

ШИ регулятор мощности электродвигателей

Н, ТОКМАКОВ, г. Сыктывкар

В последние годы становится популярным увлечение любительской сборкой электрифицированного транспорта и переоборудованием автомобилей для перевода их на электрическую тягу. На этом пути энтузиастов ожидает немало трудностей. Так, например, один из сложных и дорогих узлов подобных транспортных средств — устройство управления электродвигателями, — скорее всего, придется разрабатывать и изготавливать самостоятельно. Остается добавить, что практической литературы на тему управления большим током крайне мало. Помещенная ниже статья должна помочь в решении ряда вопросов в указанной области конструирования.

При разработке описываемого ниже устройства использован опыт одного из пионеров электрооборудования [1]. Устройство поможет электрифицировать игрушки, скутеры, мощные вентиляторы, создавать электроприводы мощностью до 5 кВт напряжением до 150 В.

Мощность представляемого вниманию читателей ШИ регулятора позволяет приводить в действие электродвигатель транспортного средства

транзисторах VT4—VT9, блока питания VD1, R6, VT3, DA1. Регулятор питается от двух источников: один — напряжением от 20 до 30 В для питания слаботочной части устройства, второй — до 150 В для питания нагрузки. Устройство имеет вход сигнала для блокировки регулятора и выход на внешний узел защиты, формирующий этот сигнал. Тяговый электродвигатель включают последовательно с коммутатором тока.

Частотозадающим элементом

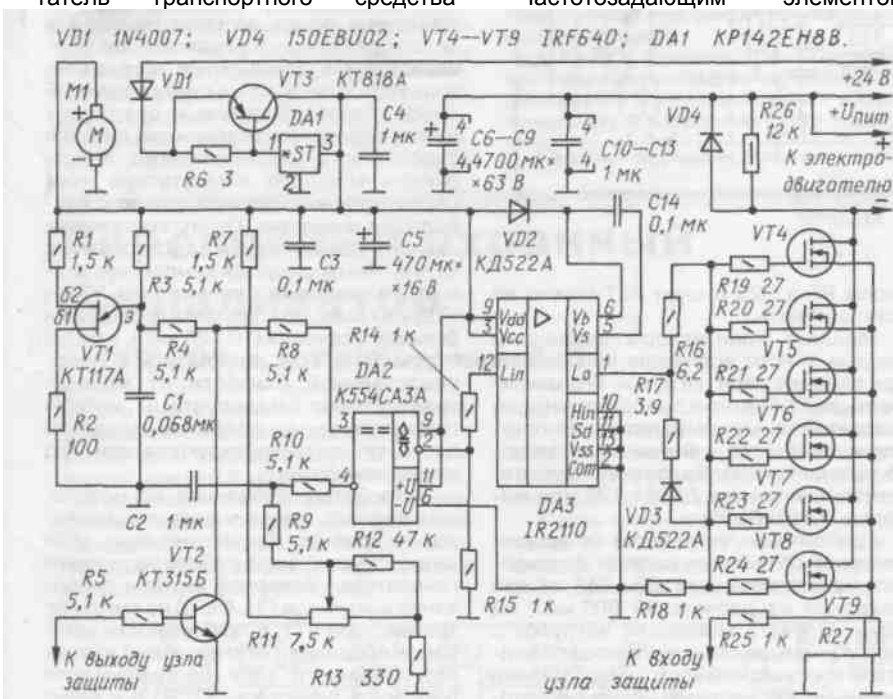


Рис. 1

весовой категории "Жигули" — классика. Схема устройства допускает увеличение мощности управляемых устройств путем замены радиоэлементов на более мощные с соблюдением рекомендаций, изложенных в статье.

Регулятор, схема которого показана на рис. 1, состоит из четырех узлов: задающего генератора на транзисторе VT1, формирователя управляющих импульсов, собранного на микросхемах DA2, DA3, мощного коммутатора тока на

регулятора служит генератор пилообразных импульсов на транзисторе VT1. Частоту 3...4 кГц определяет цепь R3C1. Импульсы поступают на неинвертирующий вход компаратора DA2, а на инвертирующий подано напряжение с движка резистора R11, управляющего частотой вращения ротора электродвигателя. В качестве этого резистора использован датчик положения дроссельной заслонки от автомобилей ВАЗ десятой серии. Сопро-

тивление датчика изменяется от 0 до 7,5 кОм.

В датчике в цепи ползунка имеется встроенный резистор сопротивлением 1,5 кОм. В дополнение к нему в ШИ регуляторе в эту цепь добавлены резистор R9 и конденсатор C2 для уменьшения влияния "дребезга" контакта движка и увеличения плавности регулирования. В процессе эксплуатации на конкретном оборудовании может потребоваться подборка элементов этой цепи для получения нужной динамики процесса. Критерием удовлетворительной динамики в случае с электромобилем служат плавные разгон (при перемещении движка резистора R11 влево по схеме) и торможение (то же — вправо) машины, а также значение максимального тока через электродвигатель.

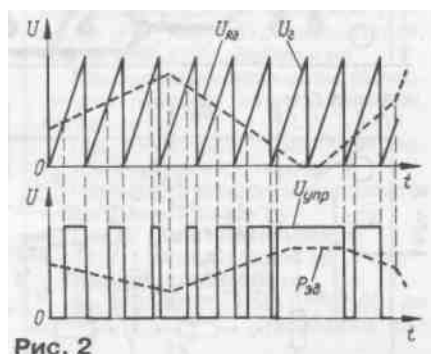


Рис. 2

На рис. 2 сверху упрощенно показаны импульсы U , генератора и напряжение $I_{мвд}$, снимаемое с движка резистора R11. Как показывает практический опыт применения регулятора, для ускорения процесса торможения электродвигателя бывает целесообразно шунтировать резистор R9 диодом KD522A, подключив его анодом к точке соединения резистора R9 и конденсатора C2 для ускорения разрядки этого конденсатора. Резистор R12 служит для предотвращения аварийной ситуации при случайном отключении резистора R11 или обрыве проводов, соединяющих его с регулятором.

На выходе компаратора DA2 получаем последовательность импульсов $U_{упр}$ (рис. 2) длительностью, задаваемой резистором R11. Затем сигнал поступает на усилитель-формирователь DA3, вырабатывающий импульсы с фронтом и спадом длительностью не более 120 нс, и далее — в цепь затвора блока мощных полевых переключательных транзисторов VT4—VT9. Резисторы R19—R24 выравнивают значения тока зарядки емкости затвора транзисторов. Импульс зарядного тока может достигать сотен миллиампер. При закрытии транзисторов разрядный ток протекает через резисторы R19—R24, резистор R16, цепь VD3R17 и выход усилителя DA3.

Скорость закрытия транзисторов важна не менее скорости открывания — от этого зависит степень их нагревания. При налаживании устройства необходимо контролировать напряжение управляющих импульсов на затворе мощных транзисторов — оно не должно быть менее 10 В — для исключения их перехода в линейный режим.

Напряжение питания нагрузки зависит от характеристик применяемого электродвигателя, но не должно превышать номинального напряжения сток—исток транзисторов. Для блока транзисторов IRF640 максимальное напряжение — 150 В при суммарном токе нагрузки до 80 А.

Характер изменения мощности Рэд электродвигателя от изменения напряжения на движке управляющего резистора R11 упрощенно показан на рис. 2.

должен формировать сигнал, удерживающий транзистор VT2 открытым до устранения причины аварии, и контролировать ток в цепи питания нагрузки, предохраняя мощные транзисторы от перегрева в линейный режим и перегревания.

Устройство узла защиты в этой статье не рассматривается.

В простейших устройствах управления, не требующих защиты или когда вероятность возникновения аварийной ситуации мала, транзистор VT2, рези-

Мощные транзисторы VT4—VT9 подбирают под конкретную нагрузку. При этом число транзисторов, подключаемых к усилителю—формирователю DA3, должно соответствовать его выходным характеристикам [2, 3]. Как показывает опыт, при разработке ШИ регулятора необходимо предусматривать запас перегрузки по току. Это вызвано конструктивным исполнением транзисторов. Несмотря на заявленное значение тока, сечение выводов транзисторов ему не соответствует. Падение напряжения на выводах транзисторов сечением 1,3 мм², а соответственно, и рассеиваемая энергия расточительно велики. Плотность тока в выводах транзисторов не должна превышать 15...20 А/мм².

В регуляторе применены транзисторы IRF640 на ток 18 А и напряжение 200 В. Устройство было испытано также с транзисторами IRF3710 (100 В, 57 А), IRF3205 (55 В, 110 А), IRF3808 (75 В, 140 А) для управления электродвигателем мощностью 3 кВт и напряжением питания 48 В.

Сигнал управления на выходные транзисторы рекомендуется передавать по витой паре проводов непосредственно на затвор и исток [4]. Не следует пропускать ток управления транзисторов через общий провод устройства из-за опасности проникновения коммутационных помех из цепи нагрузки в цепь управления. На практике это проявляется как повышенное нагревание транзисторов и их непредсказуемый выход из строя. Еще лучшие результаты дает разделение источников питания слаботочного узла и мощного. Конструкции мощного коммутатора тока регулятора необходимо уделить наибольшее внимание. От его компоновки зависит качество работы устройства в целом. Рекомендуется компакнее разместить мощные транзисторы VT4—VT9, к их выводам припаять проводники большого сечения (10...20 мм²), а резисторы R18—R24 разместить в непосредственной близости от мощных транзисторов. Недопустимы изгибы проводников в пределах мощного блока, так как они образуют паразитную индуктивность.

Устройство, собранное из исправных деталей, налаживания, как правило, не требует. Достаточно лишь убедиться в устойчивой работе задающего генератора проверкой частоты следования импульсов (3...4 кГц) на эмиттере транзистора VT1, в правильности установки пределов регулирования выходной мощности (при необходимости подобрать резисторы R7, R13) и наличии управляющих импульсов (напряжением не менее 10 В) на общей точке цепи резисторов R18—R24.

Выходные транзисторы устанавливают на медную теплоотводящую пластину размерами 160x60x4 мм, охлаждаемую вентилятором M1. Без применения вентилятора площадь теплоотвода для каждого транзистора рассчитывают исходя из его характеристик и рассеиваемой мощности. В качестве охлаждающего вентилятора можно использовать кулер персонального компьютера, подключенный через предварительно подобранный резистор (на

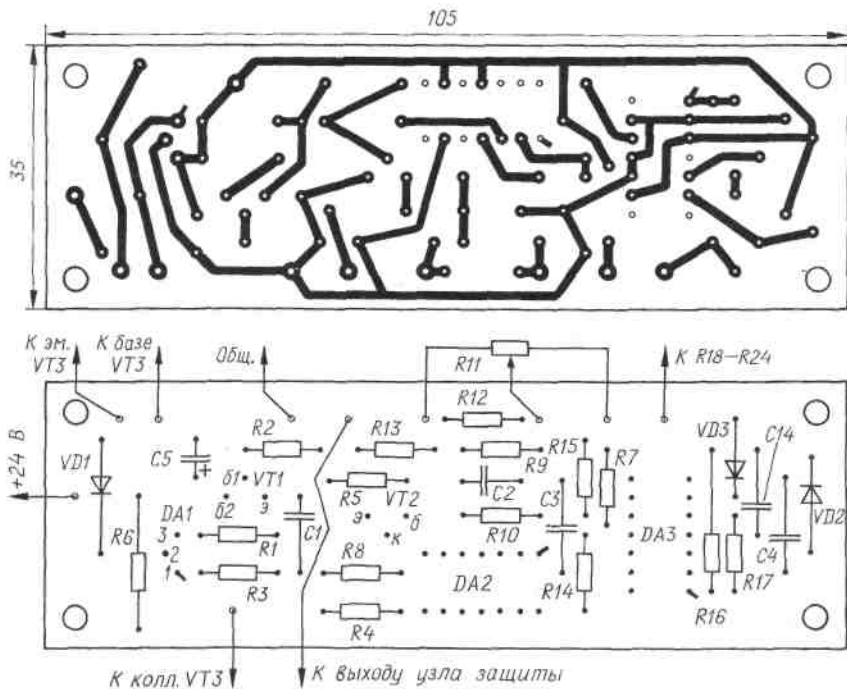


Рис. 3

Исходное положение движка этого резистора — крайнее правое по схеме. При этом управляющие импульсы отсутствуют, полевые транзисторы VT4—VT9 закрыты, нагрузка обесточена.

Для питания слаботочной части устройства удобно использовать часть напряжения питания нагрузки, особенно если электродвигатель питается от батареи аккумуляторов. Но этот способ требует тщательных испытаний регулятора до установки на машину, так как сопоставление общего провода питания может отрицательно повлиять на качество работы регулятора в целом.

При эксплуатации устройства желательно предусмотреть защиту транзисторов от линейного режима и перегрузки по току. Переход транзисторов из переключающего режима в усилительный приводит к их быстрому перегреву и последующему разрушению. Используемые в регуляторе транзисторы способны выдерживать перегрузки и замыкания в нагрузке в течение десятков микросекунд, не дольше. Поэтому с целью сохранения регулятора даже в аварийных ситуациях целесообразно использовать устройство защиты. Для его подключения предусмотрены два вывода — верхний по схеме зажим шунта R27 в цепи нагрузки (с ограничительным резистором R25) и вход блокирующего устройства (VT2) формирователя импульсов. Узел защиты

сторы R5 и R25 и шунт R27 можно не устанавливать.

Мощные транзисторы защищены диодом VD4 от всплесков напряжения при разрыве цепи нагрузки. Его максимальное обратное напряжение не должно быть менее напряжения питания, а прямой ток — менее номинального тока двигателя. Здесь подойдут отечественные диоды ДЧ151-125 или импортные 150EBO2.

При питании устройства от аккумуляторной батареи ее следует блокировать конденсаторами С6—С13 общей емкостью из расчета 10 000 мкФ на один киловатт мощности нагрузки с целью уменьшения разрушающего действия тока высокой частоты на батарею. Номинальное напряжение конденсаторов — не менее напряжения батареи.

Генератор, компаратор, формирователь импульсов и вентилятор M1 питаются напряжением 15 В от блока, состоящего из стабилизатора DA1 и усилителя тока на транзисторе VT3. Транзистор и стабилизатор необходимо устанавливать на теплоотводы с эффективной площадью не менее 20 см². В случае, если в устройстве мощные транзисторы установлены на теплоотводы, обеспечивающие их необходимое охлаждение, можно обойтись без вентилятора M1.

Слаботочная часть устройства размещена на печатной плате рис. 3.

схеме рис. 1 не показан) для понижения напряжения до 9...12 В.

Теплоотвод допустимо использовать в качестве объединенного вывода стока транзисторов.

Батарею конденсаторов С6—С13 следует монтировать в непосредственной близости от батареи аккумуляторов, а при использовании на транспортном средстве — поместить в отдельную коробку для защиты от влаги. Диод VD4 можно расположить в любом удобном месте. При работе с защитным устройством используется готовый шунт 75ШСМ М3 (или 75ШС). Номинал его подбирают исходя из тока нагрузки регулятора. В рассматриваемом случае применен шунт на 100 А в связи с тем, что устройство разработано для управления электродвигателем ЗДТ-31 на напряжение 24 В и ток 80 А. Для подключения нагрузки следует применять медные провода сечением из расчета 8 А на 1 мм², подойдет, например, провод из серии ПВЗ. На концах проводов монтируют кабельные наконечники, соответствующие их сечению.

В заключение несколько замечаний на случай замены мощных транзисторов VT4—VT9. Транзисторы серии IRF имеют значительную емкость затвора — от 1200 пФ (IRF640) до 5310 нФ (IRF3808), отсюда вытекают требования к резисторам R18—R23 и усилителю DA3. При увеличении числа мощных транзисторов может потребоваться замена усилителя — формирователя IR2110 на более мощный, например LM5110, или добавление двухтактного транзисторного усилителя мощности (типичное

подключение IR2110 допускает такую доработку [2]). Потребляемый от усилителя ток определяется суммарным сопротивлением цепи R16R18—R24.

Сопротивление резисторов R19—R24 рассчитывают следующим образом. Сначала определяют средний ток зарядки емкости затвора:

$$I_3 \approx \frac{U_{пит} \cdot C_3}{t}$$

где $U_{пит}$ — напряжение питания усилителя DA3, В; C_3 — емкость затвора транзистора, Ф; t — время открывания/закрывания транзистора, с. Тогда сопротивление резистора в цепи затвора $R_3 = I_w b$, Ом.

Резисторы цепи затвора лучше всего припаять непосредственно к выводам транзисторов. При выборе компонентов ШИ регулятора следует отдать предпочтение более высокочастотным радиоэлементам.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Корхов И. Ю.** Разведение электромобилей в домашних условиях. <http://www.evr.boom.ru>.
1. IR2110/IR2113 High and Low SideDriver — <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2110.pdf>
2. IRF640N Hex Fet Power MOSFET — <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf640n.pdf>.
3. **Kiraly L.** Решение проблем помехоустойчивости мощных высокочастотных ИС, управляющих мощными каскадами. — <http://www.platan.ru/irf/techdoc/dat92-1.pdf>.

Редактор — Л. Ломакин,
графика — Л. Ломакин