

Управление низковольтной мощной нагрузкой от микроконтроллера с использованием микросхемы 555

Е.Н. Лопаткин, В.Г. Трубин,
ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

Аннотация: В статье описывается способ управления мощной нагрузкой от микроконтроллера с использованием полевого транзистора в роли мощного ключа, и широко распространённой микросхемы 555 в качестве драйвера. Статья может быть интересна студентам, магистрам, инженерам.

Ключевые слова: Микроконтроллер, STM32, полевой транзистор, мощный ключ, 555, 1006ВИ1, измерительный шунт, лампа накаливания, бросок тока.

ВВЕДЕНИЕ

При разработке цифровых систем управления использование микроконтроллеров имеет ряд преимуществ: упрощается схемная реализация, снижается стоимость, имеется возможность коррекции закона управления в готовом изделии, а также на этапе разработки. Однако малые значения выходных токов и напряжений не позволяют подключать силовую электронику напрямую к выводам микроконтроллера. Существует множество вариантов решения данной задачи, связанных с разнообразием электронных устройств. В данной статье предложен простой способ управления мощной нагрузкой в цепях постоянного тока с использованием популярной и распространённой микросхемы 555. В качестве мощной нагрузки, для примера, выбрана лампа накаливания.

1. ВЫБОР ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

Для управления мощной нагрузкой слабый сигнал от микроконтроллера будем усиливать с помощью полевого транзистора (ПТ). Полевые транзисторы управляются электрическим полем, т.е. выходной ток не зависит от входного. Это одно из преимуществ над биполярными транзисторами.

Существует два вида ПТ: с управляющим $p-n$ -переходом и с изолированным затвором (МДП). В свою очередь МДП транзисторы разделяют на транзисторы с индуцированным и со встроенным каналами. По электропроводности канала различают p -канальные и n -канальные. Прочитать об особенностях работы, выявить преимущества и недостатки можно перейдя по ссылке [1].

В нашей схеме применим n -канальный МДП транзистор с индуцированным каналом.

Выбор обусловлен следующим:

1. Скорость переключения ПТ полностью определяется постоянной времени RC -цепи затвора. У МДП транзисторов входная емкость затвора значительно меньше, чем у ПТ с $p-n$ -переходом, поэтому их частотные свойства намного лучше.

2. У МДП транзисторов с индуцированным каналом при нулевом напряжении на затворе (напряжение на затворе определяется относительно истока) канал между истоком и стоком отсутствует, т.е. транзистор закрыт.

3. МДП транзисторы с каналом p -типа сложнее в изготовлении, поэтому их ассортимент меньше, цена выше, а сопротивление сток-исток в открытом состоянии больше.

2. УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕВЫМ ТРАНЗИСТОРОМ

Полевой транзистор имеет исток (*source*), сток (*drain*) и затвор (*gate*). На *Рис. 1* представлен пример расположения выводов.

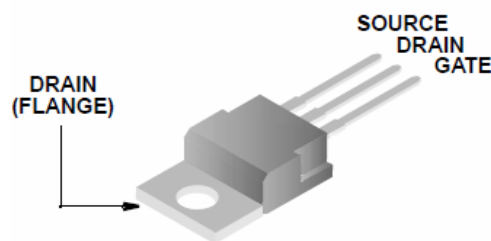


Рис. 1. Пример расположения выводов ПТ

Нагрузка может быть подключена как к стоку, так и к истоку ПТ, см. *Рис. 2а, б*.

Для открытия n -канальных МДП транзисторов необходимо, чтобы напряжение на затворе превысило напряжение на истоке. Минимальный уровень этого напряжения определяет параметр $V_{gs(th)}$ – *gate threshold voltage*. Оптимальным же для большинства полевых транзисторов считается напряжение 10..12 В.

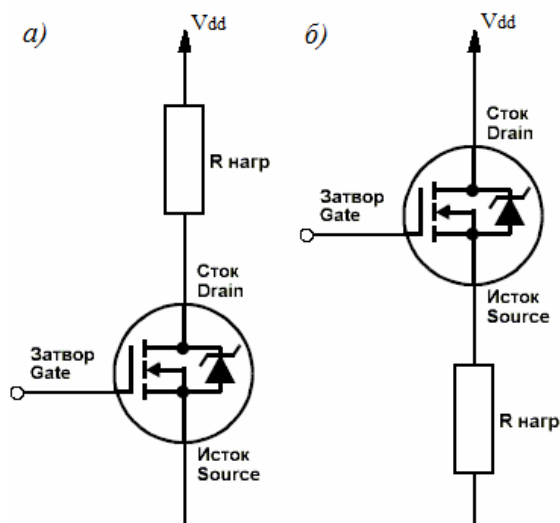


Рис. 2. Подключение нагрузки к полевому транзистору: а – к стоку транзистора; б – к истоку транзистора.

Для примера рассмотрим ситуацию, когда в цепи истока присутствует сопротивление (Рис. 2б). Пусть на нём в конкретный момент времени падает напряжение 5 В, тогда для открытия ПТ нужно прикладывать уже большее напряжение, равное $(10..12) + 5 = 15..17$ В. Это напряжение может быть больше напряжения питания схемы, поэтому, если нет необходимости включать нагрузку до истока, лучше сделать так, как показано на Рис. 2а.

При переходе от закрытого состояния ПТ к открытому сопротивление канала значительно изменяется: от 1 ГОм до значения, близкого к 0.1 Ом. Поскольку затвор обладает емкостью, напряжение на нём не может измениться скачком. Таким образом, для того чтобы минимизировать потери в результате переходных процессов, напряжение на затворе должно изменяться достаточно быстро, что требует повышения токов зарядки и разрядки. Увеличение уровня управляющего напряжения, подаваемого на затвор, приводит к снижению потерь за счет уменьшения сопротивления между стоком и истоком в открытом состоянии.

Поскольку напряжение на выходе микроконтроллера, как правило, не превышает 5 В, а ток - 20 мА, то чтобы эффективно управлять ПТ от логических уровней, можно использовать специальные микросхемы – драйверы. Одной из таких микросхем является IR2101 [2]. Однако стоят эти драйверы относительно дорого, и не так широко доступны.

В качестве драйвера также можно использовать популярную и недорогую микросхему NE555. С её помощью можно обеспечить ток зарядки (разрядки) емкости затвора ПТ до 200 мА, а напряжение до приемлемых 10 В.

Также необходимо обратить внимание, что протекающий через ПТ ток вызывает его нагрев. Это ведёт к увеличению сопротивления основного канала и уменьшению предельного

продолжительного тока. Для примера на Рис. 3 приведена характеристика транзистора RFP70N06.

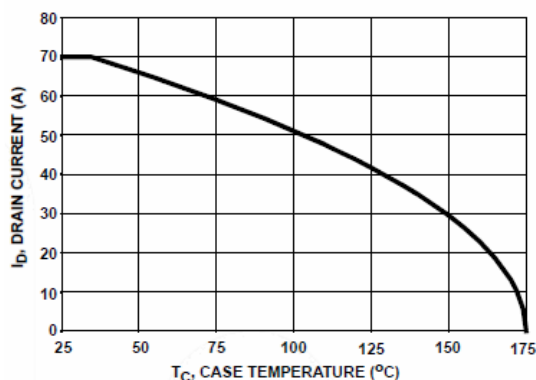


Рис. 3. Максимальный продолжительный ток в зависимости от температуры корпуса.

Поэтому, исходя из практического опыта, рекомендуется выбирать ПТ с двойным запасом по току и, из-за выбросов напряжения при переходных процессах, с 30-50% запасом по напряжению.

Ещё одна особенность, которую следует учитывать при работе с МДП ПТ – тонкий изоляционный слой диэлектрика. Даже относительно небольшого заряда статического электричества, который, например, накапливает человек на своей одежде, хватает, чтобы его разрушить. Во избежание этого, перед монтажом выводы транзистора рекомендуется аккуратно обмотать тонкой провололочкой, чтобы выровнять их потенциал между собой. Когда монтаж полностью завершён, не забудьте снять её. Также появлению статического заряда препятствует высокая влажность. Поэтому одной из причин неработоспособности полевого транзистора может быть пробой от статического электричества, связанный с небрежным обращением, не правильным хранением на предприятии, магазине, складе. Если при покупке в магазине продавец затрагивал руками выводы полевого транзистора, то есть вероятность, что он вышел из строя. Процедуру проверки работоспособности полевого транзистора можно легко найти в интернете. Например, здесь [3].

3. ОБЗОР NE555

Микросхема NE555 была выпущена в 1971 г. и актуальна по сегодняшний день. Она имеет множество применений. Отечественный аналог - микросхема KP1006VIII. Прочитать о принципах работы можно здесь [4]. Следует сказать, что между KP1006VIII и NE555 есть существенное отличие.

Внутри имеется RS-триггер, который определяет уровень выходного сигнала микросхемы, см. Рис. 4. При подключении вывода 2 к "земле" формируется логическая единица на входе S RS-триггера. Вывод 4 (RESET) подключен к инверсному входу R1,

который сбрасывает триггер. В микросхеме NE555 приоритет за входом R1, т.е при высоком уровне на входе S, и низком на входе R1 на инверсном выходе триггера будет логическая «1». А у микросхемы KP1006BIII - за входом S (при высоком уровне на входе S и низком на входе R1 на инверсном выходе триггера будет логический «0»). Этот нюанс следует учитывать.

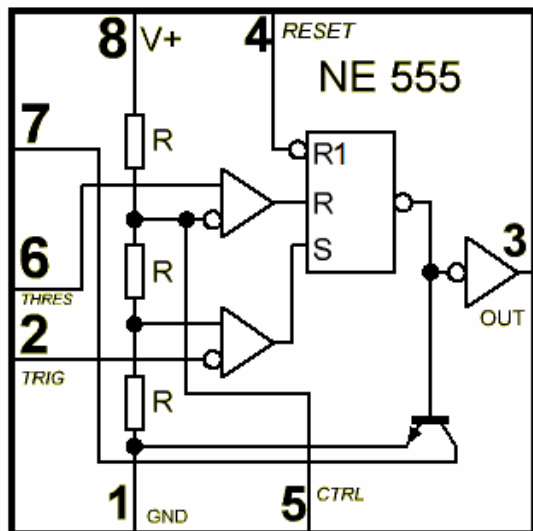


Рис. 4 Внутренняя структура таймера NE555

УПРАВЛЕНИЕ ЛАМПОЙ НАКАЛИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОСХЕМЫ NE555

На Рис. 7 приведена схема управления полевым транзистором с использованием микросхемы NE555. Напряжение на выходе микросхемы NE555 приблизительно равняется напряжению питания. Исходя из этой величины, по закону Ома рассчитывается резистор R1 при условии, что выходной и входной ток на 3 выводе не должен превышать 200 мА. Выход микроконтроллера подключается к выводу 4 (RESET) NE555. При подаче логической «1» на данный вывод лампа будет гореть. При подаче логического «0» лампа погаснет.

Проведем эксперимент и узнаем, как изменяется ток, протекающий через лампу накаливания от поворотника легкового автомобиля (12 В, 21 Вт, см. Рис. 5). Для этого подключим измерительный шунт R2 (см. Рис. 6). Шунт представляет собой сопротивление, по падению напряжения на котором можно судить о протекающем токе.

Поскольку его включение повлияет на ток в цепи, точность измерений будет зависеть от того, насколько сопротивление шунта меньше сопротивления нагрузки. К примеру, если сопротивление холодной лампы² составляет 0,5 Ом, а сопротивление шунта - 7,5 мОм, то

погрешность измерения в момент включения будет близка к 1,5 %.



Рис. 5. Лампа поворотника легкового автомобиля

Применим шунт 75ШСМ3-10-0,5. Маркировка означает, что при номинальном токе в 10 А падение напряжения на нем составит 75 мВ, класс точности 0,5. Из-за малого падения напряжения на шунте включим его в цепь истока ПТ. Это упрощает снятие переходного процесса осциллографом в том случае, когда "земля" осциллографа совпадает с "землей" нашей схемы.

Предварительно известно, что сопротивление холодной лампы существенно меньше сопротивления горячей. Поэтому следует использовать источник питания, у которого предельный выходной ток многократно превышает номинальный ток лампы. Для эксперимента подходит, например, Li-Po аккумулятор Turnigy 1500 mAh 3S 20-30C. Его максимальный продолжительный ток разряда составляет 30 А, а предельно допустимый – 45 А.

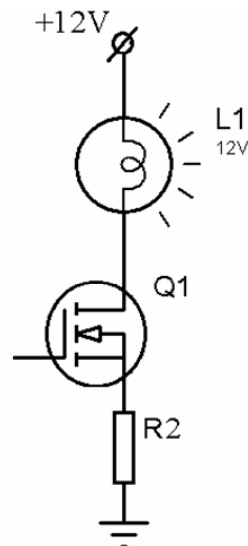


Рис. 6. Схема с измерительным шунтом

По осциллограмме Рис. 8 можно сделать вывод, что сопротивление лампы существенно изменяется с момента подачи напряжения. Очевидно, что это связано с нагревом вольфрамовой нити. Номинальный ток лампы составляет $21 \text{ Вт} / 12 \text{ В} = 1,75 \text{ А}$. Пусковой ток превышает номинальный в 11 раз!

² Сопротивление лампы накаливания существенно зависит от температуры, следовательно от протекающего тока (прим. редакции)

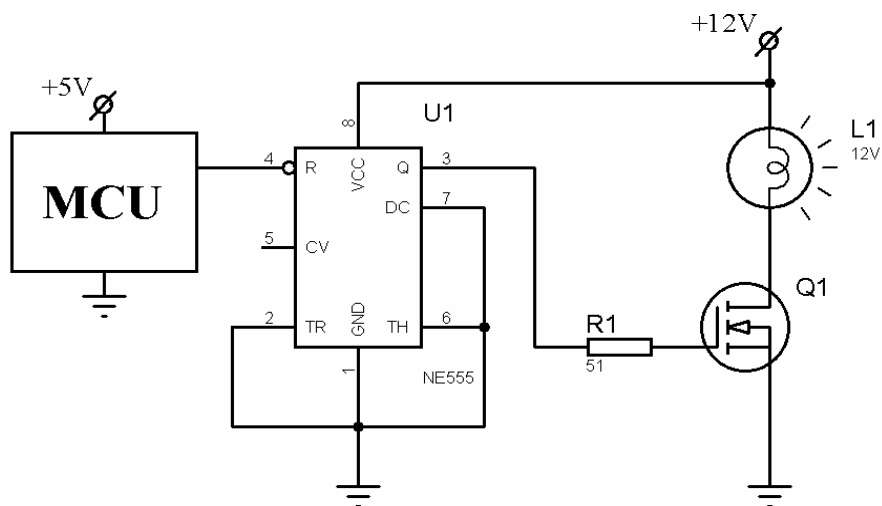


Рис. 7. Схема управления лампой накаливания от микроконтроллера

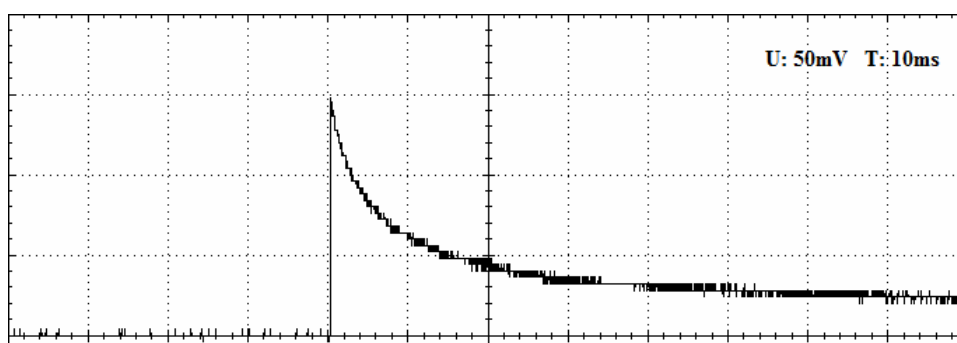


Рис. 8 Падение напряжения на шунте при включении лампы

ВЫВОДЫ

1. В статье представлен простой способ управления полевым транзистором от микроконтроллера с использованием недорогой и распространенной микросхемы NE555.

2. Если в качестве нагрузки выступает лампа накаливания, то при подборе полевого транзистора следует помнить, что пусковой ток лампы на порядок превышает номинальный.

3. При работе полевой транзистор нагревается, из-за чего уменьшается допустимый протекающий ток. В качестве грубой оценки можно считать, что допустимый ток падает в 2 раза относительно тока при +25 °С.

4. При переключениях транзистора, из-за наличия паразитных индуктивностей в схеме, могут возникать выбросы напряжения, которые могут быть больше напряжения питания на 30-50 % и более. Этот факт следует учитывать при выборе максимально допустимого напряжения сток-исток полевого транзистора.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Полевые транзисторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electrono.ru/poluprovodnikovye-pribory/polevye-tranzistory>

- [2] IR2101 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.infineon.com/dgdl/ir2101.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c7a755166c>

- [3] Проверка работы ПТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=Qk-mAttCbGs>

- [4] NE555 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://radiohlam.ru/teory/ne555.htm>

Control of Low-Voltage High-Power Load from a Microcontroller Using a 555 Chip

E.N. LOPATKIN, V.G. TRUBIN

Novosibirsk State Technical University,
Novosibirsk, Russia

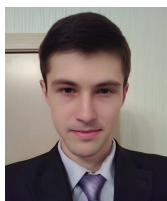
Abstract: The article describes a method for controlling a powerful load from a microcontroller using a field effect transistor as a powerful key, and a widely used 555 chip as a driver. The article may be of interest to students, masters, engineers.

Key words: Microcontroller, STM32, field effect transistor, powerful key, 555, 1006VII, measuring shunt, incandescent lamp, current surge.

REFERENCES

- [1] Field Effect Transistors (user hide in Russian). URL: <http://electrono.ru/poluprovodnikovye-pribory/polevye-tranzistory>

- [2] IR2101 (user hide in Russian). URL:
<http://www.infineon.com/dgdl/ir2101.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c7a755166c>
- [3] Testing of Field Effect Transistors (user hide in Russian). URL:
<https://www.youtube.com/watch?v=Qk-mAttCbGs>
- [4] NE555 (user hide in Russian). URL:
<http://radiohlam.ru/teory/ne555.htm>



Егор Николаевич Лопаткин – студент группы АА-37 кафедры Автоматики НГТУ.
E-mail: egor-bdb@rambler.ru



Виталий Геннадьевич Трубин – зав. лаб. кафедры Автоматики НГТУ, директор ООО «КБ Автоматика».
E-mail: trubin@ngs.ru