

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт энергетики и электротехники
Кафедра «Промышленная электроника»

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
(код и наименование направления подготовки, специальности)
Промышленная электроника
(направленность(профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Система управления маломощным электрическим двигателем»

Студент(ка)	<u>В.С. Легашев</u> (И.О. Фамилия)	_____	_____
Руководитель	<u>А.А. Шевцов</u> (И.О. Фамилия)	_____	_____

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2017

Аннотация

В выпускной квалификационной работе проведены разработка, расчет и конструирование системы управления маломощным электрическим двигателем на основе микроконтроллера.

В первом разделе дипломного проекта рассмотрены аналогичные схемотехнические решения. Проведено сравнения характеристик найденных аналогов с требованиями технического задания.

Во втором разделе выделены основные функциональные блоки и разработана структурная схема системы управления.

В третьем разделе описан алгоритм работы устройства и разработана блок-схема алгоритма работы.

В четвертом разделе проведена разработка принципиальной схемы устройства и необходимые расчеты параметров элементов.

В пятом разделе выполнена разводка печатной платы и разработаны основные конструктивные элементы, включая сборочный чертеж получившейся системы управления.

В шестом разделе подсчитаны затраты на закупку элементов системы управления.

В седьмом разделе выявлены основные вредные и опасные факторы при изготовлении системы управления.

Выполнено 6 чертежей на формате А1. Объем проекта листов.

Оглавление	
Введение.....	5
1 Обзорная часть.	7
1.1. Общие сведения	7
1.2. Биполярное управление ДПТ	9
1.3. Однополярное управление ДПТ.....	12
2 Структурная схема.....	16
3 Разработка алгоритма функционирования устройства.	19
4 Разработка принципиальной схемы устройства.....	23
5. Разработка конструкции системы управления маломощным двигателем постоянного тока.....	36
5.1 Описание конструкции устройства.....	36
5.2 Разработка печатной платы устройства.....	36
6. Экономическая часть.....	40
7. Безопасность и экологичность проекта.	43
8. Заключение.	45
Список используемой литературы:	46

Введение.

В изделиях, выполняющих различный функционал на производстве и в быту, в качестве исполнительных механизмов используются двигатели постоянного тока. Причем такие двигатели имеют наибольшее распространение в тех случаях, когда необходимо добиваться наименьшей стоимости изделия при приемлемом ресурсе.

Маломощные двигатели постоянного тока используются в бытовых приборах: приборах аппаратной косметики, приборах по уходу за полостью рта, в кухонных устройствах. Современное состояние подобных средств подразумевает не только выполнение устройством своих основных функций, но и предоставление пользователю возможности выполнять эти функции с комфортом.

Так, практически в любом современном устройстве, используемом в настоящее время в быту сервисный функционал расширен от простого включения/выключения устройства. Распространены способы управления с помощью кнопок, с одновременной световой индикацией того или иного режима работы устройства. Управление всеми этими функциями всё чаще возлагают на микроконтроллеры, имеющие достаточно низкую стоимость.

Другим направлением, кроме развития сервисных функций, является расширение автономности устройств. Значительный толчок это направление получило после удешевления литиевых аккумуляторов. Однако в схемах, где одновременно встает вопрос одновременного использования аккумуляторов, цифровой электроники и электромеханических устройств, встает вопрос обеспечения необходимого питающего напряжения. И эту задачу решают специализированные модули, носящие название преобразователей постоянного напряжения.

В выпускной квалификационной работе будет разрабатываться система управления двигателем постоянного тока. Для управления скоростью враще-

ния двигателя необходимо, в соответствии с техническим заданием использовать кнопки увеличения и уменьшения скорости, индикацию текущего режимов работы проводить с помощью 4-х светодиодов. При это необходимо обеспечить автономность за счет одного литиевого аккумулятора.

При разработке, имея в виду необходимость встраивания системы управления в другие устройства будем стремиться к минимизации габаритов печатного узла а также простоте в обращении не требующей специальной подготовки пользователя.

1 Обзорная часть.

1.1. Общие сведения

Управление электродвигателями является одной из распространенных задач в электронике. Различают двигатели переменного тока: синхронные и асинхронные и двигатели постоянного тока. Основные схемотехнические решения для управления разными типами двигателей отличаются. Поскольку в техническом задании стоит задача разработать систему управления мало-мощным двигателем постоянного тока, рассмотрим более подробно такие двигатели.

Одними из основных характеристик, обусловивших широкое распространение двигателей постоянного тока (ДПТ) являются невысокая стоимость с сравнительная простота управления ДПТ. Различают коллекторные (щеточные) и бесколлекторные ДПТ.

Эскиз внутреннего устройства двигателя постоянного тока показан на рисунке 1.1.

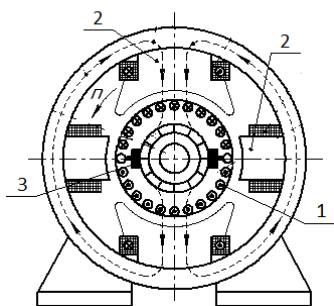


Рисунок 1.1. – Эскиз внутреннего устройства двигателя постоянного тока, 1- обмотка, 2 – электромагниты, 3 – щеточные контакты.

Обмотка у двигателей постоянного тока располагается на роторе (1 на рисунке 1.1.), на статоре устанавливают электромагниты (2 на рисунке 1.1.), а по окружности ротора ставят щеточные контакты (3 на рисунке 1.1.). С помощью вращения ротора и щеток, установленных по его периметру, происходит переключение полярности прикладываемого к ротору напряжения.

Щеточная конструкция же и вносит в ДПТ основную проблему - снижение надежности коллекторного двигателя постоянного тока, поскольку во время эксплуатации происходит непрерывное истирание щеток. Кроме снижения эксплуатационной надежности, щеточный механизм вызывает искрение, наводящее в окружающем пространстве индуктивные помехи. Как наиболее тяжелое последствие искрения между щетками, может возникнуть эффект «кругового огня». При этом гарантированно выходит из строя якорь двигателя.

Если говорить о промышленном применении, то в этой области наибольшее применение нашли следующие схемы управления двигателями постоянного тока: «преобразователь-двигатель» (как тиристорного, так и транзисторного типов) и «генератор-двигатель».

На рисунке 1.2. а показана схема типа «генератор-двигатель», а на рисунке 1.2.б – типа «преобразователь-двигатель».

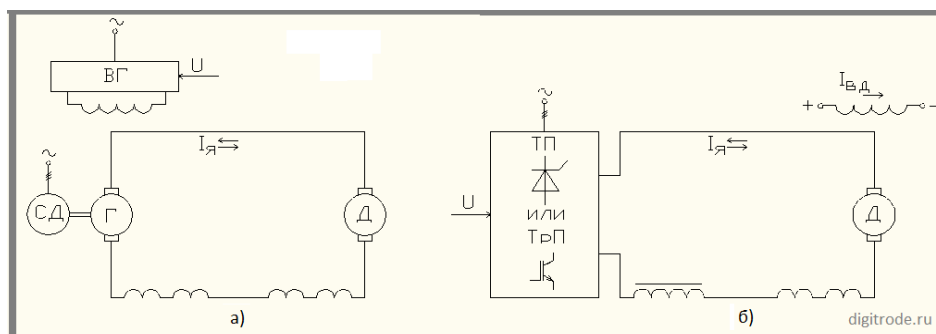


Рисунок 1.2. Способы управления мощными двигателями постоянного тока, а) типа «генератор-двигатель», б) типа «преобразователь – двигатель».

Эти схемы включения ДПТ называют схемами с независимым подключением. Угловой скоростью и моментом в таких схемах управляют, регулируя величину напряжения на валу (якоре) двигателя. Для случая «генератор-двигатель» напряжение регулируют, изменяя силу тока в цепи обмотки возбуждения генератора, для чего служит возбудитель генератора, в роли которого выступают системы на магнитных усилителях. Такие варианты в настоящее время уже не выпускаются для управления новыми двигателями, в

настоящее время происходит развитие в сторону управления полупроводниковыми преобразователями.

В случае управления ДПТ с помощью полупроводниковых преобразователей, для управления напряжением на роторе двигателя используют широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) напряжения, подаваемого на него.

Стоит заметить, что как в мощных крупногабаритных решениях, так и в решениях малой мощности, и особенно в малогабаритных решениях тиристорные полупроводниковые преобразователи активно замещаются транзисторными, собранными на MOSFET или IGBT. Подобные преобразователи обладают большей простотой в управлении, дешевле и имеют более простые схемотехнические решения систем управления.

1.2. Биполярное управление ДПТ

Транзисторные преобразователи, управляющие ДПТ строятся по мостовой схеме (рисунок 1.3.)

Управление силовыми транзисторами IGBT в этой схеме производится с помощью широтно-импульсной модуляции. В диагональ моста преобразователя включен якорь ДПТ, в качестве источника питания используют постоянное напряжение.

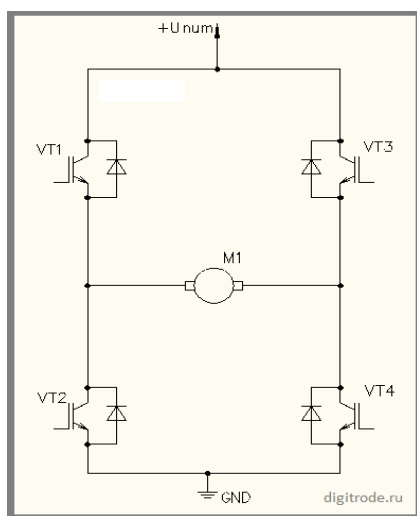


Рисунок 1.3. Мостовая схема полупроводникового преобразователя, управляющего двигателем постоянного тока.

На рисунке 1.4. показаны импульсы управления, приходящие на соответствующие транзисторы преобразователя и результирующее выходное напряжение, поступающее на якорь ДПТ. При таком алгоритме управления, если длительность каждого импульса будет равняться половине периода их следования, на выходе преобразователя получи нулевое среднее напряжение.

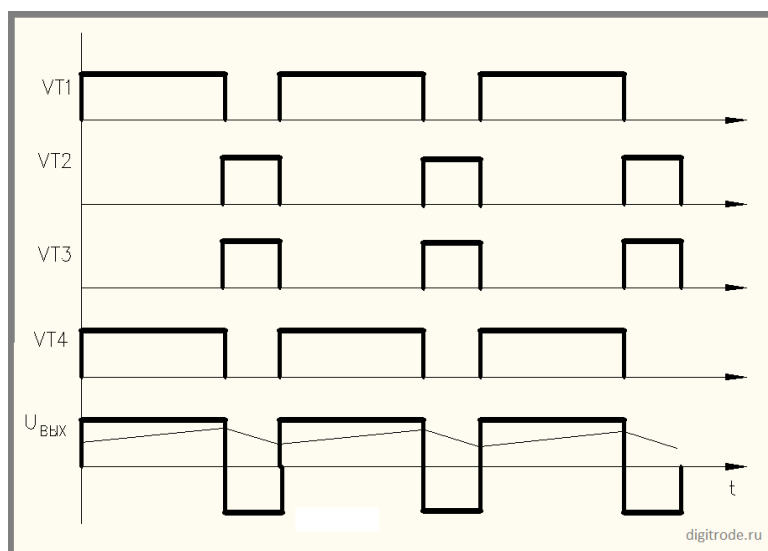


Рисунок 1.4. Пример управляющих импульсов и напряжения на ДПТ при симметричном способе управления.

Достоинством симметричного способа является сравнительная простота его реализации, но из-за двуполярности напряжения на якоре, возникают значительные пульсации тока в нем, что вызывает дополнительные потери, помехи и является недостатком способа. Этот способ нашел использование в маломощных системах, в которых, при этом необходимо менять направление вращения вала двигателя.

Другим способом управления, используемым совместно с мостовыми транзисторными схемами питания ДПТ является несимметричный способ управления. Импульсы управления, поступающие на транзисторы при таком способе управления показаны на рисунке 1.5.

Такой способ управления обеспечивает на выходе преобразователя однополярное напряжение. Как видно из рисунка, постоянно переключаются только VT3 VT4 . Транзистор VT1 открыт на всём интервале работы схемы, а

VT2 закрыт на всем интервале работы схемы. Среднее напряжение схемы будет равняться нулю, когда нижний транзистор VT4 закрыт.

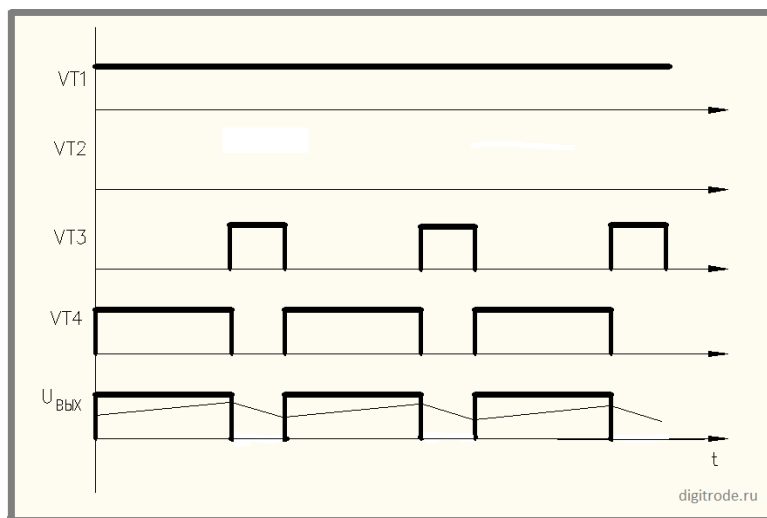


Рисунок 1.5. Несимметричное управление транзисторами двигателя постоянного тока

При таком способе управления верхние транзисторы загружены больше, чем нижние. При увеличении нагрузки преобразователя это приводит к их выходу из строя или требует выбирать транзисторы с завышенными характеристиками.

Указанных недостатков лишен способ, при котором транзисторы коммутируются поочередно, как показано на рисунке 1.6. В этом способе все транзисторы переключаются как при вращении в одну сторону, так и при вращении в другую сторону. При этом управляющие импульсы транзисторов VT1, VT2 и VT3, VT4 должны находиться в противофазе. Двигатель подключается преобразователем к источнику питания на интервалах, на которых нет коротких импульсов, а когда приходят короткие управляющие импульсы, нагрузка подключается обоими выводами либо к положительному, либо к отрицательному выводу источника питания.

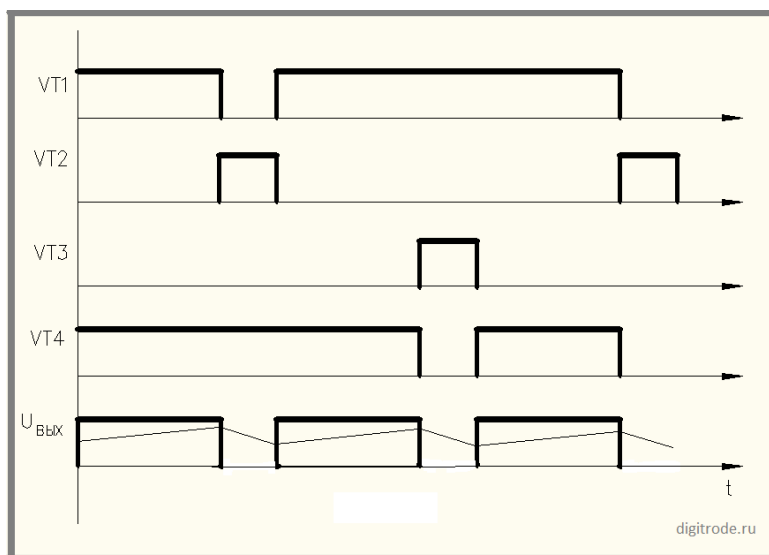


Рисунок 1.6. Поочередное управление ключами преобразователя.

1.3. Однополярное управление ДПТ.

Зачастую существуют задачи, в которых нет необходимости менять направления вращения двигателя. Это характерно, например, для различных бытовых вещей – миксеров, устройств по уходу за телом, различных вентиляторов, приводов бытовых устройств и т.д. Как правило, в таких устройствах используется низкое напряжение питания двигателей постоянного тока – 3, 6, 9, 12 В. Такие уровни напряжения позволяют уже использовать схемотехнику систем управления, основывающуюся на маломощных преобразователях постоянного тока, на вход которых поступает имеющееся в системе напряжение, а на выход – необходимое для работы двигателя постоянное напряжение.

Рассмотрим наиболее распространенные решения.

В качестве регулятора напряжения на маломощном двигателе постоянного тока можно использовать линейные стабилизаторы напряжения, у которых к входу регулировки подключен переменный резистор (рисунок 1.7). Такое решение обладает незначительными габаритами и малой стоимостью.

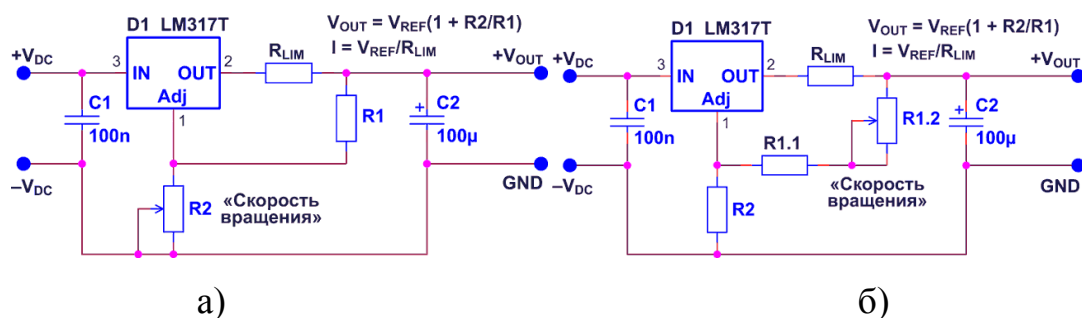


Рисунок 1.7. Пример использования линейного стабилизатора напряжения для регулирования скорости вращения ДПТ.

В схеме на рисунке 1.7.а регулировка скорости вращения осуществляется переменным резистором R2, подключенным между общей точкой и выводом регулировки линейного стабилизатора. В схеме на рисунке 1.7.б регулировочный резистор установлен уже между выходом стабилизатора и его регулировочным выводом.

Отличия в работе этих схем заключаются в том, что у первой схемы линейная выходная характеристика, но при возникновении дребезга контакта движка переменного резистора или вообще при его обрыве на выходе схемы будет максимально возможное напряжение, и двигатель начнет вращаться с максимальной скоростью.

Во второй же схеме напряжение на выходе меняется нелинейно относительно угла поворота движка переменного резистора, но зато при обрыве контакта движка, или возникновении дребезга напряжение на выходе будет минимальным и двигатель либо будет вращаться с наименьшей скоростью, либо вовсе остановится.

Выбор того или иного решения производится на основании конкретных условий.

Общим недостатком для таких решений является значительные потери мощности на линейном стабилизаторе. Даже при минимальной разности напряжений между входом и выходом схемы равной 3В, на предельном токе в 1А на кристалле стабилизатора будет выделяться мощность в 3Вт, а это по-

требует уже установки радиатора, что, во-первых, значительно увеличит габариты всего устройства, а во вторых приведет к его удорожанию.

Таким образом, можно сделать вывод, что решения на основе линейных стабилизаторов напряжения подходят для маломощных решений и на практике ограничиваются мощностью двигателя 0,25 Вт.

Другим используемым вариантом управления маломощными двигателями постоянного тока является использование, также как и для мощных ДПТ, схем, реализующих широтно-импульсную модуляцию питающего напряжения. Такие схемы могут строиться либо на аналоговых микросхемах – операционных усилителях или на цифровых логических элементах или цифровых таймерах.

Пример схемы, реализующей широтно-импульсное управление ДПТ на базе операционных усилителей, управляющих МДП транзистором, показан на рисунке 1.8.

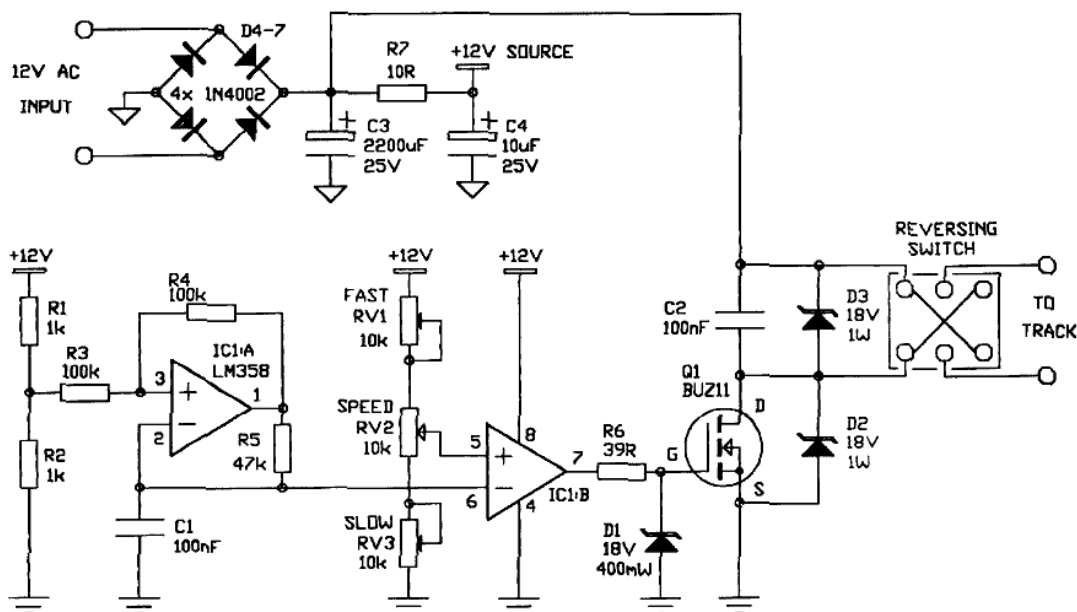


Рисунок 1.8. Широтно-импульсная схема управления ДПТ на операционных усилителях.

В схеме на рисунке 1.8 на операционном усилителе IC1A построен генератор линейно-изменяющегося напряжения. Его функцией является генерация пилообразного напряжения, которое сравнивается компаратором на

основе IC1B с напряжением уставки, задаваемым с помощью трех переменных резисторов. Нижний переменный резистор позволяет задавать точное изменение скорости в малых диапазонах, верхний резистор – грубое регулирование в широком диапазоне значений.

Импульсы прямоугольного напряжения, образующиеся на выходе компаратора поступают на затвор полевого транзистора Q1 и коммутируют его состояние в соответствии с законами ШИМ. Открываясь транзистор подключает мотор к общей точке схемы, обеспечивая протекание тока, закрываясь отключает двигатель.

Обратный диод транзистора защищает его от перенапряжений в момент коммутации схемы. Для снижения искрения служит керамический конденсатор C2, а диод Д3 устраняет мгновенный разрыв тока двигателя при закрывании полевого транзистора. Питание двигателя и системы управления осуществляется от выпрямительного моста на Д4-Д7 и сглаживающих конденсаторах C3,4.

2 Структурная схема.

Все перечисленные в разделе 1 схемотехнические решения, так или иначе решают задачу управления двигателем постоянного тока. Однако, для наделения конечного устройства определенным набором сервисных функций, таких как управление скоростью вращения двигателя с помощью кнопками, индикация тех или иных событий на индикаторах и соответственно и само отслеживание этих событий и т.д. удобнее пользоваться возможностями, предоставляемыми современными микроконтроллерами.

При этом, кроме возможности организовывать сервисные функции, на современные микроконтроллеры можно возложить и основную функцию системы управления - генерацию управляющих импульсов.

В состав микроконтроллеров входят так называемые таймеры-счетчики, с помощью которых можно реализовать ШИМ программным образом. Импульсы управления, снимаемые с микроконтроллера, обладают малой мощностью и ими нельзя управлять непосредственно ни ДПТ ни даже силовым транзистором, коммутирующим ДПТ.

Для того, чтобы формировать импульсы необходимого уровня напряжения и обеспечить требуемый ток управляющего электрода и скорость нарастания этого тока используют так называемые драйверы, на вход которых поступает маломощный импульс управления, а с выхода снимается импульс с параметрами, необходимыми для управления полевыми транзисторами.

Кроме формирования управляющих импульсов полевых транзисторов, на микроконтроллер можно возложить функции управления информационными светодиодами, которых в соответствии с заданием должно быть 4, а также реализовать опрос кнопок управления, нажатие на одну из которых

будет увеличивать скорость вращения двигателя постоянного тока, а на другую – эту скорость уменьшать.

Поскольку в соответствии с техническим заданием источником питания для нашего устройства является литий-полимерный аккумулятор, нам необходимо сформировать напряжение необходимого уровня для питания микроконтроллера и двигателя. Эту задачу будет выполнять преобразователь постоянного напряжения – DC-DC-преобразователь.

Таким образом, получается структура нашего устройства, показанная на рисунке 2.1.

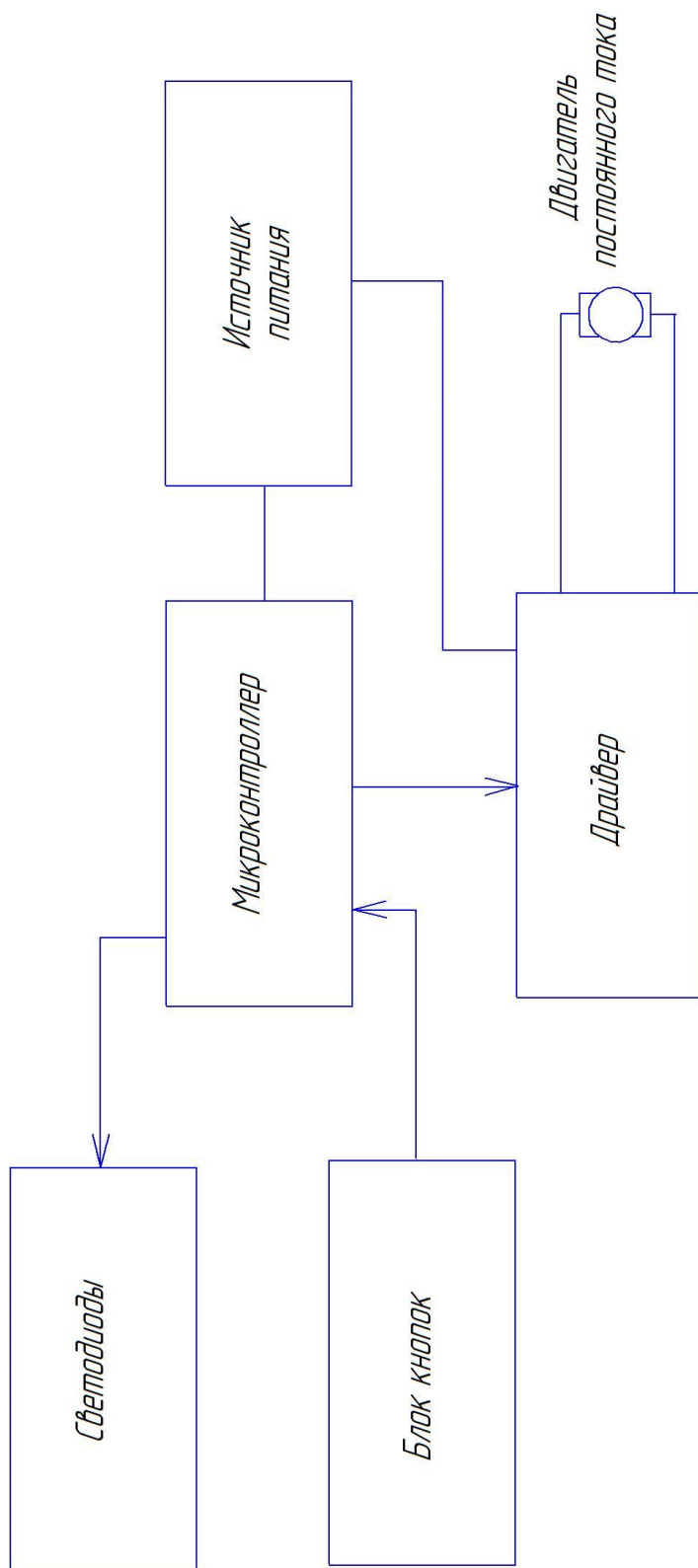


Рисунок 2.1. Структурная схема устройства.

3 Разработка алгоритма функционирования устройства.

В соответствии с техническим заданием наше устройство должно управляться двумя кнопками, которые регулируют – увеличивают или уменьшают скорость вращения двигателя и отображать уровень текущей скорости двигателя в четырех градациях с помощью четырех светодиодов.

При разработке структурной схемы устройства было решено в качестве ШИМ генератора и узла, выполняющего сервисные функции использовать микроконтроллер. Таким образом наш алгоритм будет состоять из набора фрагментов:

- обеспечение опроса кнопок и реализация реакции на их нажатие,
- изменение ширины импульсов управления на 4 различных уровнях с увеличивающейся скоростью вращения,
- отображение текущего уровня скорости вращения путем включения необходимого количества светодиодов, для невращающегося двигателя светодиоды не светятся, при минимальной скорости светится один светодиод, при переходе на следующий уровень скорости зажигается второй светодиод, при переходе на третий уровень светятся уже три светодиода и при максимальной скорости горят уже все четыре светодиода.

Кроме того, на микроконтроллер можно возложить функцию слежения за уровнем напряжения на аккумуляторах, питающих схему и при снижении этого уровня ниже допустимого порога включать дополнительный светодиод.

Генерация импульсов ШИМ будет осуществляться следующим образом. После подачи питающего напряжения устанавливается режим работы таймер-счетчика, соответствующий ШИМ, задается частота ШИМ и выбирается 8-ми разрядный режим работы таймер-счетчика, микроконтроллер отключает все светодиоды, присваивает переменной, отвечающей за значение текущей скорости Speed значение 0, переменной PWM, отвечающей за зна-

чение ширины импульса в таймере-счетчике присваивается 0. Опрашивается порт, на который подается напряжение аккумуляторов. Если напряжение аккумулятора лежит в допустимых пределах, т.е. для литий-полимерного выше 3,2В, то микроконтроллер переходит к циклической процедуре работы и начинает опрашивать порты к которым присоединены кнопки.

Циклическая процедура работы микроконтроллера.

Микроконтроллер опрашивает порты, к которым подключены кнопки.

Если будет нажата кнопка снижения скорости, происходит проверка текущего значения переменной Speed. Если она равна нулю, то состояние светодиодов и переменной Speed не меняется и опрос портов продолжается. Если переменная имеет ненулевое значение, то ее значение уменьшается на 1, и микроконтроллер переходит к процедуре обслуживания ШИМ и светодиодов.

Если нажата кнопка увеличения скорости, то проверяется значение переменной Speed. Если ее значение равно 4, то значение переменной не меняется, состояние светодиодов не меняется и опрос портов продолжается. Если переменная Speed меньше 4, то она увеличивается на 1 и микроконтроллер переходит к обслуживанию ШИМ и светодиодов.

Процедура обслуживания светодиодов.

В цикле, счетчик которого равняется значению переменной Speed, происходит запись логических единиц в порты, к которым подключены светодиоды, начиная с порта, соответствующего самому первому светодиоду.

После этого, во втором цикле, счетчик которого меняет свое значение от значения переменной Speed и до 4 происходит запись в оставшиеся порты логических нулей.

Тем самым формируется картина светящихся светодиодов, соответствующая текущей скорости двигателя.

Процедура обслуживания ШИМ.

Формируется новое значение переменной PWM, равное произведению переменной Speed на число 63, как четверть диапазона в 256 значений. Полученное число записывается в таймер-счетчик, работающий в режиме ШИМ, после чего он генерирует импульсы, шириной соответствующие записанному числу. Это число пропорционально требуемой ширине импульса напряжения, подаваемого на двигатель для задания его текущей скорости вращения. Опрашивается порт напряжения питания и если полученное значение меньше 3,2 В, то в порт, к которому присоединен контрольный светодиод записывается логическая 1 и он начинает светиться.

После этого алгоритм возвращается к точке начала циклической работы микроконтроллера.

Описанный словесно алгоритм можно представить в виде блок-схемы, изображенной на рисунке 3.1.

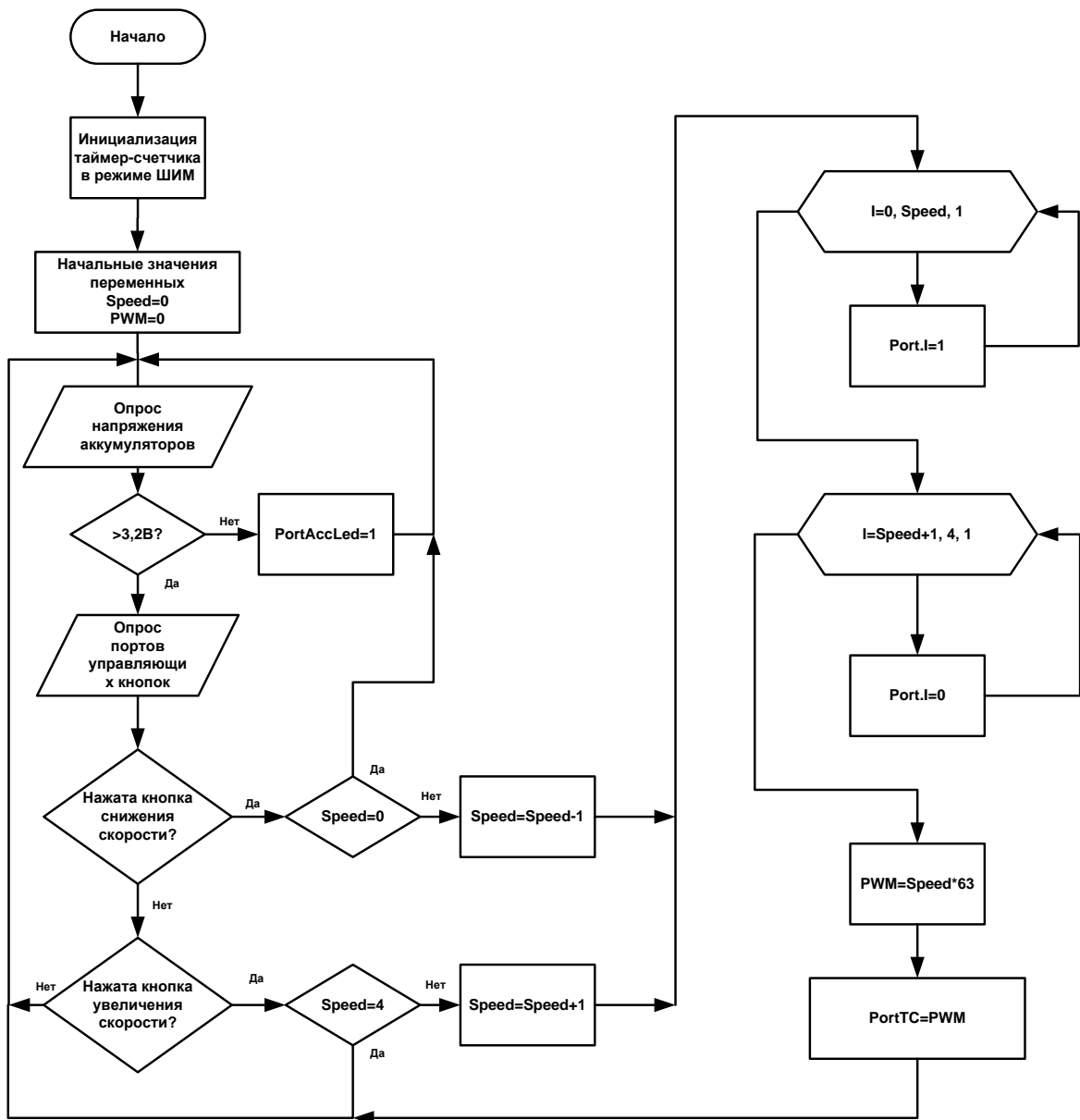


Рисунок 3.1 - Блок схема алгоритма работы системы управления мало-мощным двигателем постоянного тока.

4 Разработка принципиальной схемы устройства.

В соответствии с разработанной в разделе 2 структурной схемой и уточнениями, сформулированными на этапе разработки алгоритма функционирования устройства в разделе 3, разработаем схему электрическую принципиальную нашей системы управления двигателем постоянного тока.

Для снижения активных потерь на коммутирующих элементах и упрощения процедуры управления выбираем управление двигателем с помощью ключевых приборов, управляемых способом широтно-импульсной модуляции. Поскольку в соответствии с техническим заданием двигатель вращается только в одну сторону, достаточно будет только одного транзистора для коммутации напряжения питания двигателем.

В качестве силового транзистора выберем полевой транзистор, изготовленный по технологии MOSFET. Для упрощения схемы питания выбираем транзистор n-типа, что позволит управлять им положительным относительно истока напряжением и ставить транзистор между двигателем и общей точкой схемы. В соответствии с техническим заданием напряжение питания двигателя 5В, а ток потребляемый двигателем – до 0,5А. Введем запаса по току, потребляемому двигателем, на случай заклинивания вала или других аварийных состояний и будем считать, что максимальный ток протекающий через транзистор – 1А. Кроме этого, допустим, что в схеме возможны аварийные ситуации, когда к закрытому транзистору будет прикладываться напряжение не только источника питания, но и добавочное напряжение, уровня напряжения питания с обмотки двигателя, что приведет к потенциально возможному напряжению на закрытом транзисторе уровнем 10В. Таким образом, мы имеем набор предельных значений, которые могут возникнуть на транзисторе: максимальный ток 1А и максимальное напряжение 10В.

Выбираем транзистор SI1442DH фирмы Vishay. Это n-канальный MOSFET транзистор, имеющий максимальное напряжение сток-исток 12 В и максимальный ток стока 4А. Сопротивление открытого канала -0,02 Ом при напряжении затвор-исток 4,5В. Транзистор выполнен в корпусе SC-70, внешний вид которого показан на рисунке 4.1.

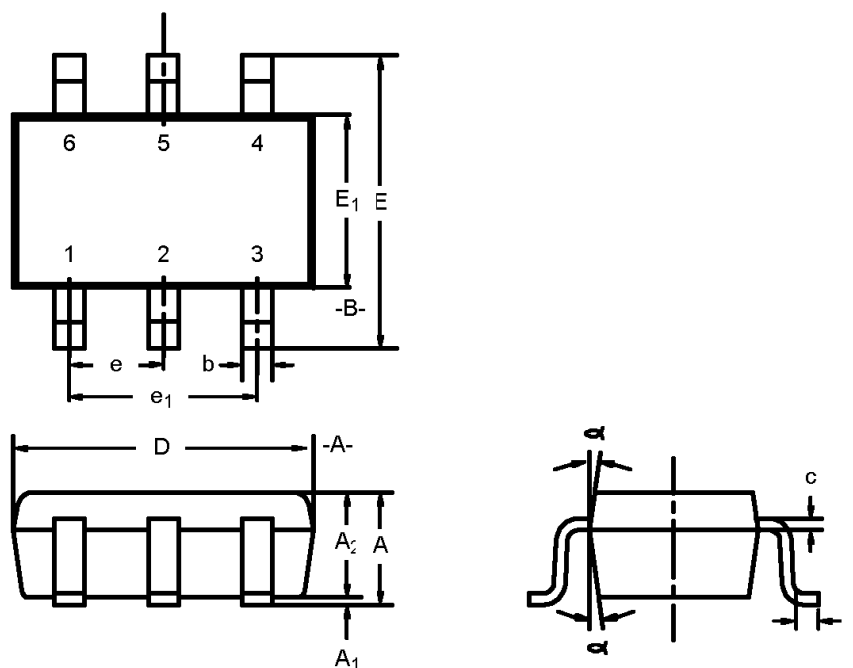


Рисунок 4.1. – Внешний вид корпуса SC-70.

В таблицу 4.1. сведены размеры корпуса для рисунка 4.1.

Таблица 4.1. – Размеры корпуса SC-70

Dim	Миллиметры			Дюймы		
	Min	Nom	Max	Min	Nom	Max
A	0.90	-	1.10	0.035	-	0.043
Ai	-	-	0.10	-	-	0.004
A2	0.80	-	1.00	0.031	-	0.039
b	0.15	-	0.30	0.006	-	0.012
c	0.10	-	0.25	0.004	-	0.010
D	1.80	2.00	2.20	0.071	0.079	0.087
E	1.80	2.10	2.40	0.071	0.083	0.094
Ei	1.15	1.25	1.35	0.045	0.049	0.053
e	0.65BSC			0.026BSC		
ei	1.20	1.30	1.40	0.047	0.051	0.055
L	0.10	0.20	0.30	0.004	0.008	0.012
	7°Nom			7°Nom		

Разводка электродов транзистора по выводам корпуса показана на рисунке 4.2.

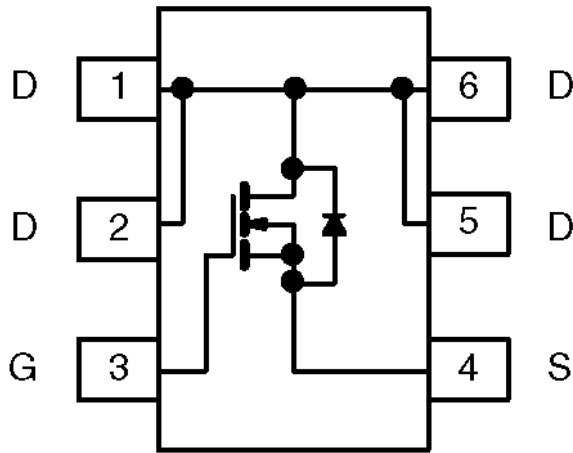


Рисунок 4.2. Разводка выводов транзистора в корпусе, вид сверху.

Рекомендуемое производителем расположение контактных площадок на печатных платах показано на рисунке 4.3.

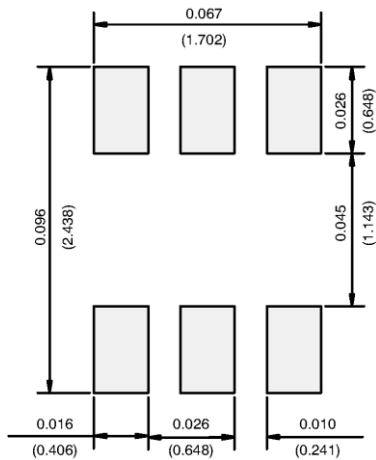


Рисунок 4.3. Рекомендуемое расположение и размеры контактных площадок в дюймах/(мм).

Для формирования управляющих импульсов, поступающих на затвор транзистора воспользуемся драйвером MC33152 производства ON Semiconductor. Этот драйвер предназначен для управления нижним транзистором моста и имеет два встроенных канала управления, что для нашей задачи является избыточным, однако по рыночной стоимости в настоящий момент этот драйвер дешевле конкурентов, поэтому остановим свой выбор на нем.

Каждый канал драйвера допускает максимальный импульсный ток затвора до 1,5А. Фронт и срез управляющего импульса длительностью 15нс при емкости нагрузки 1000пФ. Возможна блокировка работы при понижении напряжения питания.

Внутренняя структура драйвера показана на рисунке 4.4.

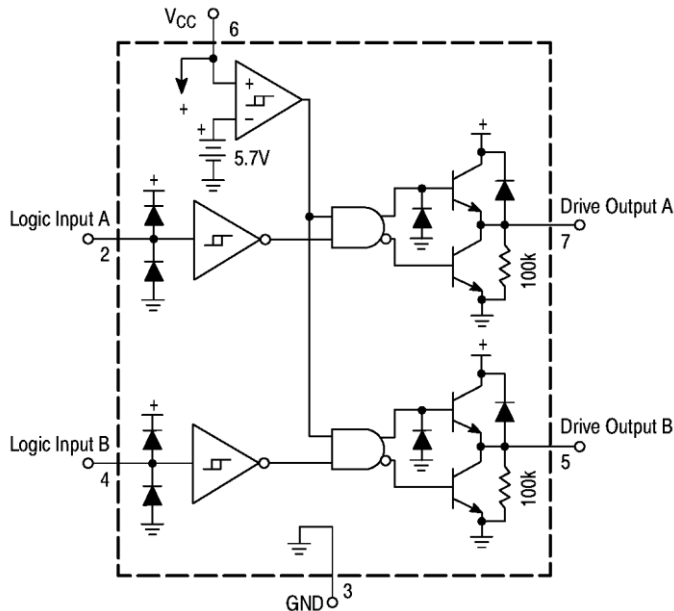


Рисунок 4.4. Внутренняя структура драйвера MC33152.

Разводка выводов корпуса – на рисунке 4.5.

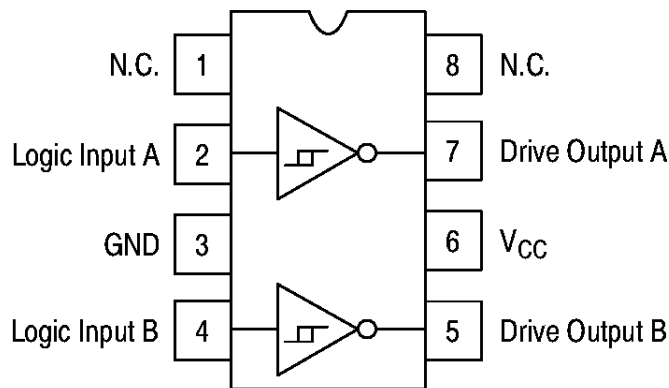


Рисунок 4.5. Разводка выводов драйвера, вид сверху

Данный драйвер выпускается в двух типах корпусов PDIP8 и SOIC-8.

Первый тип корпуса допускает двустороннюю пайку, а второй - одностороннюю и предназначен для схем поверхностного монтажа. Выберем корпус SOIC-8 для монтажа элементов с одной стороны печатной платы, также как и управляющий MOSFET.

Внешний вид корпуса SOIC-8 показаны на рисунке 4.6, а его размеры сведены в таблицу 4.2

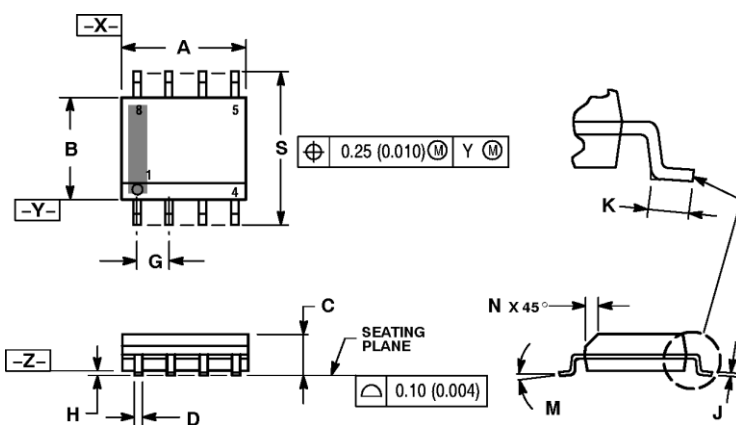


Рисунок 4.6. Внешний вид корпуса SOIC-8.

Таблица 4.2. Размеры корпуса SOIC-8

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	4.80	5.00	0.189	0.197
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.053	0.069
D	0.33	0.51	0.013	0.020
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
H	0.10	0.25	0.004	0.010
J	0.19	0.25	0.007	0.010
K	0.40	1.27	0.016	0.050
M	0 ⁰	8 ^o	0 ^o	8 ^o
N	0.25	0.50	0.010	0.020
S	5.80	6.20	0.228	0.244

Производитель рекомендует следующую схему включения драйвера, показанную на рисунке 4. 7.

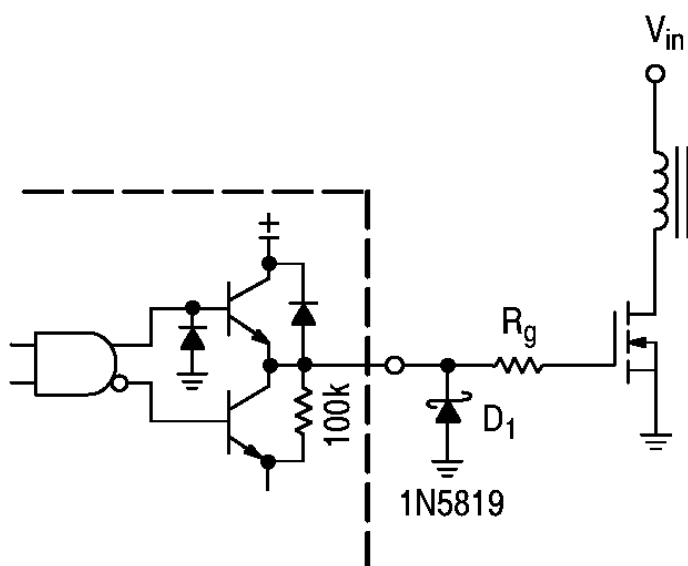


Рисунок 4.7. Рекомендуемая схема включения драйвера MC33152

На этой схеме резистор R_g гасит паразитные колебания, которые могут возникнуть в области высоких частот, вызываемые входной емкостью затвора транзистора. Этот резистор уменьшает быстродействие транзистора, но поскольку в нашем случае частота ШИМ будет сравнительно небольшой, этим эффектом можно пренебречь.

Диод Шотки D_1 снижает рассеиваемую драйвером мощность и предотвращает появление на выводе драйвера напряжение отрицательной полярности.

Основным узлом схемы является микроконтроллер. Поскольку сформирована блок-схема алгоритма, достаточно детализированная и при этом состоящая из 17 блоков, можно предположить, что программа в результирующем виде составит не более 100-150 команд и для ее хранения в памяти микроконтроллера будет достаточно объема 1 кБ .

Ключевым фактором при выборе микроконтроллера является наличие встроенного таймера-счетчика, способного работать в режиме ШИМ.

Кроме того, нам необходимо 4 линии портов ввода-вывода для светодиодов, индицирующих скорость вращения двигателя, 1 линию для светодиода, индицирующего разряд аккумуляторов, 2 линии для опроса кнопок управления скоростью и одну линию для вывода сигнала ШИМ. Всем этим

условиям удовлетворяет микроконтроллер AT Tiny2313. Он имеет 20 выводов, 18 из которых могут быть использованы в качестве выводов портов ввода/вывода.

ATtiny2313 имеет 2 кВ флеш памяти, допускающей 10000 циклов записи/стирания, 128 байт EEPROM для хранения данных с возможностью 100000 циклов записи/стирания, 128 байт встроенной ОЗУ, программную защиту от записи в область флэш-памяти программ и область данных EEPROM.

В состав микроконтроллера входит следующая периферия:

- один 8-разрядный таймер/счетчик с отдельными режимами делителя частоты и режимом сравнения ,
- один 16-разрядный таймер/счетчик с отдельными режимами делителя частоты и режимом подсчета длительности входных импульсов,
- четыре канала ШИМ,
- встроенный аналоговый компаратор,
- программируемый сторожевой таймер и встроенный компаратор,
- универсальный последовательный интерфейс, совместимый со стандартом I2C,
- полнодуплексный интерфейс USART.

Микроконтроллер допускает работу при диапазоне питающего напряжения 2,7 – 5,5 В. Причем при напряжении питания в диапазоне 4,5-5,5В его тактовая частота может достигать 20МГц.

На текущий момент его цена варьируется от 85 р/шт в розницу до 41р/шт за партии от 30шт.

С использованием внутреннего тактового генератора микроконтроллер может работать на тактовой частоте до 8МГц.

Разводка выводов для корпусов PDIP и SOIC показана на рисунке 4.8.

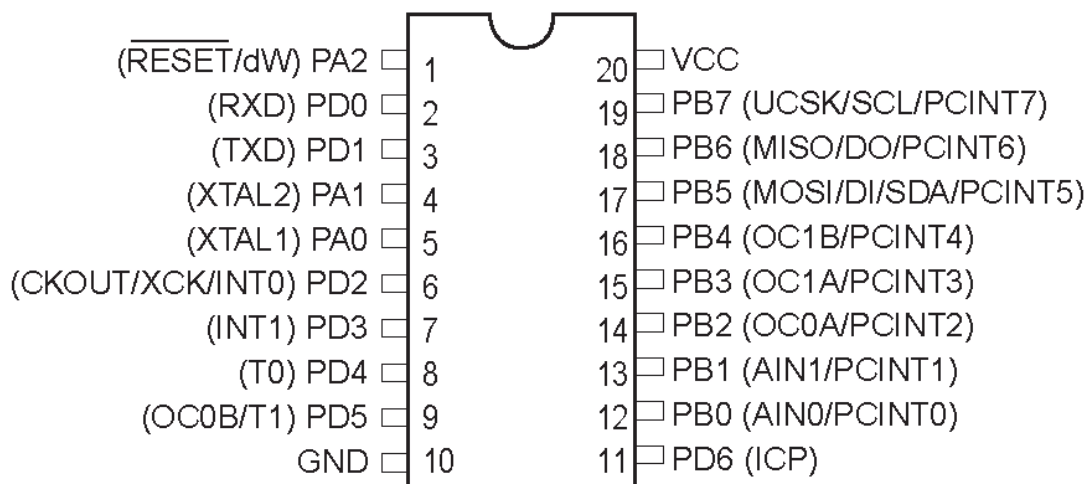


Рисунок 4.8. Разводка выводов микроконтроллера ATtiny2313.

Для реализации алгоритма с последовательным подключением диодов к портам, номера которых увеличиваются друг за другом подключим информационные светодиоды к портам: PB3 – светодиод отображающий разряд аккумуляторов, к портам PB4-PB7 – светодиоды отвечающие за отображение скорости вращения двигателя. Последовательно со светодиодам включим токоограничительные резисторы сопротивлением 220 Ом.

К портам PB0 и PB1 подключим кнопки задания скорости вращения двигателя.

На вывод 20 VCC подаем напряжение питания 5В с параллельно подсоединенными конденсаторами – одним электролитическим и одним керамическим. Эти конденсаторы сглаживают пульсации напряжения на выводе питания микроконтроллера и должны располагаться как можно ближе к выводам питания микроконтроллера.

Вывод 1 Reset через резистор сопротивлением 10 кОм подключаем к напряжению питания, для установки на этом выводе логической 1. К выводам портов PD4 и PD5 также подключаем резисторы сопротивлением 10кОм для того чтобы при разомкнутых кнопках SW1 и SW2 на выводы микроконтроллеров поступало напряжение логической 1, а при нажатых кнопках – уровень логического нуля, определяемый потенциалом общей точки.

Для слежения за уровнем питающего аккумулятора будем использовать входы аналогового компаратора, входящего в состав микроконтроллера, поскольку в состав выбранного микроконтроллера не входит аналого-цифровой преобразователь.

Для получения опорного напряжения будем использовать делитель из двух резисторов, на который подается напряжение 5В, снимаемое со стабилизатора напряжения.

В средней точке делителя должно быть сформировано опорное напряжение, равное минимально допустимому напряжению литиевого аккумулятора, равного 3В.

Рассчитаем сопротивления этих резисторов.

$$R_9 = R_{10} * (3 / (5 - 3)) = R_{10} * 1,5$$

Примем $R_{10} = 10 \text{ кОм}$, тогда $R_9 = 15 \text{ кОм}$.

Мощность рассеиваемая на этих резисторах

$$P_{R_9} = \frac{5^2}{10 + 15 * 10^3} * 15 * 10^3 = 6 * 10^{-4} \text{ Вт}$$

$$P_{R_{10}} = \frac{5^2}{10 + 15 * 10^3} * 10 * 10^3 = 4 * 10^{-4} \text{ Вт}$$

Выбираем оба резистора мощностью рассеяния 0,125Вт.

Фрагмент схемы, состоящий из микроконтроллера, драйвера, силового транзистора и светодиодов показан на рисунке 4.9.

Конденсатор С3 на этой схеме выполняет функции фильтрации высокочастотных помех, возникающих вследствие искрения щеток электродвигателя.

Поскольку по техническому заданию источником питания служат один литий-ионный аккумулятор с номинальным напряжением 3,7В, для питания схемы и электродвигателя напряжением 5В необходимо построить повышающий стабилизатор напряжения.

Воспользуемся для этих целей типовой схемой, построенной на основе микросхемы импульсного повышающего стабилизатора.

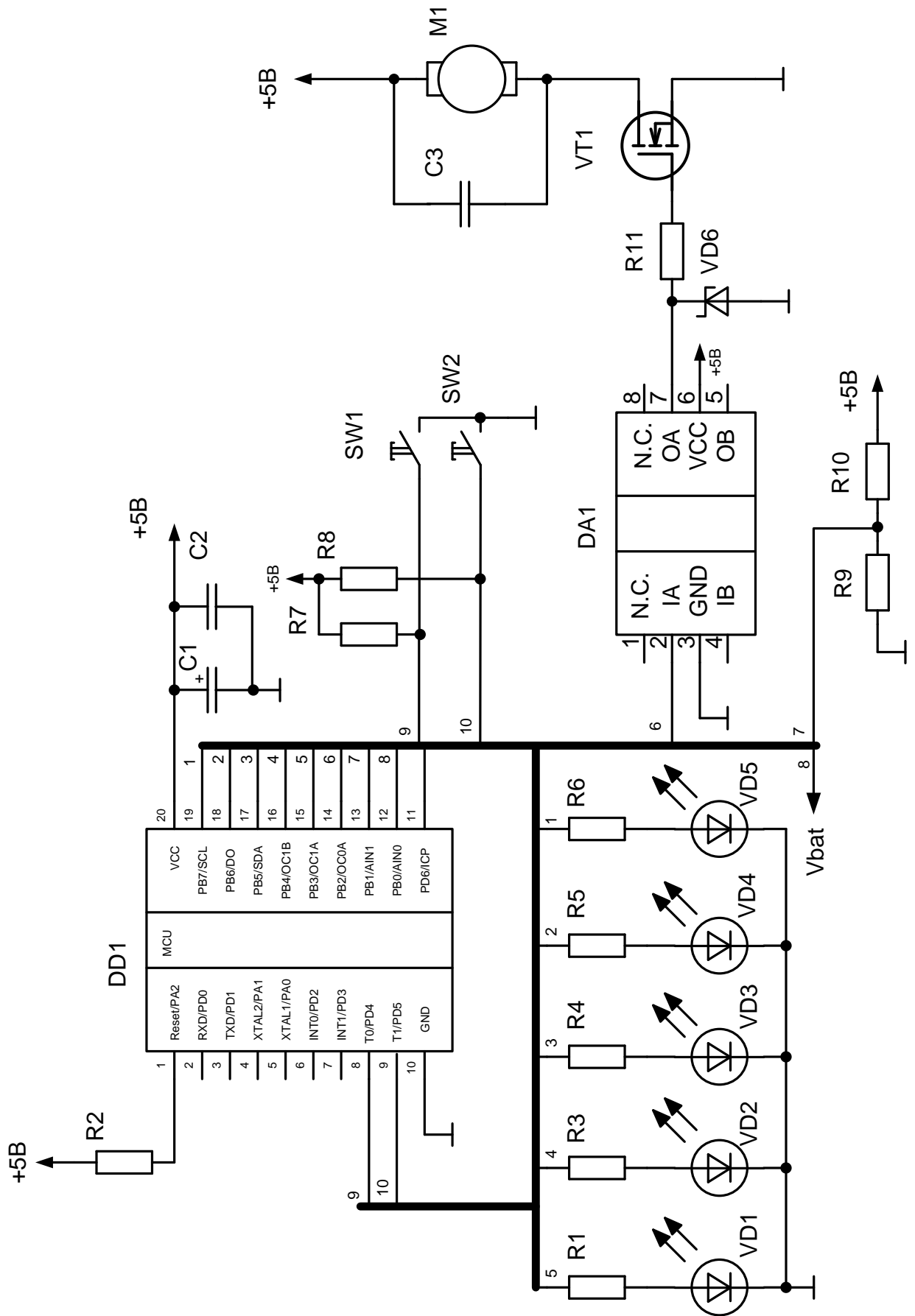


Рисунок 4.9. Принципиальная схема системы управления.

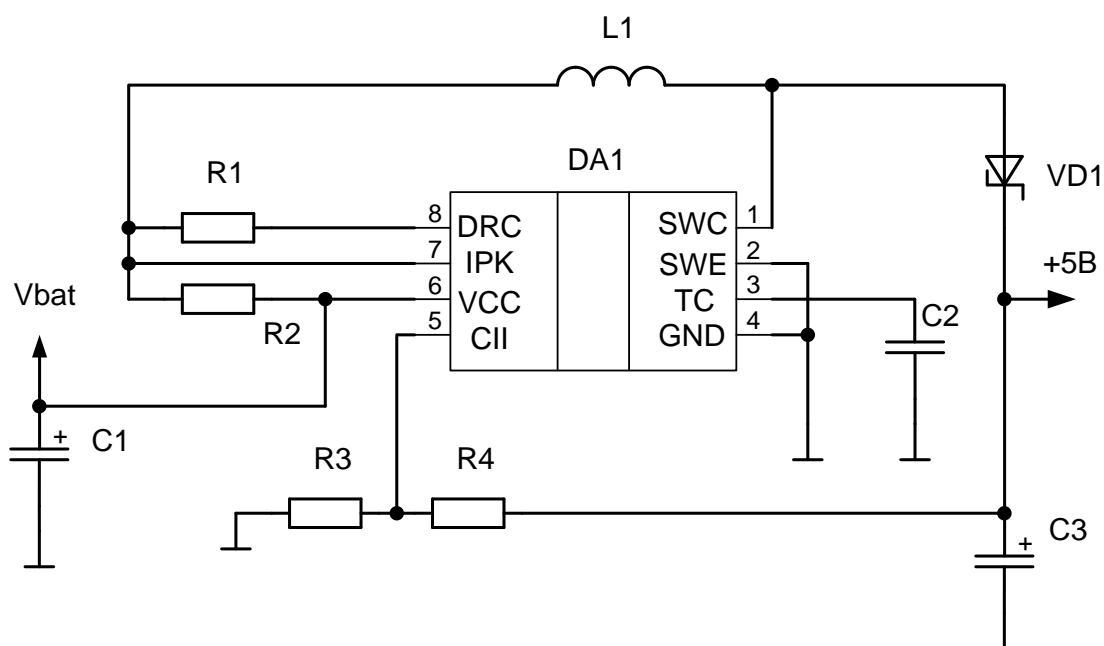


Рисунок 4.10. Схема повышающего преобразователя постоянного напряжения.

Поскольку максимальный ток двигателя в соответствии с заданием 0,5А, то в качестве микросхемы управления повышающим стабилизатором напряжения можно выбрать микросхему MC34063 позволяющую строить повышающие стабилизаторы с выходным током до 1,5А. Причем в значительной мере уровень отдаваемого тока определяется источником первичного напряжения. Поскольку в нашем случае используются литий-ионный аккумулятор со значительной токоотдачей, мы сможем обеспечить необходимый уровень тока на входе импульсного преобразователя напряжения.

Схема повышающего импульсного преобразователя постоянного напряжения работает следующим образом.

Напряжение питания через токовый шунт R2 поступает на дроссель L1. Встроенный в микросхему преобразователя транзистор своим коллектором подсоединен к выводу SWC, а эмиттером – к выводу SWE. Внутренний тактовый генератор подает управляющие импульсы на базу этого встроенного транзистора. Он открывается и насыщается и через него ток протекает к отрицательному полюсу источника питания – аккумулятору. Ток в дросселе повышается. После закрывания внутреннего транзистора ток в дросселе не

может остановиться скачком и продолжает протекать через диод Шотки VD1 и конденсатор C3 заряжая его. На резисторах R3,R4 организована цепь обратной связи, реализующая слежение за напряжением на конденсаторе C3, которое является выходным напряжением преобразователя.

Как только напряжение снизится ниже определенного порога, равного 1,25В и задаваемого величинами сопротивлений этих резисторов, внутренний ключ открывается, обеспечивая «накачку» дросселя током. Как только напряжение в этой точке превысит 1,25 В, внутренний транзистор останавливается, и на нагрузку поступает напряжение с конденсатора C3 до тех пор, пока напряжение на входе СII опять не станет ниже 1,25В.

Конденсатор C1 обеспечивает сглаживание проседания напряжения на источнике первичного напряжения при коммутациях встроенного транзистора на интервалах нарастания тока дросселя.

На вход ИРК поступает напряжение относительно входа VCC, равное падению напряжения на токовом шунте R2. Тем самым отслеживается величина тока, потребляемого от источника напряжения. При превышении этим напряжением уровня в 0,3В, что означает превышение допустимого тока, преобразователь останавливает свою работу.

К входу ТС подключается конденсатор C2, задающий частоту работы преобразователя.

Параметры элементов преобразователя определяются по приведенным производителем рекомендациям и соотношениям следующим образом.

Емкость конденсатора C1 выбирается порядка 100 мкФ, его рабочее напряжение должно быть не ниже напряжения источника питания.

Резистор R1 имеет сопротивление 180 Ом, мощность рассеяния 0,125Вт.

Сопротивление резистора R2 0,22Ом обеспечивает срабатывание защиты преобразователя при токе нагрузки 1,36А.

Емкость конденсатора C2=1,5нF, емкость выходного конденсатора C3=470мкФ.

Сопротивления резисторов R3 и R4 определяем следующим образом.

Номинальное выходное напряжение стабилизатора должно равняться 5В. На вход СП стабилизатора должно при этом поступать напряжение 1,25В.

Между сопротивлениями резисторов в этом случае будет соотношение

$$R3=R4*(1,25/(5-1,25))=R4*0,333$$

Примем сопротивление резистора R4=10кОм, тогда сопротивление R3=3,3кОм.

Мощность рассеиваемая на этих резисторах

$$P_{R3} = \frac{5}{10+3,3 * 10^3}^2 * 3,3 * 10^3 = 4,66 * 10^{-4} \text{ Вт}$$

$$P_{R4} = \frac{5}{10+3,3 * 10^3}^2 * 10 * 10^3 = 1,4 * 10^{-3} \text{ Вт}$$

Таким образом, оба резистора можно выбрать на мощность рассеяния 0,125 Вт

Индуктивность дросселя L1 в соответствии с рекомендациями производителя выбираем 100 мкГн.

Выбираем готовый дроссель на ток 1,4 А и индуктивностью 100мкГн 6000-101K-RC, RF СНОКЕ, 100УН, 1.4А, 10%, 3.7МНЗ

В качестве диода Шотки используем диод STPS2L60 , имеющий следующие параметры:

Максимальный прямой средний ток 2А, максимальное обратное напряжение 60В и максимальное прямое падение напряжения 0,55В.

5. Разработка конструкции системы управления маломощным двигателем постоянного тока.

5.1 Описание конструкции устройства.

Сформируем печатную плату, на которой разместим все компоненты схемы. При этом монтаж электродвигателя будет осуществляться вне платы, а электрически к плате он будет соединяться монтажными проводами методом пайки, поэтому для их подключения необходимо предусмотреть контактные площадки.

Аккумулятор также будет монтироваться вне платы и его также будем подключать с помощью монтажных проводов, соединяющих контакты его контейнера и печатную плату.

Все остальные элементы разместим на поверхности печатной платы.

5.2 Разработка печатной платы устройства.

Для размещения элементов устройства построим печатный узел на основе двухстороннего стеклотекстолита фольгированного СФ-2-35-1,5.

Таблица 5.1 - Параметры стеклотекстолита фольгированного СФ-2-35-1,5.

Марка	Электрические параметры фольгированного стеклотекстолита			
	Толщина изоляции d, мм	Толщина фольги h, мкм	Максимальная плотность тока J, А/мм ²	Удельное сопротивление изолятора ρ, Ом/м
СФ-2-35-1.5	1,5	35	4	$1,2 \cdot 10^9$

Поскольку основная доля сигналов является информационной, прием при разводке преобладающую ширину дорожек для информационных участков равной 0,2 мм.

Поскольку рабочие напряжения схемы не поднимаются выше 12 В в аварийных режимах, примем минимальное расстояние между печатными дорожками до 0,2мм. Этого вполне достаточно, поскольку наша схема является низковольтной.

Монтаж элементов в преобладающем порядке проводится поверхностным способом, однако, электролитические конденсаторы и дроссель монтируются в отверстия. В монтажных и переходных отверстиях необходимо предусмотреть металлизацию. Диаметр контактных площадок для переходных отверстий выбираем равным 1мм.

Для разводки печатных плат используем программу Altium Designer. Печатную плату будем делать прямоугольной, размерами – 60x30мм. В соответствии с изложенными правилами настроили пакет трассировки в Altium Designer и выполнили трассировку двусторонней платы. Результаты разводки печатной платы на стеклотекстолите фольгированном двустороннем показаны на рис. 5.1-5.2.

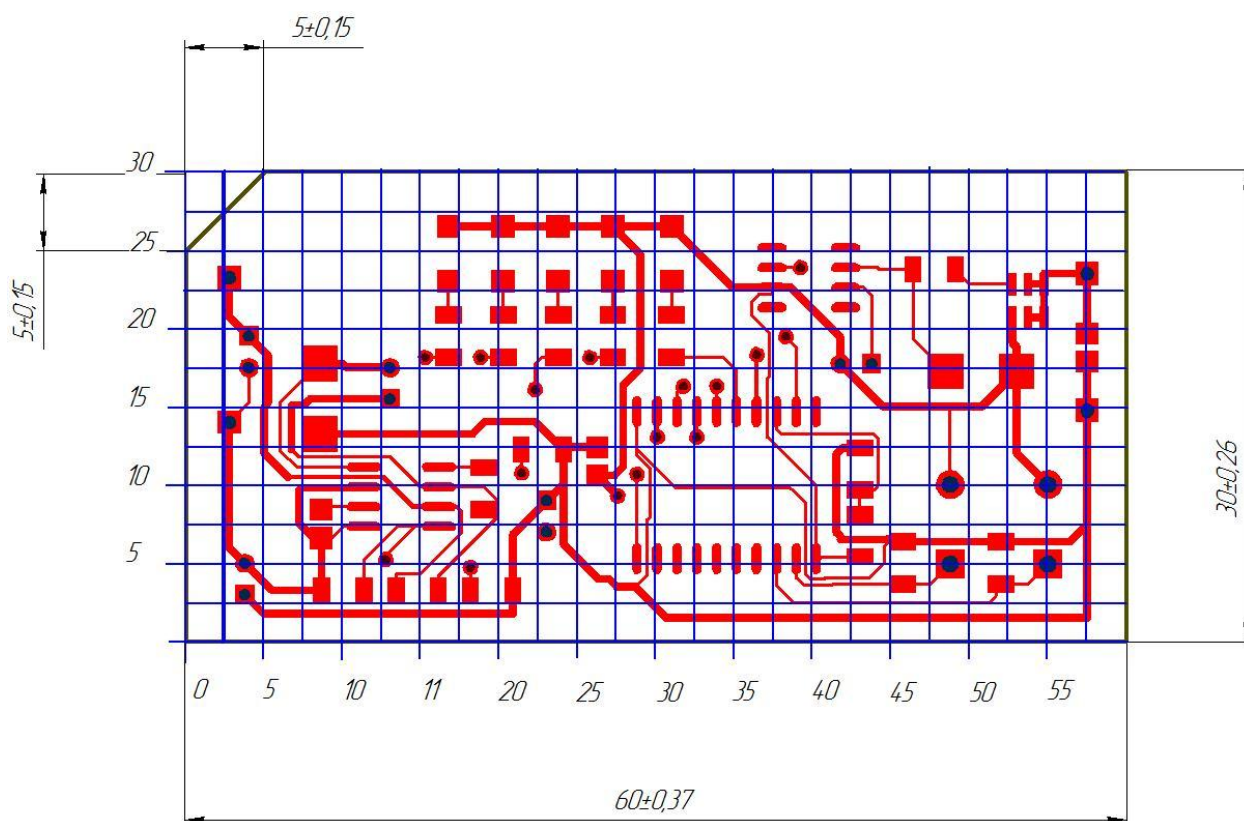


Рисунок 5.1. Вид печатной платы сверху.

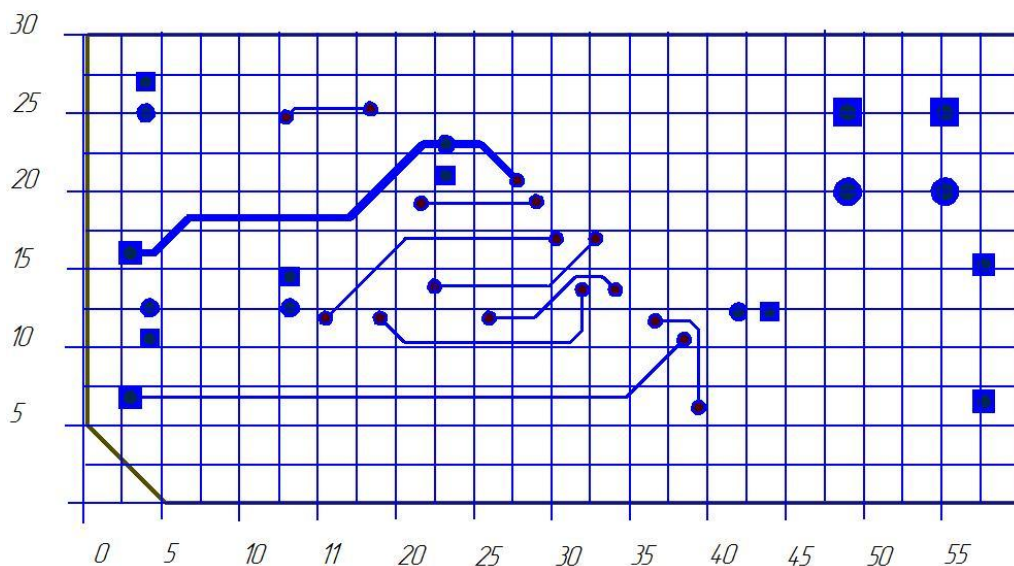


Рисунок 5.2. Вид печатной платы снизу.

5.3 Изготовление печатной платы.

Будем считать, что токопроводящие дорожки изготавливают химическим способом, вытравливая незащищенные тем или иным способом участки медной фольги. Металлизированные отверстия получают электрохимическим способом осаждая медь. Необходимый рисунок токопроводящих дорожек на плате формируют нанося защитный слой на те места, где должны остаться проводники. Стеклотекстолит опускают в химический вытравливающий раствор после нанесения защитного покрытия.

В протравленной плате делают отверстия для навесных элементов и переходных отверстий. После этого плата обслуживается припоем для упрощения монтажа. Для защиты платы от окружающей среды ее покрывают лакокрасочными составами необходимо цвета, нанося методом шелкографии необходимые графические и символные изображения. Защитное покрытие не позволяет окисляться проводникам.

Расположение элементов на печатной плате показано на рисунке 5.3.

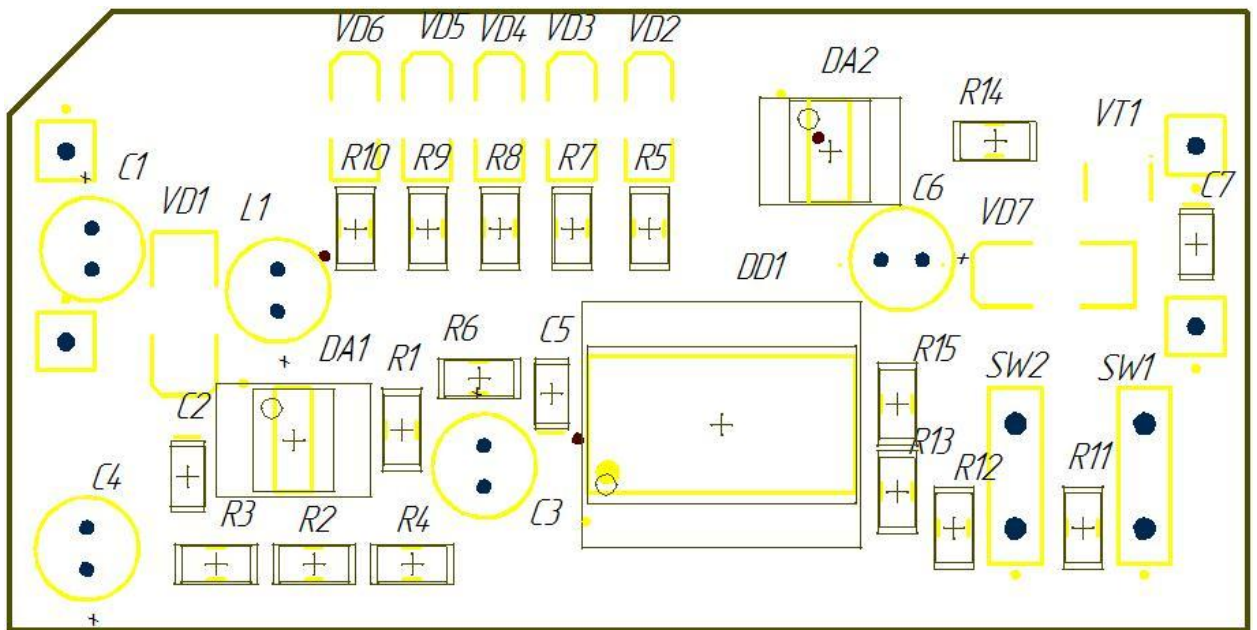


Рисунок 5.3. – Расположение элементов на печатной плате.

6. Экономическая часть.

В этом разделе рассчитаем затраты на компоненты и материалы, используемые в системе управления маломощным двигателем постоянного тока.

Необходимо учитывать, что некоторые материалы, например хлорное железо, стеклотекстолит фольгированный продаются минимальными партиями, стоимость которых фиксирована.

Результаты расчета затрат на компоненты и материалы свели в табл.6.1

Таблица 6.1 - Затраты на основные материалы для изготовления модуля регистрации параметров электрической энергии.

Наименование материала	Марка	ГОСТ, ТУ	Ед. изм.	Норма расхода шт.	Цена за единицу (руб.)	Затраты (руб.)
Флюс	Спиртовой раствор сосновой канифоли	19113-84	шт.	1	25	25
Припой	ПОС60	48-0220-57-93	шт.	1	80	80
Стеклотекстолит 2х-сторонний	СФ-2-35-1,5	10316-78	шт.	1	32	32
Хлорное железо	FeCl ₃	6-00-05763458-129-91	шт.	1	68	68
Итого						205

Полную стоимость покупных комплектующих изделий определили по табл. 6.2.

Таблица 6.2 - Стоимость покупных комплектующих изделий.

Наименование изделия	Марка, размер	Количество, шт.	Цена за единицу (руб.)	Затраты (руб.)
Микросхемы	ATtiny2313	1	70	70
	МС34063AD	1	50	50
	МС33152D	1	60	60

Диоды	STPS2L60	1	22	22
	BL-LS1206PGC	5	15	75
	1N5819	1	8	8
Дроссель	6000-101K-RC, RF CHOKE, 100UH, 1.4A, 10%, 3.7MHZ	1	150	150
Резисторы	RC 1206DRF 072R в ассор- тименте	15	0,5	7,5
Конденсаторы	K50-35 - 470мкФ - 25В ±20%	1	25	25
	Y5V - 1,5нФ - 50В -+80- 20%	1	2	2
	K50-35 - 100мкФ - 25В ±20%	3	20	60
	Y5V - 0.1мкФ - 50В -+80- 20%	2	2	4
Кнопки	TSA6PG130	15	3	45
Провода	SG6301, 3м	3м	0,9р/м	2,7
Итого:				581,2

С учетом транспортно-заготовительных расходов стоимость покупных изделий:

$$C_{\text{покуп}} = \sum_{i=1}^n S_{\text{покуп}} \cdot (1 + K_{\text{тз}}),$$

где $K_{\text{тз}}$ – коэффициент транспортно-заготовительных расходов; $K_{\text{тз}} = 0,04$

$S_{\text{покуп}}$ – стоимость покупных комплектующих изделий, руб.

$$C_{\text{покуп}} = 581,2 \cdot (1 + 0,04) = 604,48 \text{ руб.}$$

Результаты расчёта затрат материалы и комплектующие сведены в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 - Результаты расчета затрат на материалы и комплектующие

Наименование статей затрат	Абсолютная величина затрат, руб.
Затраты на основные материалы	205
Затраты на комплектующие	604,48
Итого:	809,48

Таким образом величина затрат на приобретение по розничным ценам с учетом минимально продаваемых количеств материалов и комплектующих для изготовления одного экземпляра системы управления двигателя постоянного тока составят 809,48р

7. Безопасность и экологичность проекта.

Идентификация опасных и вредных производственных факторов.

При выполнении монтажных, сборочных и наладочных работ на выполняющих работы людей воздействует ряд вредных и опасных производственных факторов. Среди них считают повышенную запыленность и загазованность рабочих зон; высокий и опасный уровень напряжения в электрических сетях; электромагнитные излучения, а также статическую нагрузку тело человека.

При пайке работник может дышать испарениями флюсов, пары припоев, содержащие свинец, окись углерода и другие элементы. Конкретный состав испаряющихся веществ определяется видом флюсов и припоев. Как правило, немалое количество припоев является токсичным. Воздействие этих веществ на организм человека, зачастую является причиной острых и хронических профессиональных заболеваний и отравлений.

Кроме этого, при монтаже электронных схем, производственные работники подвергаются воздействию таких факторов, как поражение электрическим током и статическим электричеством, поражение химическими веществами, при нарушении герметизации приборов содержащих опасные вещества. Не исключена возможность травм при работе со специнструментом, например, ожогов раскаленным припоем или паяльником, порезов и уколов об острые части элементов схем. Кроме этого, на организм человека действуют вредные вещества, содержащиеся в дыме, который возникает при монтаже элементов.

Таблица 7.1 – Перечень опасных и вредных факторов производства

№ п/п	Наименование опасного и вредного производственного фактора	Виды работ, оборудование, технологические операции при которых встречается данный производственный фактор
1	поражение химическими веществами	Пайка (аэрозоль флюс и припой), травление печатных плат (раствор

		хлорного железа) нарушение герметизации приборов (электролитические конденсаторы)
2	поражение электрическим током и статическим электричеством	Изготовление электронных схем. электрооборудование (неисправности, повышенные значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека)
3	ожоги	Пайка (ожоги раскаленным припоем и паяльником)
4	порезы и уколы	Изготовление печатных плат, монтаж элементов (острые части элементов схем)

8. Заключение.

В результате выполнения работы была разработана система управления маломощным двигателем постоянного тока. Разработана электрическая принципиальная устройства, предложено словесное описание алгоритма работы и его оформление в виде блок-схемы. Проработаны вопросы взаимодействия микроконтроллера ATtiny 2313 со светодиодами, кнопками и драйвером двигателя. Указаны наиболее вероятные критические для силового транзистора ситуации. Для повышения надежности при незначительном повышении цены силовой транзистор выбран с запасом по импульсному току и обратному напряжению. Для снижения уровня электромагнитных помех параллельно с двигателем подключен керамический конденсатор малой емкости. Подсчитана стоимость комплектующих. Даны практические советы по обеспечению безопасного и экологически чистого производства устройства.

Список используемой литературы:

1. Шпак Ю.А. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров.- К.: «МК-Пресс», 2006. – 400 с.
2. П. Хоровиц, У. Хилл Искусство схемотехники, 2011. – 593 с.
3. Ю.Н. Андреев, А.И. Антонян, Д.М. Иванов и др.; Под ред. И.И. Четверткова Резисторы(справочник) – М. Энергоиздат, 1981.- 352 с.
- 6.www.gaw.ru
- 7.www.radiokot.ru
- 8.<http://slovari.yandex.ru/dict/bse>
- 9.www.cxem.net
- 10.www.atmel.com
11. Масленников М.Ю., Соболев Е.А. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база. Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 298 с.
12. В. П. Берзан, М. Ю. Геликман. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с.: ил.
13. И. Н. Сидоров, В. В. Мукосеев, А. А. Христинин. Малогабаритные трансформаторы и дроссели. – М.: Радио и связь, 1985. – 416 с., ил.
15. www.chipdip.ru - Интернет-сервер электронных компонентов и приборов. Интернет-магазин, описание, техническая документация на электронные компоненты.
16. www.platan.ru – Интернет-сервер электронных компонентов и измерительной техники. Интернет-магазин, электронные компоненты, техническая информация.
17. www.chipinfo.ru – Интернет-сервер поиска электронных компонентов и радиодеталей.
18. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов: М.: Солон-Р, 2001, 327 с.: ил.

19. MC34152, MC33152, NCV33152 High Speed Dual MOSFET Drivers. Publication Order Number: MC34152/D. Semiconductor Components Industries, LLC, 2010 October, 20019– Rev. 11.

20. MC34063A. DC-DC CONVERTER CONTROL CIRCUITS. DS1157: DC-DC converter control circuits./ <http://www.st.com>.

21. Si1442DH Vishay Siliconix. Document Number: 63772. S12-0546-Rev. A, 12-Mar-12.// www.vishay.com

22. 8-bit Microcontroller with 2K Bytes In-System Programmable Flash AT-tiny2313/V Preliminary. Rev. 2543I–AVR–04/06. // www.atmel.com

23. STPS2L60. Power Schottky rectifier. Doc ID 9173 Rev 6.// www.st.com

24. Radial Lead RF Chokes. REV. 06/07 // www.bourns.com