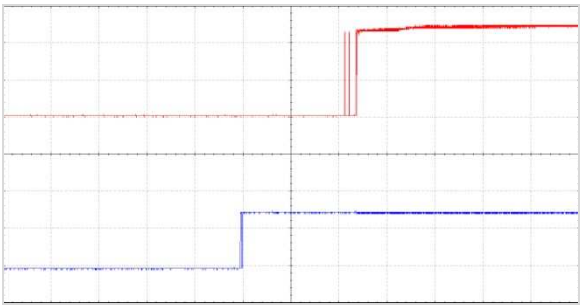

Рис. 33. Напряжение на лампе (верхний сигнал, точка 4, 5 *В/кл*.), сигнал с вывода 4 *NE*555 (нижний сигнал, точка 1, 2 *В/кл*.), без защитного диода с ограничителем напряжения, 2.5 *мс/кл*

На *Рис*. 33 отображена задержка между управляющим сигналом от *МК* и включением лампы. Задержка включения составляет ≈ 5.5 *мс*.

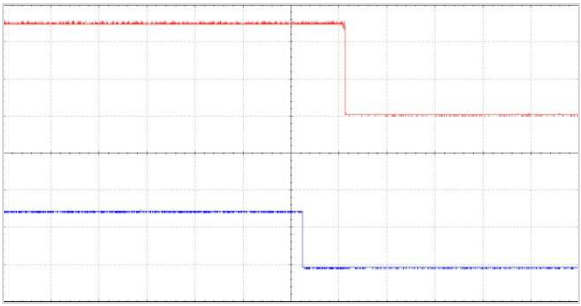

Рис. 34. Напряжение на лампе (верхний сигнал, точка 4, 5 *В/кл*.), сигнал с вывода 4 *NE*555 (нижний сигнал, точка 1, 2 *В/кл*.), без защитного диода, с ограничителем напряжения, 2.5 *мс/кл*

На *Рис*. 34 отображена задержка выключения лампы. При прекращении подачи напряжения на обмотку реле лампа продолжает гореть еще на протяжении примерно 2.5 *мс*. В сравнении со схемой, в которой используется защитный диод, размыкание контактной группы реле происходит быстрее в ~ 4 раза.

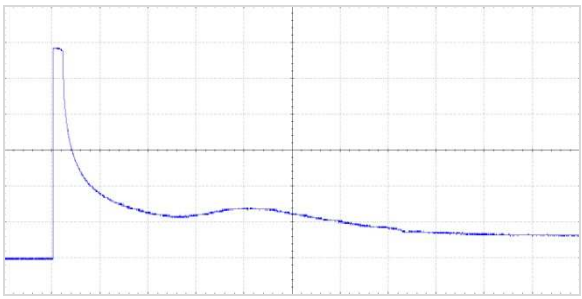

Рис. 35. Бросок напряжения на стоке транзистора без защитного диода, с ограничителем напряжения, точка 3, 20 *В/кл*., 500 *мкс/кл*.

На *Рис*. 35 изображён выброс напряжения, возникающий на стоке транзистора *VT*1 при отключении реле, «срезанный» ограничителями напряжения. Максимальное напряжение составляет примерно 120 *В*, имеется чётко видимое ограничение импульса.

Исходя из полученных графиков, можно сделать вывод об эффективности использования ограничителей напряжения для защиты транзистора, а также отметить, что размыкание контактной группы реле происходит быстрее, чем при использовании схемы с защитным диодом. При использовании такой схемы необходимо использовать транзистор, способный выдержать напряжение, например, в 1,5 раза превышающее уровень, на котором происходит ограничение выброса напряжения.

ВЫВОДЫ

При выборе реле стоит с осторожностью относиться к указанным на маркировке реле характеристикам, так как в них обычно указываются предельно допустимые значения, работа при которых необязательно будет продолжительной. Необходимо детальное рассмотрение документации, а в случае отсутствия подробных характеристик стоит задуматься о качестве такого реле.

Относительно схем включения реле можно отметить следующее:

1. Схема с использованием защитного диода проста в реализации и обеспечивает достаточную защиту управляющих элементов схемы от выбросов напряжения при выключении реле.
2. Схема без использования защитного диода и других защитных элементов имеет максимальное быстродействие при отключении реле, но требует тщательных расчётов броска

напряжения и подбора транзистора, способного выдержать высокое напряжение. Ввиду дороговизны высоковольтных транзисторов такая схема рекомендуется к использованию только в тех случаях, когда требуется максимально высокая скорость отключения.

3. Схема с использованием ограничителей напряжения является оптимальной, так как обеспечивает высокую скорость отключения реле и не требует наличия в схеме дорогих высоковольтных транзисторов, но при этом требуется подобрать ограничитель напряжения под условия работы схемы.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Wikipedia – Переменный ток. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA

[2] Wikipedia – Коэффициент мощности. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82_%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8

[3] ГОСТ Р 50030.

[4] Wikipedia – Электромагнитное реле. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%B5

[5] Документация на реле SONGLE серии SRD. URL: http://www.datasheet-pdf.com/PDF/SRD-05VDC-SL-C-Datasheet-Songle-720556

[6] Документация на реле OMRON серии G2RL. URL: https://omronfs.omron.com/en_US/ecb/products/pdf/en-g2rl.pdf

[7] Мощные электромагнитные реле. Справочник инженера. – 2001, СпБ. 152с.

[8] Документация на реле OMRON серии G5V-2. URL: https://www.farnell.com/datasheets/724502.pdf

[9] Документация на контакторы ИЭК серии КМИ. URL: https://www.iek.ru/products/catalog/detail.php?ID=9148

[10] Wikipedia – Твердотельное реле. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%B5

[11] Каталог ТТР производства ЗАО «Протон-импульс». URL: http://proton-impuls.ru/categoryrele/tverdotelnye-rele/

[12] Документация на таймер NE555x: URL: https://static.chipdip.ru/lib/222/DOC000222900.pdf

[13] Управление низковольтной мощной нагрузкой от микроконтроллера с использованием микросхемы 555. Автоматика и программная инженерия. 2017. №2. С. 103–107. URL:http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-2-2017-11.pdf

[14] Документация на транзисторы ST серии STP35NF10: URL: https://www.datasheetspdf.com/pdf-down/S/T/B/STB35NF10_STMicroelectronics.pdf

[15] Документация на реле SCHRACK серии RT1. URL: https://static.chipdip.ru/lib/145/DOC000145160.pdf

[16] Документация на диоды серии 1N400x: URL: https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds28002.pdf

[17] Документация на транзисторы ST серии STP10NK80ZFP. URL: http://pdf5.datasheet.su/amp-1-1415899-6_25708b8f2e.pdf

[18] Go radio – Супрессор. URL: http://go-radio.ru/supressor.html

[19] Документация на защитные диоды ST серии SMBJ. URL: https://static.chipdip.ru/lib/476/DOC001476144.pdf

Виталий Геннадьевич Трубин – старший преподаватель кафедры Автоматики НГТУ, директор ООО «КБ Автоматика».

E-mail: trubin@ngs.ru

Новосибирск, 630073, просп. К. Маркса, д. 20, НГТУ

Александр Игоревич Незванов – студент 1 курса магистратуры кафедры Автоматики НГТУ.

E-mail: nezvanovml@mail.ru

Новосибирск, 630073, просп. К. Маркса, д. 20, НГТУ

Максим Витальевич Трубин - студент 1 курса магистратуры кафедры Автоматики НГТУ.

E-mail: morkai@bk.ru

Новосибирск, 630073, просп. К. Маркса, д. 20, НГТУ

Статья получена 02.01.2019 г.

Choice and Connection Recommendations of Electromagnetic Relay for Switching Household Loadings

A.I. Nezvanov, V.G. Trubin, M.V. Trubin

Abstract: This material addresses the problem that arises when electronic device developer needs to switch direct and alternating current chains. It is a problem with choice of electromagnetic relay. These devices have many parameters and only the experienced developer can understand all of them. Wrong choice of relay can break work of the device. In the course of work main characteristics of alternating current, electromagnetic relays and different schemes of connections will be considered..

Key words: electromagnetic relay, alternating current, switching, loads control by microcontroller, voltage limiter, current throw, cold start-up of a lamp, voltage throw.

REFERENCES

[1] Wikipedia – Alternating current. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA

[2] Wikipedia – Power factor. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82_%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8

[3] Russian State Stndard GOST R 50030.

[4] Wikipedia – Electromagnetic relay. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%B5

[5] Documentation for SONGLE SRD Series Relays. URL: http://www.datasheet-pdf.com/PDF/SRD-05VDC-SL-C-Datasheet-Songle-720556

[6] Documentation on the OMRON G2RL series relay. URL: https://omronfs.omron.com/en_US/ecb/products/pdf/en-g2rl.pdf

[7] Powerful electromagnetic relays. Engineer's Handbook. - 2001, St. Petersburg. 152 s.

[8] OMRON G5V-2 Relay Documentation. URL: https://www.farnell.com/datasheets/724502.pdf

[9] Documentation for IEC contactors KMI series. URL: https://www.iek.ru/products/catalog/detail.php?ID=9148

[10] Wikipedia – Solid-state relays. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%B5

[11] Catalog TTR produced by JSC "Proton-impulse". URL: http://proton-impuls.ru/categoryrele/tverdotelnye-rele/

[12] Timer NE555x Documentation: URL: https://static.chipdip.ru/lib/222/DOC000222900.pdf

[13] Control of low-voltage powerful load from the microcontroller using 555 chip. Automatics & Software Engineery. 2017. №2. P. 103–107. URL:http://www.jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%B8%D0%9F%D0%98-2-2017-11.pdf

[14] ST transistor STP35NF10 documentation: URL: https://www.datasheetspdf.com/pdf-down/S/T/B/STB35NF10_STMicroelectronics.pdf

[15] SCHRACK RT1 Relay Documentation. URL: https://static.chipdip.ru/lib/145/DOC000145160.pdf

[16] Documentation for 1N400x series diodes: URL: https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds28002.pdf

[17] ST Transistor Documentation of the Series STP10NK80ZFP. URL: http://pdf5.datasheet.su/amp-1-1415899-6_25708b8f2e.pdf

[18] Go radio – Suppressor. URL: http://go-radio.ru/supressor.html

[19] Documentation for protective diodes ST series SMBJ. URL: https://static.chipdip.ru/lib/476/DOC001476144.pdf

Vitaly Trubin - Senior Lecturer, Department of Automatics, NSTU, Director of KB Automatics LLC.

E-mail: trubin@ngs.ru

Novosibirsk, 630073, str. Prosp. K. Marksa, h. 20, NSTU

Alexander Nezvanov - a student of the 1st year of the master's program at the Automation Department of the

NSTUE-mail: nezvanovml@mail.ru

Novosibirsk, 630073, str. Prosp. K. Marksa, h. 20, NSTU

Maxim Trubin - 1st year master's student at the Automation Department of the NSTU.

E-mail: morkai@bk.ru

Novosibirsk, 630073, str. Prosp. K. Marksa, h. 20, NSTU

The paper was received on 02.01.2019 г.