

Рис.2 Принцип работы ШИ-регулятора

Далее сигнал поступает на затворы мощных ключей типа IRF через цепочку резисторов R17 и R18-R23. Резисторы в цепи затворов служат для выравнивания токов заряда емкости затворов транзисторов. Зарядные токи в начале импульса могут составлять сотен миллиампер. При закрытии транзисторов разрядный ток протекает через резисторы затворов и блокирующий диод VD4 для ускорения рассасывания заряда затвора и увеличения скорости закрытия транзистора. Скорость закрытия очень важна, от этого зависит как сильно будет разогреваться транзистор. В порядке эксперимента можно попробовать зашунтировать диодами резисторы затворов R18-R23. На печатной плате устройства предусмотрены установочные отверстия для этих диодов. Резистор R24 на схеме занижен, надо поставить не менее 1 ком, иначе много энергии берет на себя и разместить его надо в силовом блоке, если существует опасность случайного отключения или обрыва сигнальных проводников. Величина R17 должна быть не менее 6 Ом. Если количество силовых транзисторов увеличивается, то и резистор необходимо увеличить. Так чтобы цепь из резисторов R17, R18-R23 обеспечивала ток нагрузки микросхемы DA3 не более 2 ампер при заряде емкости затворов силовых транзисторов VT4-VT9. При условии, что будут соблюдены условия для качественного управления транзисторами.

Предлагается вашему вниманию две методики расчета сопротивления цепи затвора (емкость затвора транзистора IRF3808 составляет $C=5300$ pF, время включения транзистора $t=100$ ns):

1. Заряд конденсатора характеризуется постоянной времени заряда, то есть это время, за которое конденсатор зарядится до уровня 63% от напряжения питания.

$t = R \times C$. Определим из нее резистор. $100\text{ns} = R \times 5300\text{pf}$. Следовательно $R = 18,86$ Ом. Ток, протекающий по цепи заряда, будет определяться как $I = (U_{п} - U_{с})/R$. В начальный момент, когда уровень заряда конденсатора равен нулю, ток в цепи будет максимален. Отсюда $I_{\text{макс}} = 10 / 18,86 = 0,53$ А. Общий ток в нашей схеме из 6 транзисторов равен $6 \times 0,53 = 3$ А.

Если учесть, что реальный переходной процесс заряда равен 3 - 4 постоянным времени, то значение резистора можно уменьшить до 6 Ом. В общем практически резистор будет от 20 Ом до 6 Ом.

2. Средний ток заряда емкости затвора $I = (U_p - U_c) \times C / t = (10 - 0) \times 0,0000000053 / 0,0000001 = 0,53$ А. Следовательно $R = U / I = 10 / 0,53 = 18,86$ Ом. Таким образом обе методики дают один и тот же результат. Уменьшая величину резистора, принимайте во внимание нагрузочную способность схемы управления. Примененная в нашем устройстве схема IR2110 способна обеспечить ток 2 А.

В случае использования устройства для управления моторами электромобиля потребуется предусмотреть защиту от линейного режима транзисторов, перегрузки по току, остановки якоря электродвигателя. Для этой цели в схеме предусмотрен транзистор T2, куда подается блокирующий сигнал от внешнего устройства защиты. Сигнал для анализа аварийных ситуаций снимается с шунта, включенного в объединенную линию истоков транзисторов.

При использовании в качестве нагрузки электромоторов, обязательно включение параллельно рабочей обмотке электромотора блокирующего (фиксирующего) диода VD4. Рабочее напряжение диода должно быть не менее величины питания нагрузки и ток в не менее номинального тока двигателя.

При питании устройства от аккумуляторных батарей, их необходимо заблокировать конденсаторами из расчета 10 тысяч микрофард на киловатт подключенной мощности. Конденсаторы служат, во-первых для защиты аккумуляторов от воздействия высоких частот, которые вызывая механические колебания пластин, разрушают их. Во-вторых для создания запаса пиковой мощности при включении транзисторов. Практика эксплуатации транспортных средств на электротяге показала полезность установки части конденсаторов в непосредственной близости к ШИ-регулятору. Это служит для компенсации индуктивности силовых проводов.

Питание электронной части устройства организовано через интегральный стабилизатор DA1. При этом транзистор VT3 служит для облегчения нагрузки на интегральный стабилизатор.

Падение напряжения на резисторе R6 открывает транзистор VT3 и часть тока в нагрузку проходит через него. Транзистор и стабилизатор устанавливаются на теплоотводы площадью до 30 квадратных сантиметров.

В случае, если устройство используется без принудительного охлаждения с помощью вентиляторов (компьютерные кулеры), транзистор VT3 можно не устанавливать и радиатор охлаждения стабилизатора не применять.

Слаботочная часть схемы размещена на печатной плате размерами 155x55 мм. Данная плата применяется только для ШИМов с током нагрузки до 30 ампер.

Силовые транзисторы подбираются в зависимости от применяемой нагрузки. При этом

необходимо предусматривать четырех-пятикратный запас по току. Сие требование вызвано конструктивным исполнением транзисторов. Несмотря на заявленную величину тока, сечение проводников транзисторов не соответствует этой величине. Плотность тока на выводе транзистора более 100 А\ кв.мм.

При использовании устройства необходимо иметь ввиду, что проводники платы рассчитаны на величину тока до 20 ампер. При больших токах следует продублировать припаянными проводниками соответствующего сечения.

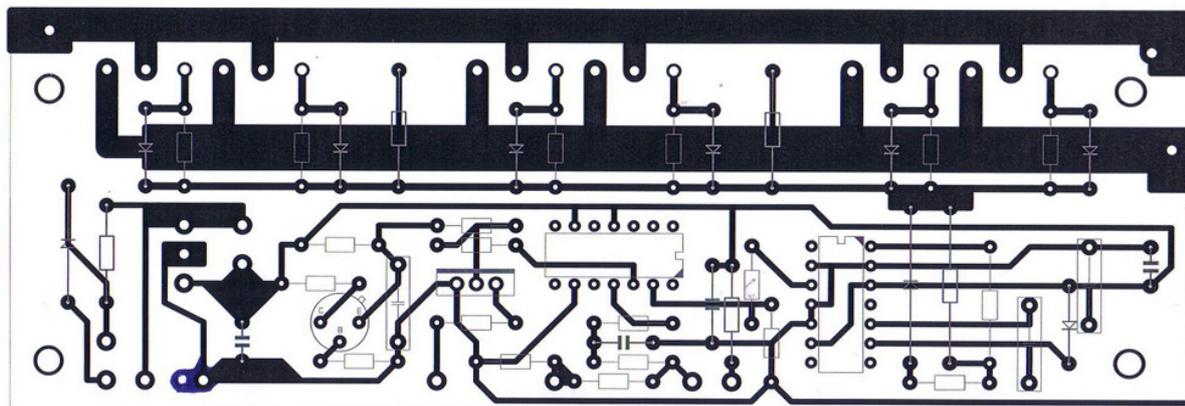


Рис.3 Плата печатная

На изображенной схеме регулятора применены транзисторы IRF640 с током 18 ампер и напряжением 200 вольт. Устройство испытывалось с транзисторами IRF 3808 (75 вольт, 140 ампер) и транзисторами IRF 3205 (55 вольт, 110 ампер) для управления электромотором мощностью 1,5 киловатт и напряжением питания 48 вольт. Более предпочтительны транзисторы IRF640 – наименьший нагрев на частотах более 1000 герц. (С транзисторами IRF 640 нагрев наименьший по причине более скоростных переключающих свойств транзистора) Важным замечанием является то, что сигнал на затворы транзисторов желательно подавать витой парой проводов непосредственно на затвор и исток транзистора (это для случая использования устройства на малых токах-до 30А). Иными словами, не желательно объединение общего провода силовой цепи и слаботочной. Эксперименты показали, что объединение общих проводов на шине транзисторов ведет к заметному увеличению нагрева последних. Еще лучшие результаты дает разделение источников питания слаботочной цепи и силовой.

Соблюдайте последовательность подачи напряжений питания. Вначале подается питание на схему управления, затем на силовую часть. Обратный порядок чреват выходом из строя силовых транзисторов. Такой порядок соблюдается даже в регуляторах известной фирмы Curtis. Там для коммутации силовой части использовано реле. При экспериментах со схемой питания устройства, следите чтобы величина управляющего импульса на затворе была не менее 10 вольт. На фотографии (Рис.6) силовой блок ШИ-регулятора на мощность в 3 киловатта, 48 вольт в собранном виде.



Рис.4 ШИ-регулятор в собранном виде

Устройство собранное из исправных деталей не требует налаживания. Слаботочную часть регулятора собирают на печатной плате **рис.3**. Выходные транзисторы устанавливают на медный или алюминиевый радиатор размерами 150x50 мм., служащий теплоотводом. Над ним устанавливают вентилятор с напряжением питания 12В. (Учитывая, что устройство имеет питание 15 вольт, кулеры следует включить через подобранный резистор мощностью 1 ватт.) Питание его предусмотрено на печатной плате. В данном случае использованы кулеры от компьютера. Выводы транзисторов кроме затвора, припаивают к медным полосам сечением 10...20 мм², располагаемым на теплоотводе через изолирующие прокладки. Вывод стока не используется, его можно удалить. В качестве контакта стока используется фланец теплоотвода.

В силовой части категорически нельзя использовать изогнутые проволочные проводники. Устройство будет малопригодным для работы из-за чрезвычайно большого тепловыделения и опасности разрушения транзисторов – паразитные индуктивности.

Демпферный диод Д4 можно расположить в любом удобном месте, возможно в электронном блоке управления. При использовании малогабаритного диода 150 EBU02, необходимо

поместить на теплоотвод. Отечественный диод ДЧ 251-160 не требует охлаждения из-за своей массивности. Шунт R27 используется только в тех случаях, когда планируется подключение устройства защиты от линейного режима или перегрузок. Шунт используется промышленного производства марки 75ШСМ М3 (или 75 ШС). Номинал его подбирается исходя из величины тока нагрузки регулятора. В данном случае применен шунт на 100А в связи с тем что устройство разработано для управления электродвигателем ЗДТ-31, 24В, 80А

Батарею конденсаторов целесообразно размещать в непосредственной близости к аккумулятору, а при использовании на транспортном средстве заключить в герметичный бокс.



Рис.5 Так нельзя делать силовой блок на большие токи.

Для подключения нагрузки следует применять медные проводники с сечением токопроводящей жилы из расчета 8А на 1мм² сечения, например провод из серии ПВЗ. Для подключения проводников к оборудованию и ШИ-регулятору применяются кабельные наконечники, соответствующие сечению проводника.

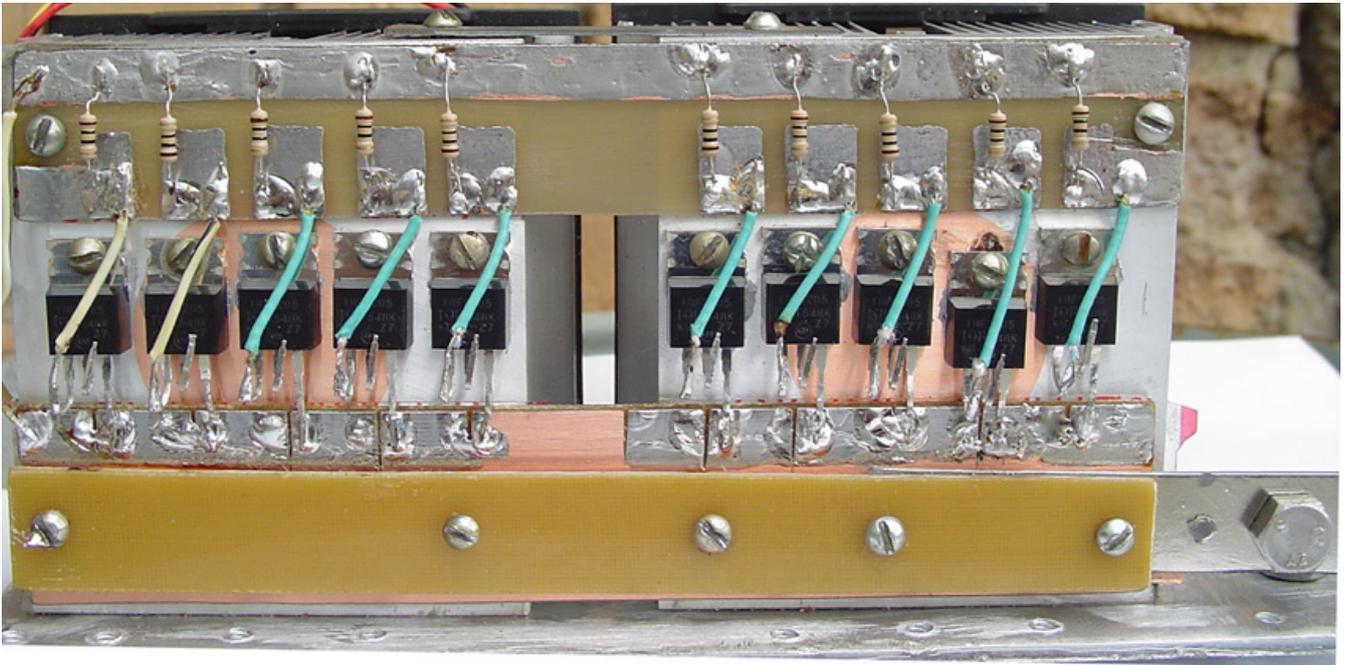


Рис.6 Так следует изготовить силовой блок на большие токи

В заключение несколько слов о теплоотводе выходных транзисторов. В качестве теплоотвода можно использовать пластины малого размера в расчете на то, что для их охлаждения будет применяться вентилятор. Охлаждение транзисторов без вентилятора требует радиаторов значительных размеров, что влечет за собой увеличение габаритов устройства. На Рис.6 приведен пример изготовления силового блока с использованием кулеров от персональных компьютеров. Транзисторы закреплены непосредственно на алюминиевый радиатор. На радиаторах установлены вентиляторы. Радиатор служит токопроводящей шиной, закреплен на медной пластине, к которой подключается силовой кабель. Шина общего провода также закреплена на радиаторах и изолирована от них фольгированным текстолитом. Фольгированный стеклотекстолит используется для припаивания истока транзисторов, обеспечивая тем самым минимум индуктивности в проводниках подключения.

В заключение несколько замечаний на случай замены мощных транзисторов VT4 – VT9. Транзисторы серии IRF имеют значительную емкость на затворе от 1200 пф для IRF 640 до 5310 пф для IRF 3808, отсюда исходит требование к резисторам R18 – R23 и усилителю DA3. При увеличении числа мощных транзисторов может потребоваться замена усилителя DA3 на более мощный, например LM 5110 или установка двухтактного усилителя мощности после DA3. Типовое подключение IR2110 допускает производить такую доработку {2}.

В ниже приведенной таблице сведены сведения для подбора микросхем и транзисторов для ШИ-регуляторов.

N N пп	Наименование	Хар-ка		Напр, В	Ток, А	F, гц	С нагр.	Задержки включ\выкл	Назначение
		м	Dip-16						
1	TL494	м	Dip-16	7-15	0.25	40кГц	0.001мк ф	40/100	Упр.двухт.каскад.
2	MC33153	м	Dip-8	12-20	2	100кГц	10 нФ	80/120	Встроен датчик тока
3	MC33035	м	Dip-16	12-20	0.1	25кГц	20 нФ	26/107	3-х фазн. Управл.
4	MC33033	м	Dip-16	12-20	0.1	25кГц	47 нФ	26/107	3-х фазн. Управл.
5	LM5110	м	Plan-8	12	5	1МГц	2 нФ	12/25	2-х кан. драйвер
6	IR4426-28	тр	Dip-8	15	3	-	1нФ	25/35	Драйвер верх/низ
7	IR3103	тр	Sip-11	400v/18v	0.7	20 кГц	12пФ	300/400	3-х фазн.двигат
8	IR2133, 2233	тр	PDip28	25	0.25	100		40/90	Драйвер высоковокл.
9	IR2131	тр	Pdip28	20	0.2			600/1300	Драйвер ключа
10	IR2130	тр	Pdip28	20	0.2			675/425нс	Драйвер ключа
11	IR2121	тр	Dip-8	18	2.0			150/180	Драйвер ключа
12	IR2110	тр	Dip-14	20	2.0			125/150	Драйвер ключа
13	IL33153	тр	Dip-8	20	2.0			80/120	Драйвер ключа
14	IR3103	тр	Sip-11		1.0	20 кГц		125/150	Спец. упр.ДС мот
15	IRFZ44NS	тр	TO-262	55	49	1МГц	1300 пФ	47/69	R=0.022 Ом
30	IRFB61N15 D	тр	TO-220	150	60	1МГц	3470 пФ	110/51 Rg=1.8	R=0.032 Ом
20	IRFP90N20 D	тр	TO-247	200	94	1МГц	6000 пФ	79/160	R=0.023 Ом
33	IRFP250N	тр	TO-247	200	30	1МГц	2159 пФ	43/33 Rg=3.9	R=0.075 Ом
34	IRFP260N	тр	TO-247	200	50	1МГц	4050 пФ	60/48 Rg=1.8	R=0.04 Ом
23	IRF640	тр	TO-220	200	18	1МГц	1200 пФ	13/27	R=0.18 Ом
24	IRF740SPB F	тр		400	10				R=0.55
25	IRF840SPB F	тр		500	8				R=0.85
29	IRF1004	тр	TO-262	40	110	1МГц	5000 пФ	30/230	R=0.0065 Ом
16	IRF1010NS PBF	тр		55	85				R=0.011
17	IRF1310NS PBF	тр		100	42				R=0.036
18	IRF2804(S, L)	тр	TO-220 TO-262	40	75	1МГц	6450 пф	120/130	R=0.002
21	IRFP2907	тр	TO-247	75	209	1МГц	13000 пФ	130/190	R=0.0045 Ом
27	IRF3205	тр	TO-262	55	110	1МГц	4000 пФ	70/100	R=0.008 Ом
28	IRF3415	тр	TO-220	150	43	1МГц	2400 пФ	55/71	R=0.042 Ом
19	IRF3710SP BF			100	57				R=0.023
26	IRF3808	тр	TO-220	75	140	1МГц	5310 пФ	68/140	R=0.007 Ом
32	IRFP3815	тр	Super2 47	150	105	1МГц	6810 пФ	130/60 Rg=1.03	R=0.015 Ом
22	IRF7389	сб	SO-8	+/-30	5	1МГц	700 пФ	13/30	R=0.058 Ом-пара
35	MTY100n10 E	тр	TO-264	100	100	1МГц	7600 пф	48/186	R=0.011 Ом
36	RFP70n06	тр	TO-247	60	70	1МГц		50/40	R=0.014 Ом
35	UC3627	м	DIL18, SOIC- 20	5-40, +5-+20	0.5	Задае- ся Rt Ct		100/100	Спец. микр управл ДСмоторами
36	40CPQ060	д ш	TO-247	60 Uобр=0.68	40ном 3200имп				Два диода Шоттки
37	40CPQ100	дш	TO-247	100 Uобр=0.61	40ном 2950имп				Два диода Шоттки
38	HFA50PA60	д	TO-247	600	25ном			25нс	Два шустрых диода

	С			Uобр=1.3	225имп				
39	63CPQ100	дш	ТО-247	100 Uобр=0.64	60ном 2200имп				Два диода Шоттки
40	83CNQ0100 А	дш	ТО-247	100 Uобр=0.67	80ном 7000имп				Два диода Шоттки
41	HFA25TB60	д	ТО-220	600 Uобр=1.3	25ном 225имп			23нс	Шустрый диод
42	HFA25PB60	д	ТО-247	600 Uобр=1.3	25ном 225имп			23нс	Шустрый диод
43	IRKCS409/1 35P(409СМ Q135)	дш	ТО- 224АВ	150 Uобр=0.96	400ном	50кГц			Диод Шоттки
44	IRKCS409/1 50P(409СМ Q150)	дш	ТО- 224АВ	150 Uобр=0.96	400ном	50кГц			Диод Шоттки
45	150ЕВU02	д	Case Styles	200 Uобр=0.99	150ном 1600имп	20кГц		45нс	Шустрый диод

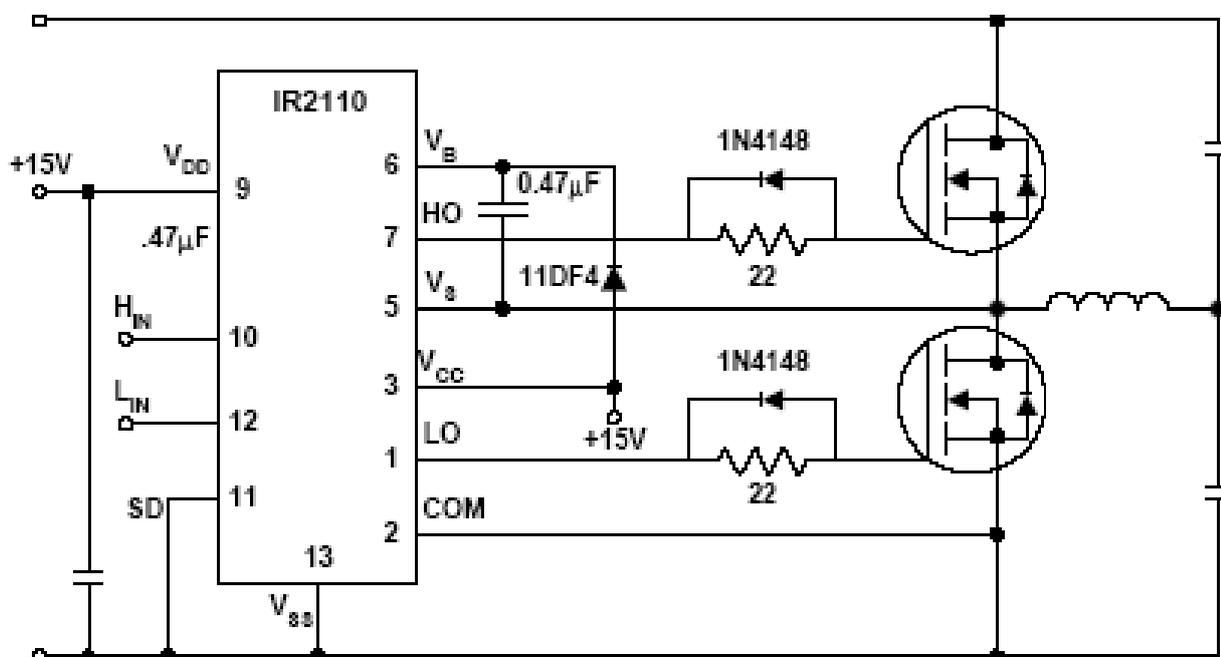


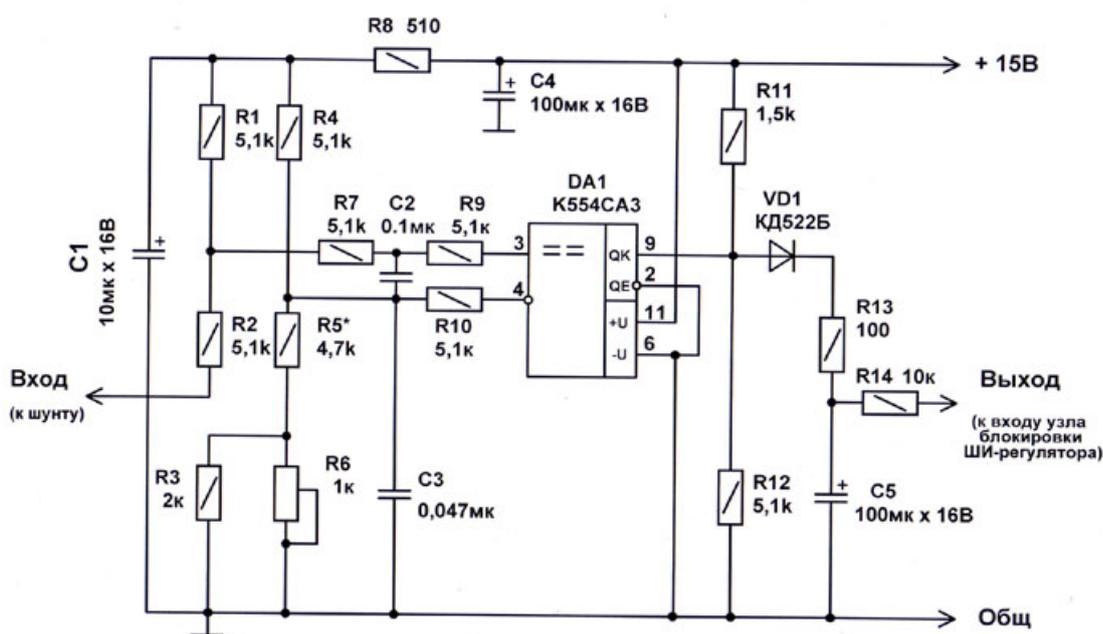
Рис.1. Типовое включение драйверов IR.

2. Устройство защиты ШИ-регулятора

В предыдущей главе рассмотрено устройство управления электродвигателем постоянного тока. Для безаварийной и долговечной работы регулятора требуется устройство защиты от повышения рабочего тока сверх установленного порога. В статье такое устройство упомянуто, но устройство и работа не рассмотрены в предположении что, регулятор во многих

случаях возможно использовать и без защиты. Описанное ниже устройство защиты разработано как автономный блок, при необходимости включаемый в состав ШИ-регулятора.

Назначение устройства заключается в защите ШИ-регулятора от превышения максимального значения рабочего тока, от замыкания в цепях нагрузки и её питания, а также в ограничении рабочего тока нагрузки. Устройство защиты играет важную роль в сохранении жизненного ресурса и качества работы аккумуляторных батарей. Выход режимов работы батарей за пределы определенных заводом-изготовителем ведет к преждевременному её износу и даже выходу из строя. Сохранность батарей обеспечивается благодаря свойству устройства защиты отключать нагрузку при превышении допустимых токов потребления, не доводя их до значений разрушающих батарею, т.е. ограничивать эти токи.



На рисунке показана принципиальная схема защитного устройства. Оно состоит из четырех узлов: измерительного моста на резисторах R1R2R4R5R6, накопителя заряда импульсов тока R7C2, компаратора DA1 и формирователя блокирующего импульса на элементах VD1,R13,C5,R14. Питается устройство от блока питания ШИ-регулятора. Для защиты цепи питания устройства от наводок мощных импульсов управления применены конденсаторы C1 и C4.

Входной сигнал устройства представляет собой последовательность импульсов переменной длительности напряжением 75 мВ, снимаемых с измерительного шунта R27 в указанной выше статье. Значения напряжения и длительности входного импульса зависят от мощности нагрузки ШИ-регулятора, напряжения питания нагрузки (электродвигателя) и сопротивления шунта R27. Отсюда следует, что при изменении основных параметров силовой установки требуется регулировка устройства защиты.

Выходной импульсный сигнал устройства формируется на конденсаторе C5 и поступает на блокирующий транзистор VT2 ШИ-регулятора. Длительность блокирующего импульса определяется емкостью конденсатора C5, сопротивлением резистора R14 и равна примерно 1 с. При необходимости эту величину можно менять исходя из назначения оборудования, где применяется ШИ-регулятор, путем изменения постоянной времени цепи C5, R14.

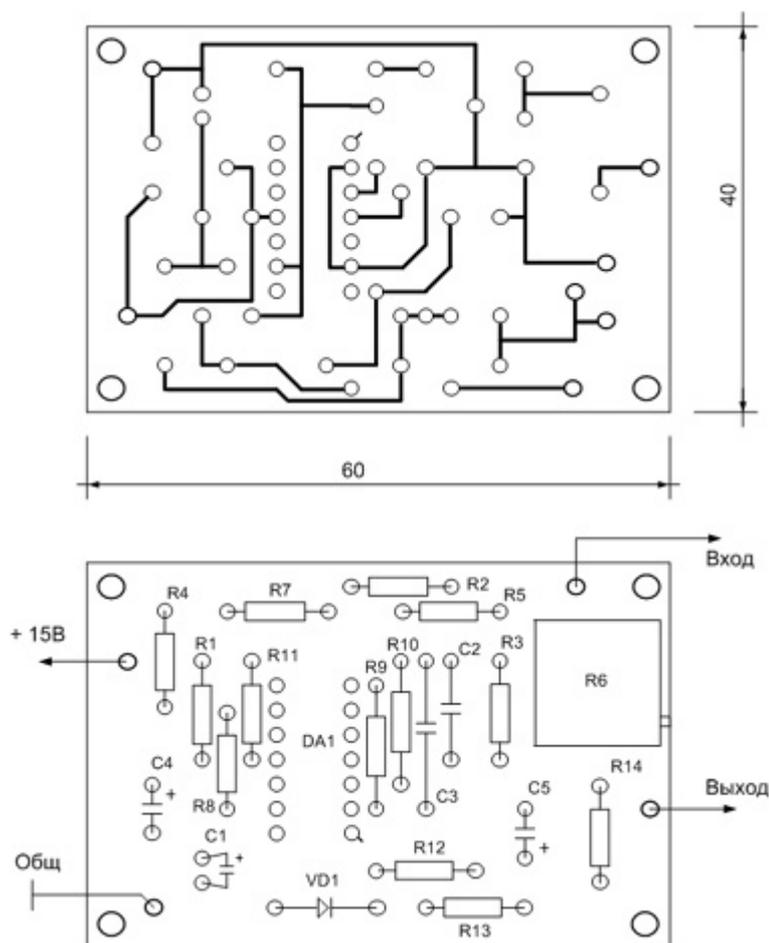
Входные импульсы поступающие на измерительный мост, изменяют напряжение в точке соединения резисторов R1 и R2 относительно образцового напряжения в точке соединения резисторов R4 и R5. Импульсы интегрирует цепь R7C2 и при достижении на конденсаторе C2 некоторого порогового напряжения, определяемого входными характеристиками компаратора DA1, происходит переключение компаратора в состояние с высоким напряжением на выходе. Напряжение на конденсаторе C2 достигнет уровня переключения компаратора тем быстрее, чем больше длительность входных импульсов. Параметры входной цепи защитного устройства выбраны так, что напряжение на конденсаторе C2 достигнет уровня переключения компаратора за время не менее 1 мс как только ток нагрузки ШИ-регулятора превысит предельный. Несколько иначе решена защита при замыкании в цепи нагрузки регулятора. В этом случае падение напряжения на шунте R27 превысит номинальное значение (в нашем случае 75 мВ), что приведет к немедленному переключению компаратора защитного устройства. Длительность импульсов в этом случае существенной роли играть не будет.

Налаживание устройства защиты сводится к установке образцового напряжения с помощью подбора резистора R5 и регулированию напряжения в точке соединения резисторов R4, R5 подстроечным резистором R6, так, чтобы устройство срабатывало при нагрузке, равной максимальной. Эту процедуру необходимо проводить на реально работающем оборудовании. Для удобства регулировки можно подключить светодиод АЛ307А, соединенный последовательно с резистором 2.2 кОм параллельно резистору R11. Погасание светодиода будет индцировать момент срабатывания устройства защиты.

Образцовое напряжение в точке соединения резисторов R4 и R5 устанавливается исходя из значения падения напряжения на шунте R27 ШИ-регулятора. В нашем случае использован шунт промышленного изготовления 75ШСМ М3 с номинальным значением 75 мВ. При изготовлении регулятора может возникнуть необходимость применения нестандартного шунта, тогда и образцовое напряжение следует установить в соответствии со значением падения напряжения на нем при номинальном токе нагрузки.

Несколько слов о формирователе блокирующего импульса. Накопительный конденсатор C5 заряжается выходным напряжением компаратора через цепь VD1R13 до напряжения около двух третей напряжения питания. Далее через резистор R14 оно поступает на вход блокировки ШИ-регулятора. При устранении перегрузки накопительный конденсатор постепенно разряжается и через некоторое время снимает блокировку. Диод VD1 предотвращает разрядку накопительного конденсатора через зарядную цепь. Элементы формирователя блокирующего импульса подоб-

раны таким образом, чтобы блокирующий импульс появлялся через 1 мс, а снимался через 1 секунду.



Устройство защиты собрано на печатной плате размерами 60x40 мм из фольгированного с одной стороны стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Плата рассчитана на использование резисторов МЛТ мощностью 0,25 Вт, керамических конденсаторов КМ и оксидных конденсаторов К50-35, подстроечного резистора СП5-2В.

Налаживание устройства, собранного из исправных деталей заключается только в установке порога срабатывания устройства защиты резистором R6. Для этого собирают оборудование с которым будет работать устройство, и подключают его к ШИ-регулятору.

Последовательно с шунтом ШИ-регулятора R27 подключают контрольный амперметр. Электродвигатель выводят на предельный режим работы и резистором R6 устанавливают момент срабатывания защитного устройства. При необходимости изменить время задержки включения нагрузки следует подобрать конденсатор C5.

Устройство защиты можно разместить на общей плате с ШИ-регулятором мощного электродвигателя. Место для него необходимо выбрать подальше от цепей и деталей, через которые течет большой импульсный ток, и, если необходимо, воспользоваться экранированием.

В заключение можно добавить, что вопрос размещения элементов электронных устройств управления в силовой электронике весьма актуален. В каждом конкретном случае необходимо тщательно продумать размещение компонентов этой системы. В качестве примера можно привести размещение батареи конденсаторов C6 – C13 в ШИ-регуляторе из упомянутой выше статьи. Наиболее оптимальным является размещение 90% емкости этих батарей в непосредственной близости к аккумуляторным батареям, а 10% непосредственно около блока регулятора или внутри его с целью компенсации влияния индуктивности проводников мощных токов.

Примечание: Обе главы опубликованы в журнале «Радио» как отдельные статьи. Смотри 2008, N3 и 2009, N2.

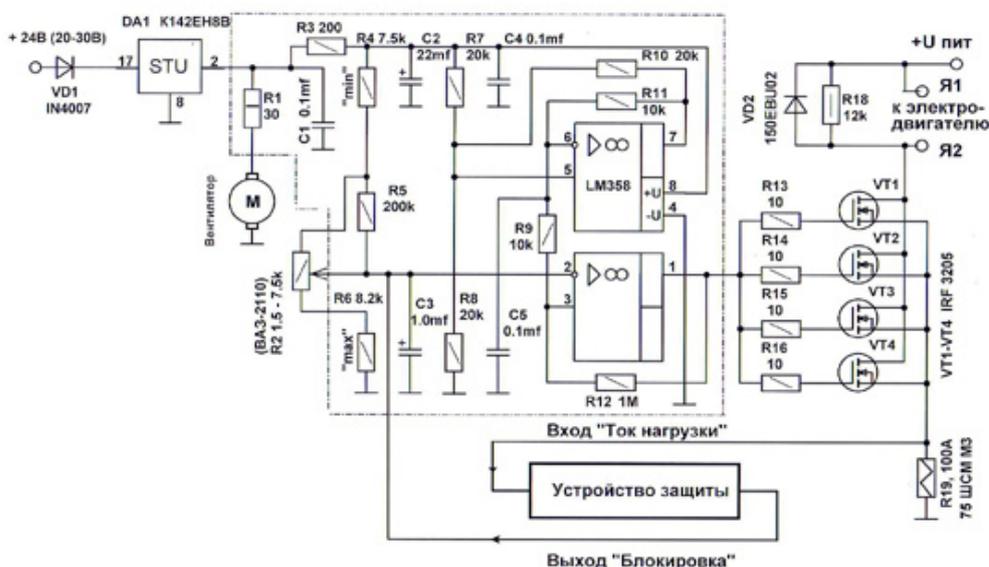
3. Ши-регулятор на основе операционного усилителя LM358

Вариант 1:

Еще один вариант ШИ-регулятора разработан на базе операционного усилителя LM358 (отечественный аналог КР1040УД1).

На нем собран широтно-импульсный генератор и с него же берется импульс управления мощными транзисторами регулирующими нагрузку.

Устройство питается от аккумуляторной батареи 24 вольта. Напряжение понижается до величины 15 вольт с помощью стабилизатора К142ЕН8В. Вентилятор радиатора запитывается через резистор величиной 30 ом. В цепи управляющих затворов транзисторов включены резисторы 10 ом. Хотя существенной необходимости в них нет. Результаты работы одинаковы. По-крайней мере до сих пор не обнаружено разницы.



За основу взят регулятор NM4511 продающийся на www.masterkit.ru.

Устройство работает следующим образом. При включении питания на конденсаторе C5 емкостью 0.1 мкф, подключенным к выводу 6 микросхемы нарастает напряжение. После достижения уровня определенного напряжением на выводе 5, на выходе 7 операционного усилителя DA2 появляется нарастающее напряжение. При этом изменяется напряжение на входе 5 путем вольтодобавки в точке соединения резисторов R7 и R8. Добавка производится через резистор R10 с выхода 7 операционного усилителя. Наконец напряжение на конденсаторе достигает такого уровня, что происходит

триггерное переключение операционного усилителя и процесс на конденсаторе начинается в обратную сторону. Второй операционный усилитель микросхемы выполняет функцию компаратора и ШИМ формирователя. Крутизна фронтов полученного сигнала достаточна для четкого переключения транзисторов IRF3205.

Схема несколько переделана под резистор положения дроссельной заслонки Жигулей.

Мощных транзисторов не желательно брать более 4-х, хотя можно и поэкспериментировать.

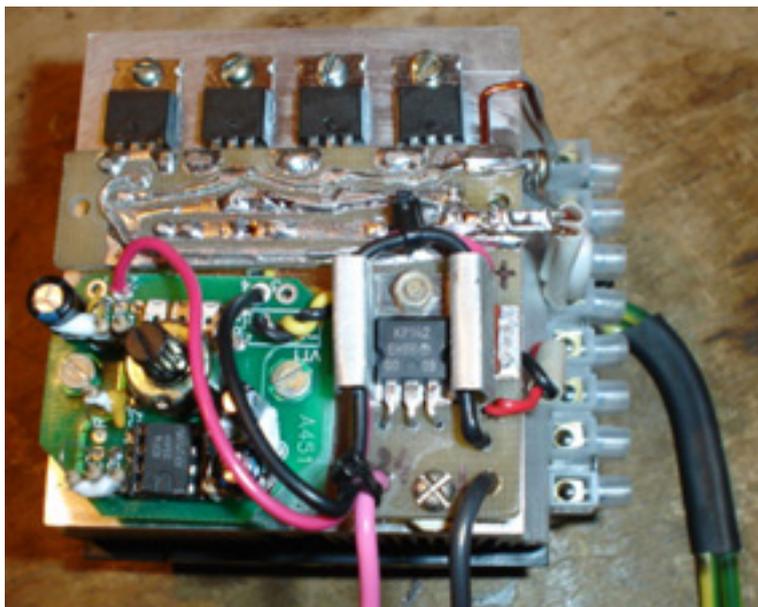
Мощности микросхемы может не хватить. Сгорит.

Разработка части устройства с мощными транзисторами требует особой аккуратности.

Незначительные ошибки в конструировании приведут к тому, что могут появиться условия когда отдельные транзисторы примут максимальную нагрузку, что приведет к их перегреву и преждевременному выходу из строя.

Представленное выше (Глава 2) устройство защиты необходимо видоизменить в связи с тем, что на движок необходимо подать закрывающее напряжение или соединить его с плюсовым проводом питания .

ШИ-регулятор проходит испытания.



Так Ши-регулятор выглядит.

Резисторы цепей затворов находятся снизу платы. Проводники нагрузки на печатной плате усилены путем припаивания к ним медного провода диаметром 1,25 мм. Практика применения показала, что усиление надо делать более крупным проводом. И подключение более толстым кабелем.

Интегральный стабилизатор установлен на радиатор.

Все соединения выполнены через клеммный зажим с дублированием клемм.

Для упрощения задачи использовал продаваемый модуль регулятора. Он виден на рисунке. В качестве радиатора транзисторов и основания всего прибора используется радиатор охлаждения от процессора компьютера. Вентилятор находится снизу.

Вариант 2:

Описания не требуется. Все описано выше. Стоит заметить, что узел питания на интегральном стабилизаторе устранен. Ограничимся резистивно-емкостными фильтрами. Для управления силовыми транзисторами применен интегральный драйвер. Ниже представлены печатная плата и схема регулятора. На плате размещена часть устройства обведенная на схеме штрих-пунктирной линией.

Резисторы затворов ключей располагаются в непосредственной близости ко ключам. Соединение резисторов с платой управления исключительно парой свитых между собой проводов.

Резисторы R1 и R2 необходимо подобрать. Резистор R2 подобрать под конкретный вентилятор, так чтобы напряжение питания вентилятора было в пределах 10-12 вольт. А вот резистор R1 подобрать так, чтобы напряжение питания на микросхемах было в пределах 18-20 вольт. Ибо напряжение питания контроллера IR2110 ограничено напряжением 20 вольт. В случае, если вентилятор не будет применяться, в это место схемы включить стабилитрон на 18-20 вольт.

Конденсаторы C6-C10 необходимо разместить отдельно от контроллера. Желательно сделать конденсаторный блок так, чтобы он был проходным для силовых проводов.

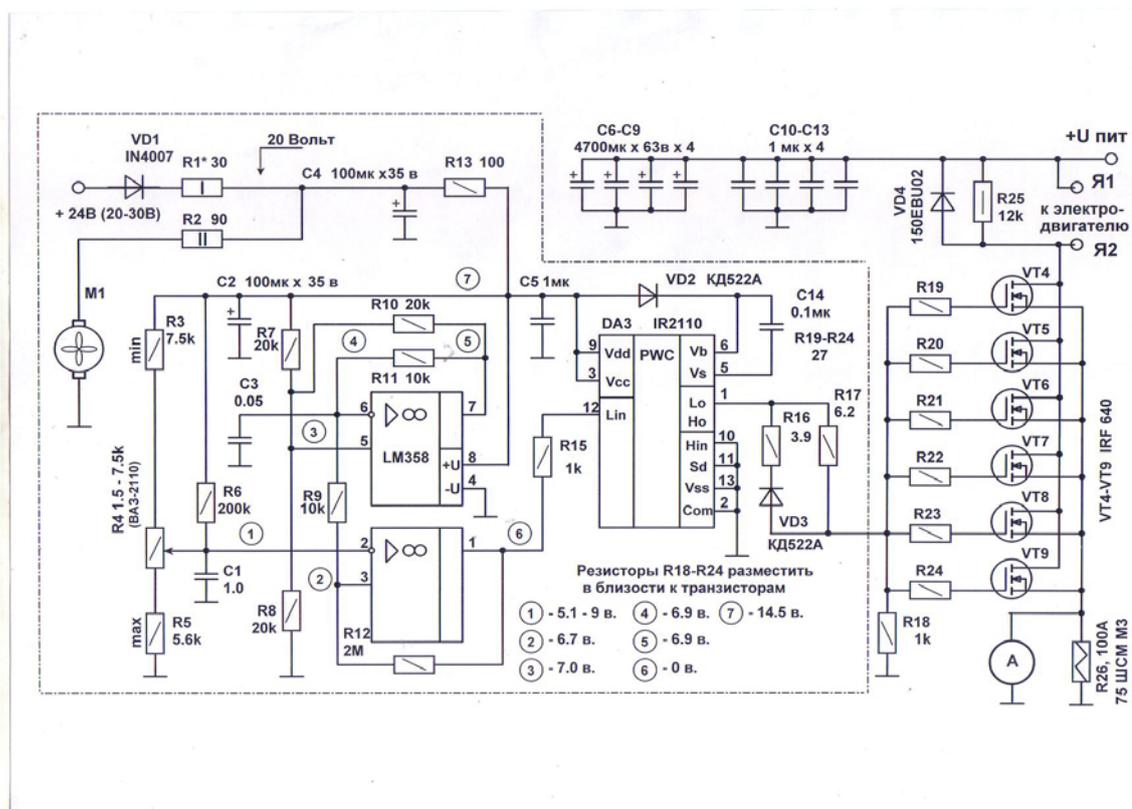
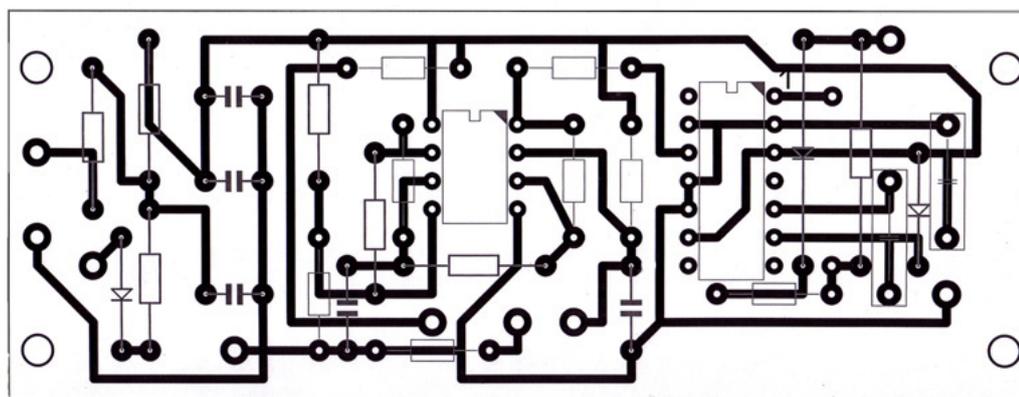
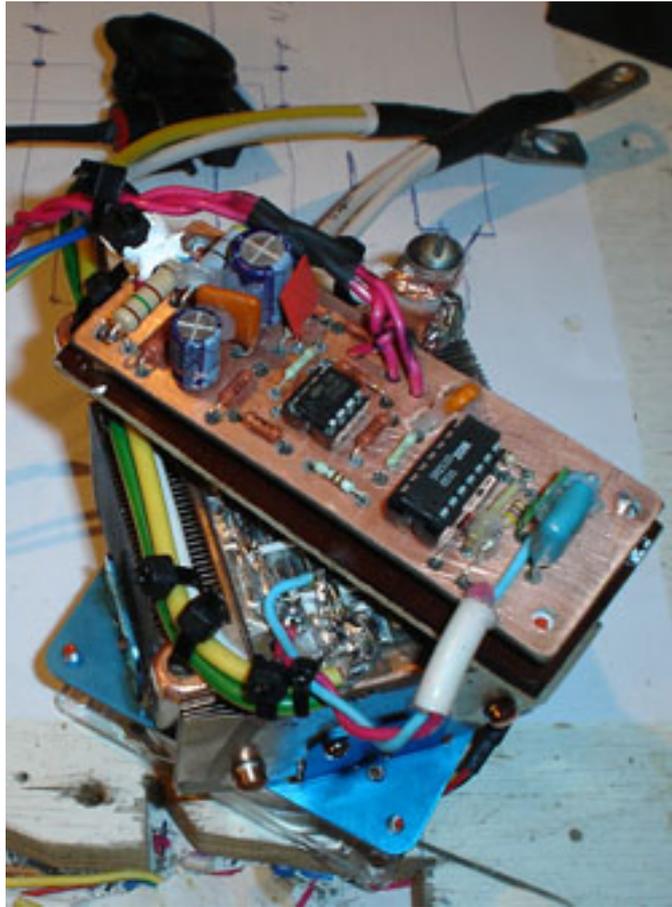


Схема контроллера



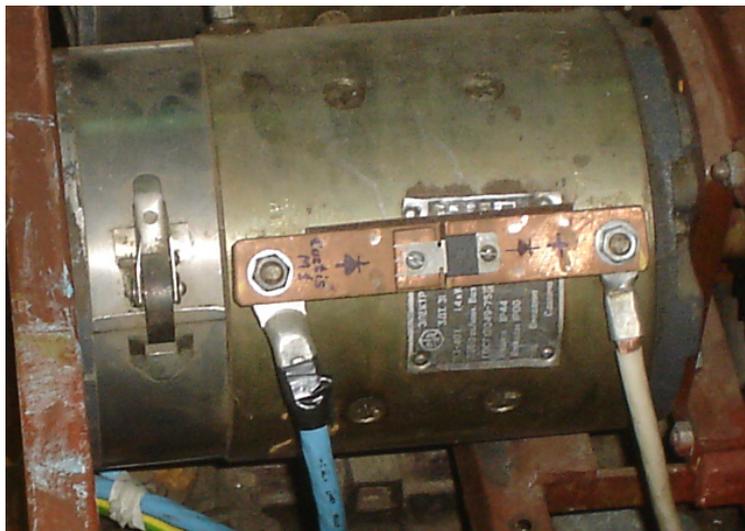
Эскиз печатной платы



Вывод 1 драйвера соединить перемычкой с сточкой соединения резисторов R16,R17.

Диод демпферный 150EВU02 разместить по ближе к двигателю, а еще лучше на его клеммах (см. фотографию).

Две половинки медной полосы прикручены винтами к текстолитовой подложке с небольшим зазором. Затем уже крепится диод. Медные полоски служат и теплоотводом и электрическим контактом соединения с выводами электродвигателя. Как показывает практика на диоде выделяется значительное количество тепла.



Способ размещения демпферного диода

Литература:

1. Laszlo Kiraly, Информационные материалы компании International Rectifier.
Решение проблем помехоустойчивости мощных высокочастотных ИС,
управляющих мощными каскадами.
2. Data Sheet PD-6.011E Driver IR2110
3. Data Sheet PD-94291B Automotive MOSFET IRF 3808
4. Корхов И.Ю. интернет-сайт [http:// www.evr.boom.ru](http://www.evr.boom.ru)
5. Семенов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов.
М. Солон-Р. 2001.
6. Мурадханян Э. Силовая электроника – это очень интересно, но не очень просто.
Радио, 2007, № 5