

# Модульные драйверы IGBT серии МД – решение всех проблем управления мощными транзисторами

**Российская компания «Электрум АВ» разработала и освоила производство серии модульных приборов для управления мощными MOSFET- и IGBT-транзисторами практически всех типов, присутствующих на рынке.**

Сегодня на рынке силовой и преобразовательной техники широко представлены IGBT-транзисторы и модули различных фирм. Также достаточно широко предлагаются и драйверы для этих транзисторов. Микросхемы HCPL316J, драйверы фирмы IR, драйверы Powerex, CT Concept, Semikron и другие применяются разработчиками в различных системах. Однако опыт их применения вызывает много вопросов, а иногда и серьезных нареканий, связанных с отказами систем, причиной которых являются недостаточные возможности драйвера по защите транзистора. Специалистами фирмы «Электрум АВ» проанализированы различные варианты применений IGBT-модулей с драйверами различных фирм, выявлены их сильные и слабые стороны и на базе этого опыта разработана и освоена серия модульных приборов для управления мощными MOSFET- и IGBT-транзисторами практически всех типов, присутствующих на рынке. Внешний вид драйверов представлен на рис. 1.

Основными особенностями этих драйверов являются:

- малогабаритная модульная конструкция;
- быстродействующая оптронная схема управления затворами с высоким напряжением изоляции;
- защита транзистора по уровню падения напряжения на нем;
- возможность управления одним, двумя транзисторами или полумостом из двух транзисторов;
- наличие всех типов защит;
- возможность настройки параметров всех защитных функций;

- наличие встроенных DC/DC-преобразователей с высоковольтной изоляцией большой мощности;
- устойчивость к большим величинам  $dU/dt$ ;
- устойчивость к большой напряженности импульсного или синусоидального электромагнитного воздействия;
- возможность управления транзисторами до 2000 А и до 4500 В.
- возможность обеспечить частоты коммутации силовых транзисторов до 100 кГц.

Наиболее близкими к этим драйверам являются драйверы SKHI21 и SKHI22 фирмы Semikron, но они не обладают всей полнотой возможностей драйверов серии МД. В таблице представлена вся номенклатура этих драйверов с их основными параметрами и функциональными возможностями.

МД — модуль драйвера, выполненный в герметичном пластмассовом корпусе. ДР — модуль МД, установленный на печатную плату, на которой размещены необходимые настроечные элементы и разъемы для подключения управляемых транзисторов и сигналов управления.

Драйверы с питанием 15 и 5 В различаются алгоритмом обработки сигнала аварии. При поступлении сигнала аварии происходит плавное выключение управляемого транзистора и блокировка работы драйвера. Разблокирование драйвера на 5 В происходит при поступлении нулевого уровня на вход драйвера. Для выхода из заблокированного состояния драйвера на 15 В необходимо выполнение двух условий: окончание времени блокировки, задаваемого внутренним таймером, и поступление нулевого уровня на вход драйвера. Время блокировки, задаваемое внутренним таймером, может регулироваться только в ДР118П-А от 1 до 300 мс (для прочих 100 мс).

Драйвер обеспечивает следующие функции контроля и защиты транзисторов (см. последний столбец таблицы):

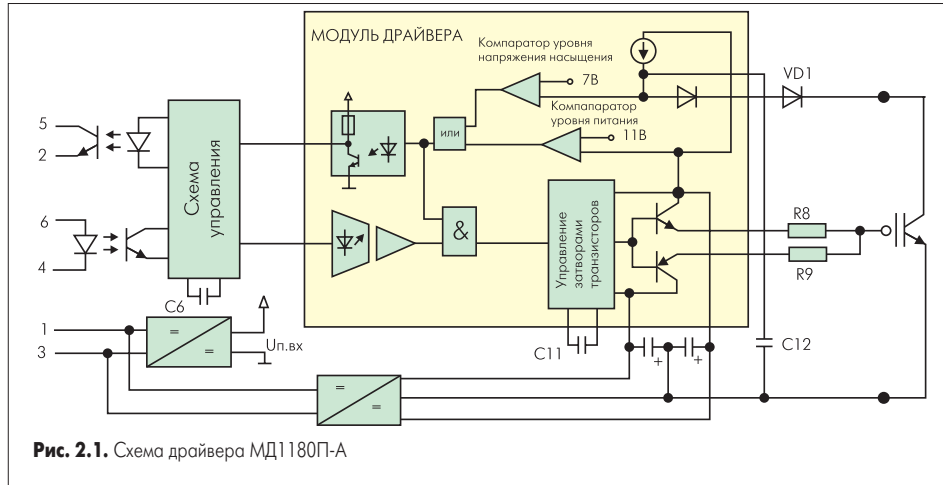
1. Контроль напряжения насыщения на коллекторе управляемого транзистора.
2. Регулировка порога защитного отключения по напряжению насыщения.
3. Регулировка длительности запрета контроля напряжения насыщения на время активного состояния управляемого транзистора от 2,8 до 100 мкс.



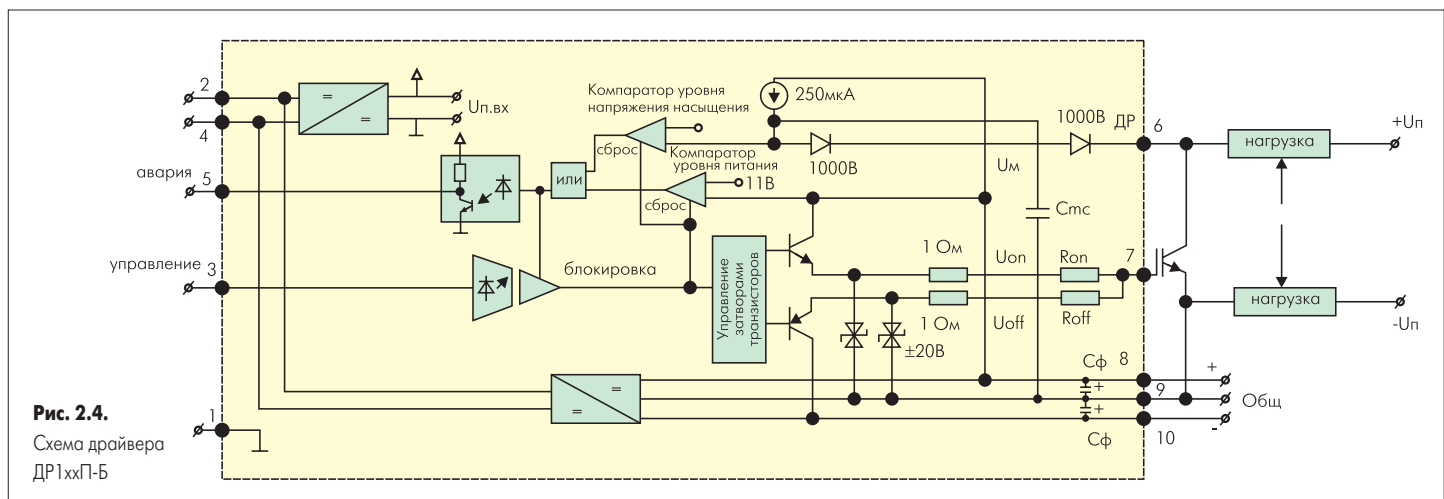
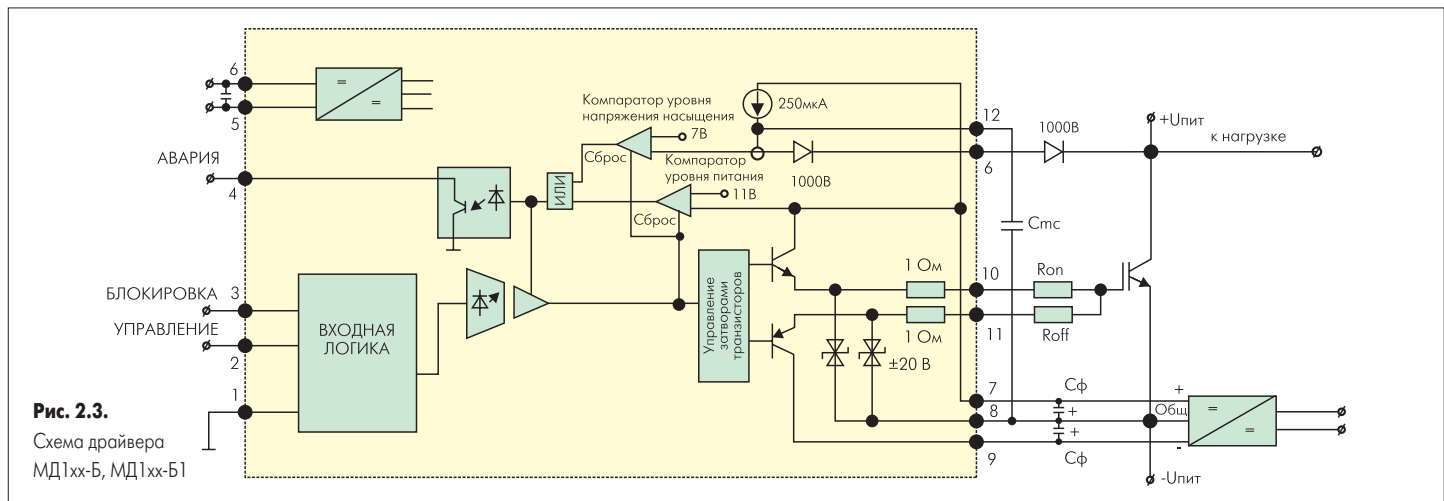
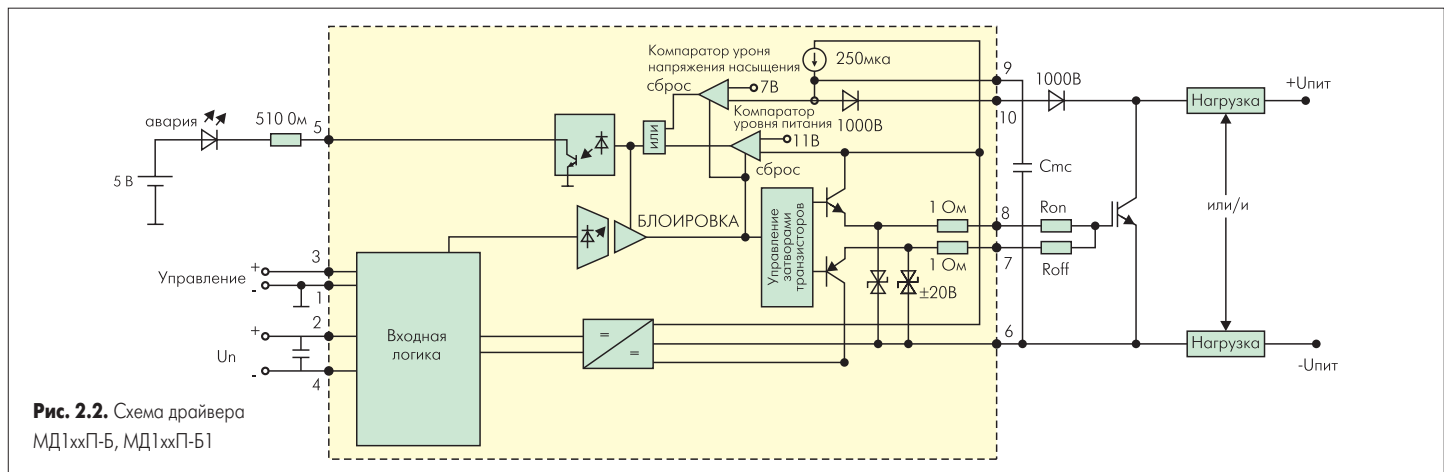
Рис. 1. Модульные драйверы серии МД

Таблица

Тип прибора	Количество каналов	Упит вх, В	Входная логика	Уиз (пост. 1 мин), тах, В	Ивых имп тах, А	Упит DC/DC, В	fком, кГц	Pdc-dc, Вт	U <sub>крит</sub> мес, В	U <sub>крит</sub> мес, В	Функциональные особенности (№ п)
МД115П	1	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	1,5	+18/-7	100	5	6,3	1000	1, 4, 6, 7, 9, 10, 14, 15
МД150П	1	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	5	+18/-7	100	5	6,3	1000	
МД180П	1	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	8	+18/-7	100	5	6,3	1000	
МД115	1	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	1,5	-	100	-	6,3	1000	1, 4, 6, 7, 9, 10, 15
МД150	1	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	5	-	100	-	6,3	1000	
МД180	1	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	8	-	100	-	6,3	1000	
2МД115П	2 независ	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	1,5	+18/-7	100	5	6,3	1000	1, 4, 6, 7, 9, 10, 14, 15
2МД150П	2 независ	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	5	+18/-7	100	5	6,3	1000	
2МД180П	2 независ	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	8	+18/-7	100	5	6,3	1000	
2МД115	2 независ	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	1,5	-	100	-	6,3	1000	1, 4, 6, 7, 9, 10, 15
2МД150	2 независ	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	5	-	100	-	6,3	1000	
2МД180	2 независ	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	8	-	100	-	6,3	1000	
МД215П	2 п/мост	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	1,5	+18/-7	100	5	6,3	1000	1, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15
МД250П	2 п/мост	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	5	+18/-7	100	5	6,3	1000	
МД280П	2 п/мост	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	8	+18/-7	100	5	6,3	1000	
МД215	2 п/мост	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	1,5	-	100	-	6,3	1000	1, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 15
МД250	2 п/мост	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	5	-	100	-	6,3	1000	
МД280	2 п/мост	5	ТТЛ/КМОП5В	4000	8	-	100	-	6,3	1000	
МД115П-Б	1	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	1,5	+18/-7	100	6	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 14, 15
МД150П-Б	1	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	5	+18/-7	100	6	5,6	2000	
МД180П-Б	1	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	8	+18/-7	100	6	5,6	2000	
МД115-Б	1	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	1,5	-	100	-	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 15
МД150-Б	1	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	5	-	100	-	5,6	2000	
МД180-Б	1	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	8	-	100	-	5,6	2000	
МД115П-Б1	1	15	КМОП15В	7500	1,5	+18/-7	100	6	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 14, 15
МД150П-Б1	1	15	КМОП15В	7500	5	+18/-7	100	6	5,6	2000	
МД180П-Б1	1	15	КМОП15В	7500	8	+18/-7	100	6	5,6	2000	
МД115-Б1	1	15	КМОП15В	7500	1,5	-	100	-	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 15, 14
МД150-Б1	1	15	КМОП15В	7500	5	-	100	-	5,6	2000	
МД180-Б1	1	15	КМОП15В	7500	8	-	100	-	5,6	2000	
ДР115П-Б	1	15	ТТЛ/КМОП15В	7500	1,5	+18/-7	100	6	5,6-2	2000-5000	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 4
ДР150П-Б	1	15	ТТЛ/КМОП15В	7500	5	+18/-7	100	6	5,6-2	2000-5000	
ДР180П-Б	1	15	ТТЛ/КМОП15В	7500	8	+18/-7	100	6	5,6-2	2000-5000	
МД215П-Б	2 п/мост	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	1,5	+18/-7	100	6	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 11, 13, 14
МД250П-Б	2 п/мост	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	5	+18/-7	100	6	5,6	2000	
МД280П-Б	2 п/мост	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	8	+18/-7	100	6	5,6	2000	
МД215-Б	2 п/мост	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	1,5	-	100	-	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 11, 13
МД250-Б	2 п/мост	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	5	-	100	-	5,6	2000	
МД280-Б	2 п/мост	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	8	-	100	-	5,6	2000	
МД215П-Б1	2 п/мост	15	КМОП15В	7500	1,5	+18/-7	100	6	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 11, 13, 14
МД250П-Б1	2 п/мост	15	КМОП15В	7500	5	+18/-7	100	6	5,6	2000	
МД280П-Б1	2 п/мост	15	КМОП15В	7500	8	+18/-7	100	6	5,6	2000	
МД215-Б1	2 п/мост	15	КМОП15В	7500	1,5	-	100	-	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 11, 13
МД250-Б1	2 п/мост	15	КМОП15В	7500	5	-	100	-	5,6	2000	
МД280-Б1	2 п/мост	15	КМОП15В	7500	8	-	100	-	5,6	2000	
ДР215П-Б	2 п/мост	15	ТТЛ/КМОП15В	7500	1,5	+18/-7	100	6	5,6-2	2000-5000	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 13, 14
ДР250П-Б	2 п/мост	15	ТТЛ/КМОП15В	7500	5	+18/-7	100	6	5,6-2	2000-5000	
ДР280П-Б	2 п/мост	15	ТТЛ/КМОП15В	7500	8	+18/-7	100	6	5,6-2	2000-5000	
2МД115П-Б	2 независ.	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	1,5	+18/-7	100	6	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 14, 15
2МД150П-Б	2 независ.	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	5	+18/-7	100	6	5,6	2000	
2МД180П-Б	2 независ.	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	8	+18/-7	100	6	5,6	2000	
2МД115-Б	2 независ.	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	1,5	+18/-7	100	-	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 15
2МД150-Б	2 независ.	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	5	+18/-7	100	-	5,6	2000	
2МД180-Б	2 независ.	15	ТТЛ/КМОП5В	7500	8	+18/-7	100	-	5,6	2000	
2МД115П-Б	2 независ.	15	КМОП15В	7500	1,5	+18/-7	100	6	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 14, 15
2МД150П-Б	2 независ.	15	КМОП15В	7500	5	+18/-7	100	6	5,6	2000	
2МД180П-Б	2 независ.	15	КМОП15В	7500	8	+18/-7	100	6	5,6	2000	
2МД115-Б	2 независ.	15	КМОП15В	7500	1,5	-	100	-	5,6	2000	1, 4, 6, 7, 15
2МД150-Б	2 независ.	15	КМОП15В	7500	5	-	100	-	5,6	2000	
2МД180-Б	2 независ.	15	КМОП15В	7500	8	-	100	-	5,6	2000	
МД115П-40	1	15	ТТЛ/КМОП5В	10000	1,5	+18/-7	20	5	4,9	3000	1, 4, 6, 7, 9, 10, 14, 15
ДР1180П-А	1	15	КМОП15В	7500	18	+18/-7	50	6	6,3-4,9	1000-3000	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 14, 16



4. Запрет контроля напряжения насыщения на силовом транзисторе при активном состоянии управляемого транзистора на минимальное время 1 мкс (с возможностью регулирования времени).
5. Регулировка времени включения-выключения управляемого транзистора.
6. Контроль уровня питающих напряжений драйвера (встроенный компаратор с порогом 11 В).
7. Блокировка управления на время аварии ( $U_{кз} > U_{крит}$ ).
8. Регулировка длительности блокировки от 1 до 500 мс на время аварии.
9. Автосброс схемы по управляющему сигналу (без времени блокировки).
10. Наличие инверсного входа.



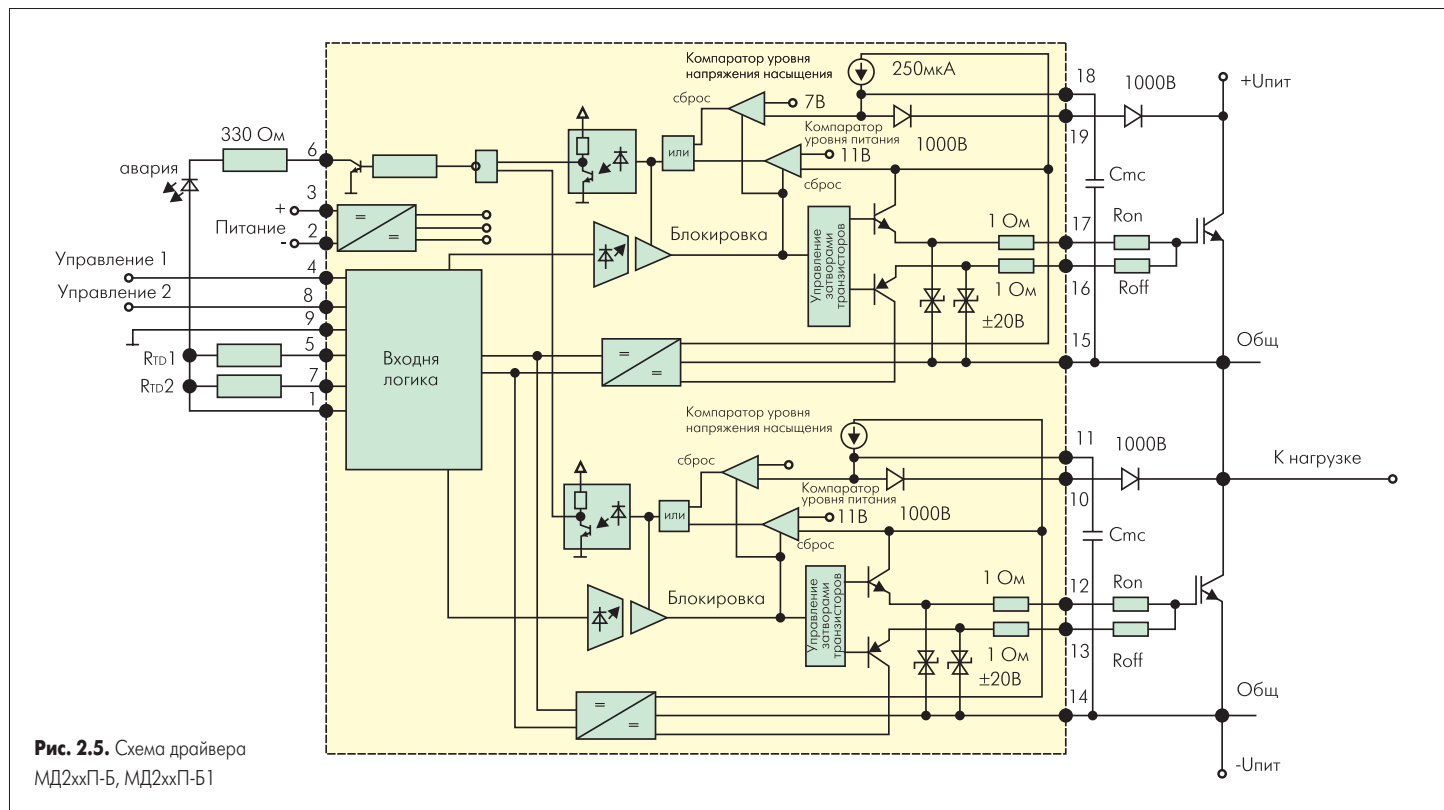


Рис. 2.5. Схема драйвера МД2ххП-Б, МД2ххП-Б1

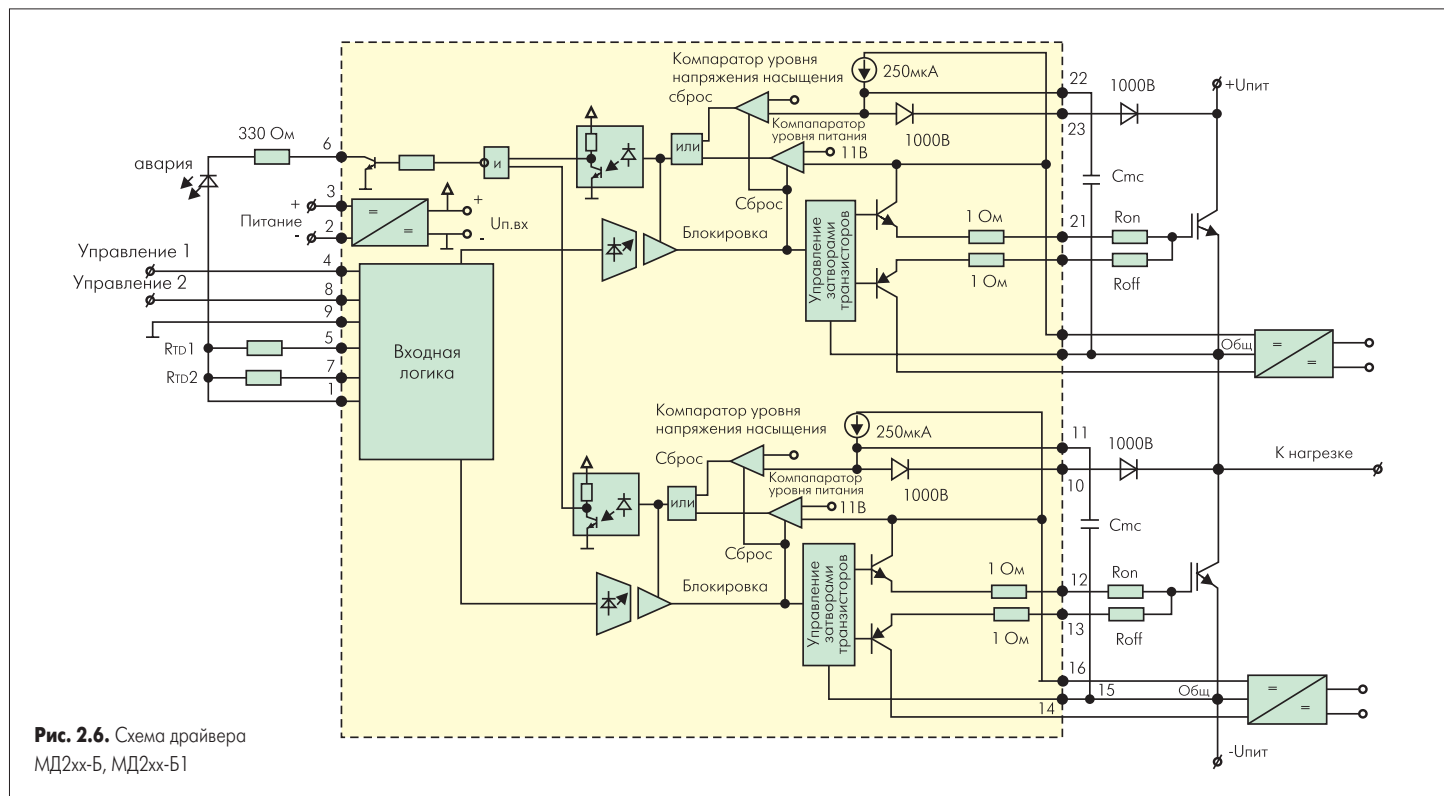


Рис. 2.6. Схема драйвера МД2хх-Б, МД2хх-Б1

11. Наличие входов регулировки задержки переключения верхнего и нижнего плеча.
12. Регулировка задержки переключения от 1 до 100 мкс верхнего и нижнего плеча.
13. Блокировка одновременного включения верхнего и нижнего плеча.
14. Наличие встроенного преобразователя DC/DC.
15. Плавное аварийное выключение управляемого транзистора за время 7 мкс.
16. Регулировка времени плавного «аварийного» выключения от 7 до 15 мкс.

На рис. 2 представлены структурные схемы драйверов.

Кроме модульных драйверов выпускаются также драйверы в виде печатной платы с установленными на ней модулями МД и возможностью настройки всех параметров цепей защиты и управления драйвера, которые позволяют обеспечить надежную работу управляемых транзисторов во всем диапазоне режимов и условий применения. Внешний вид драйвера ДР1180П-А показан на рис. 3.

Основной причиной проблем, возникающих при применении мощных транзисторов и драйверов, является недостаточный учет взаимовлияния драйвера и транзистора как элементов электротехнической системы.



Рис. 3. Драйвер ДР1180П-А

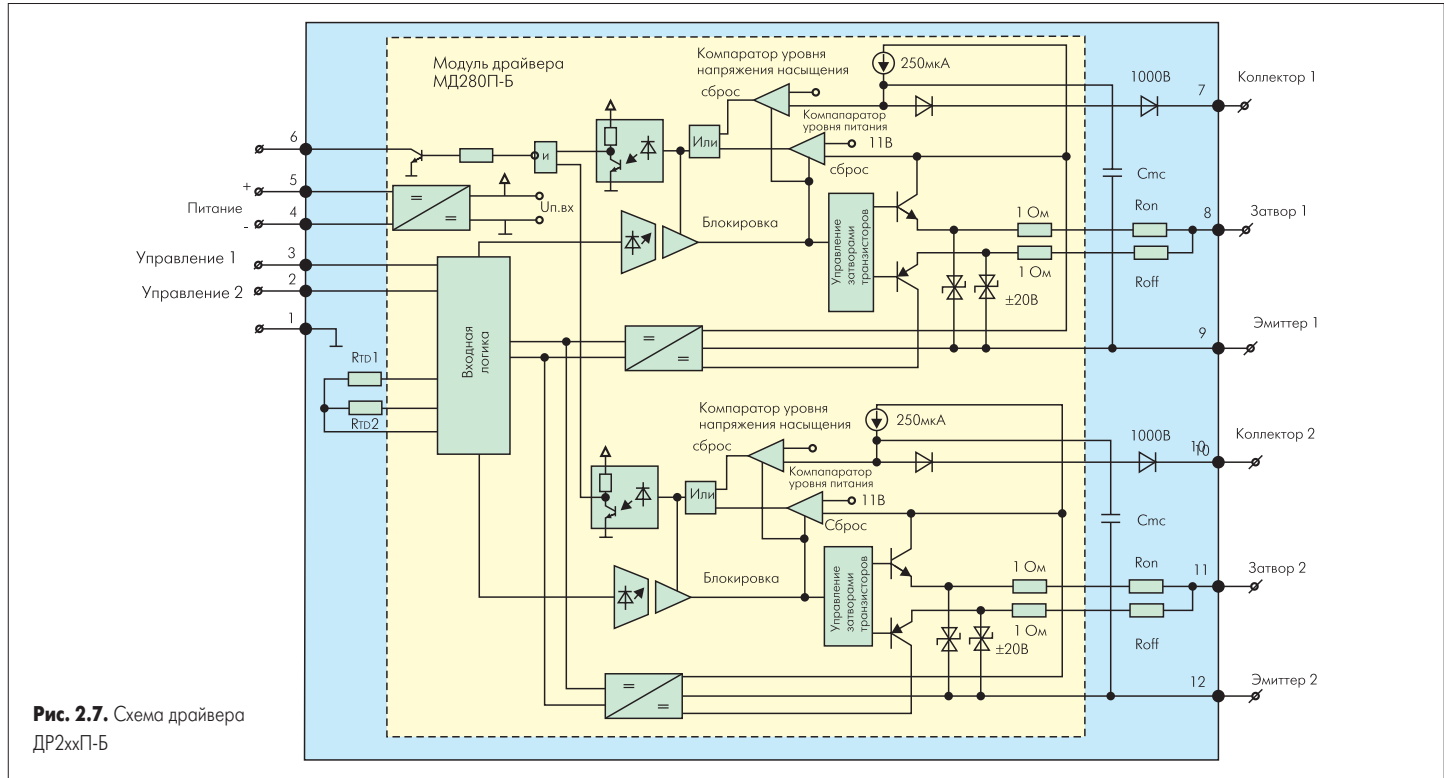


Рис. 2.7. Схема драйвера ДР2ххП-Б

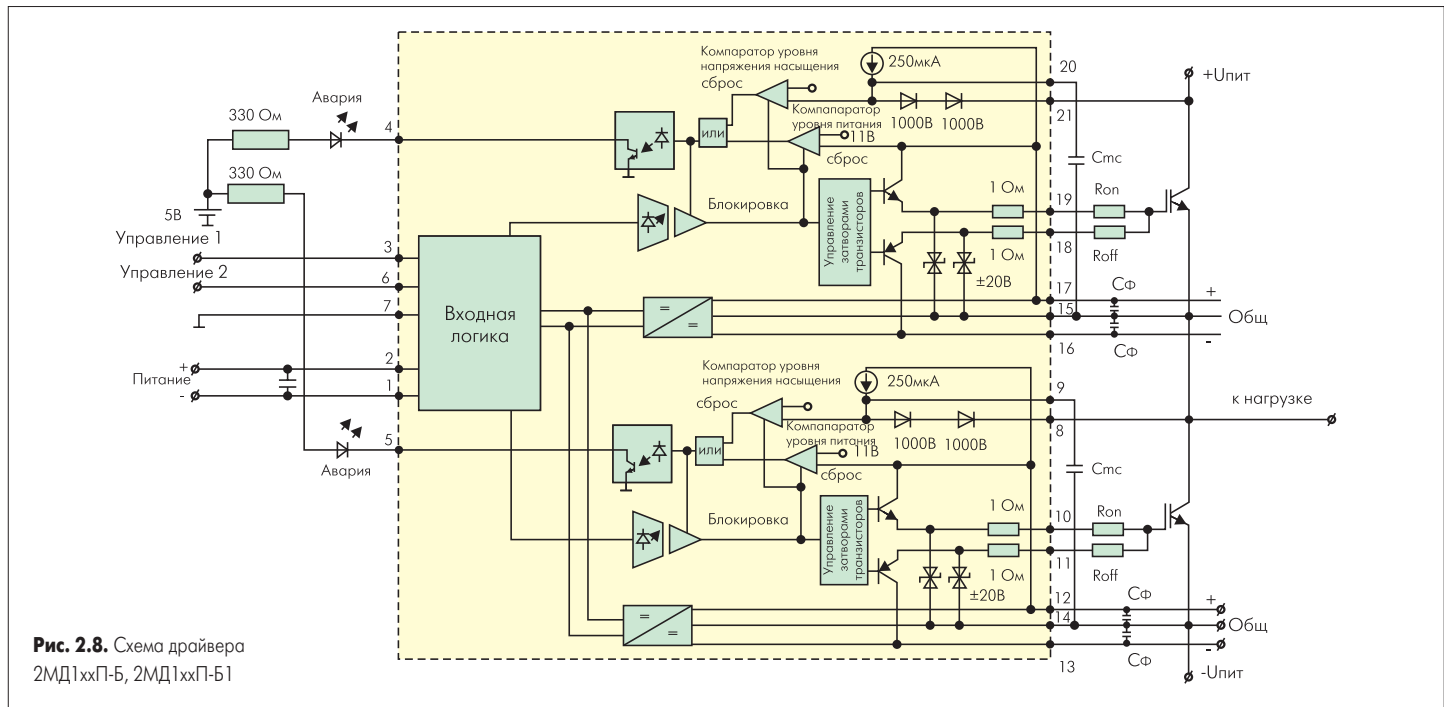


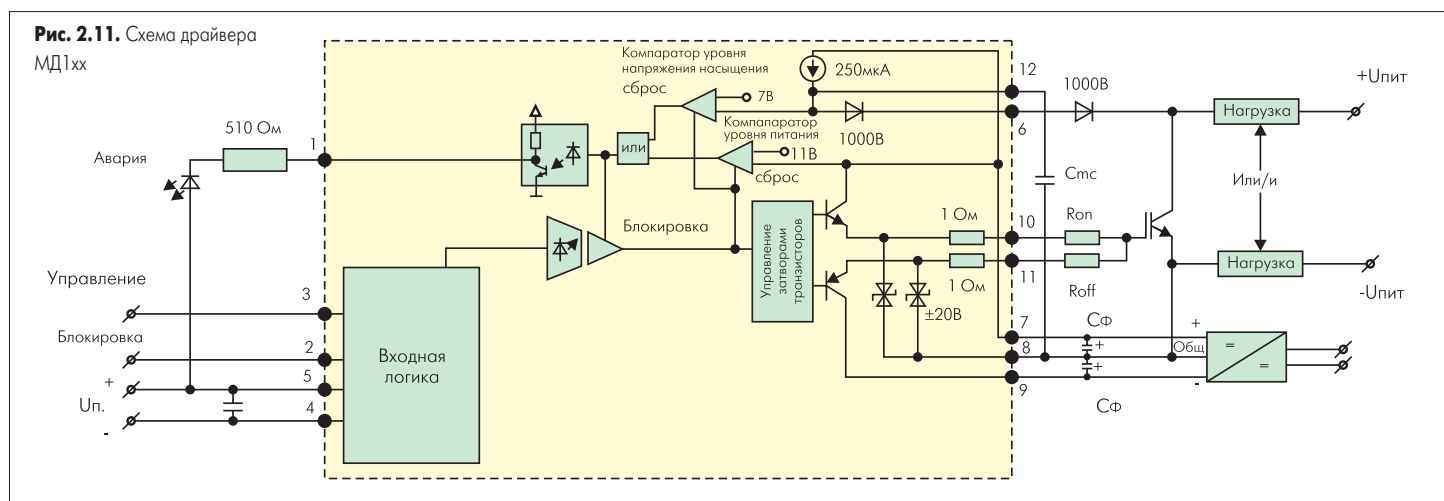
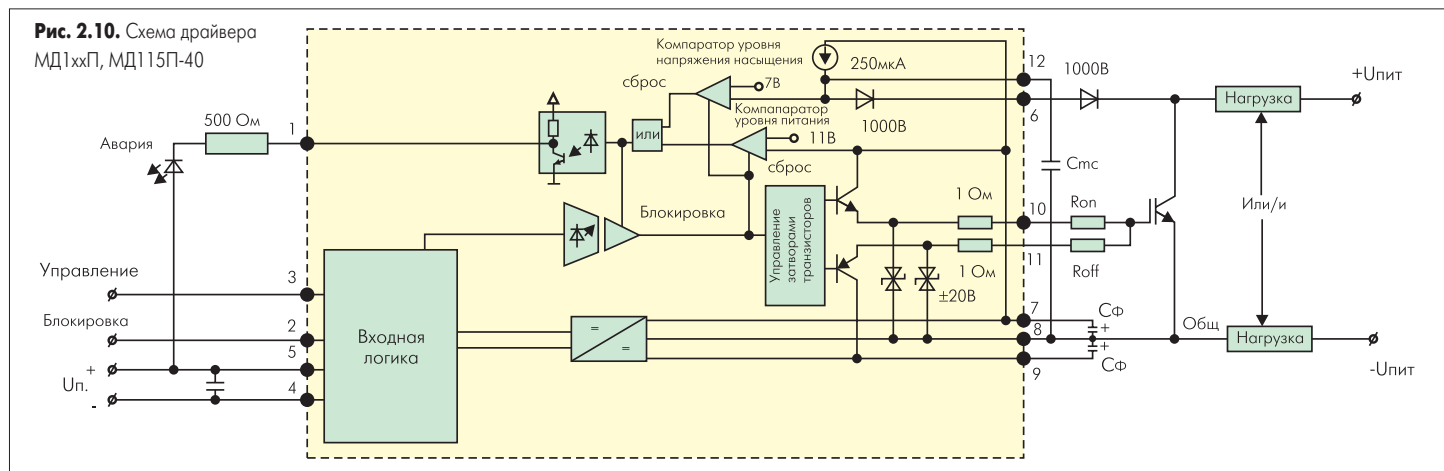
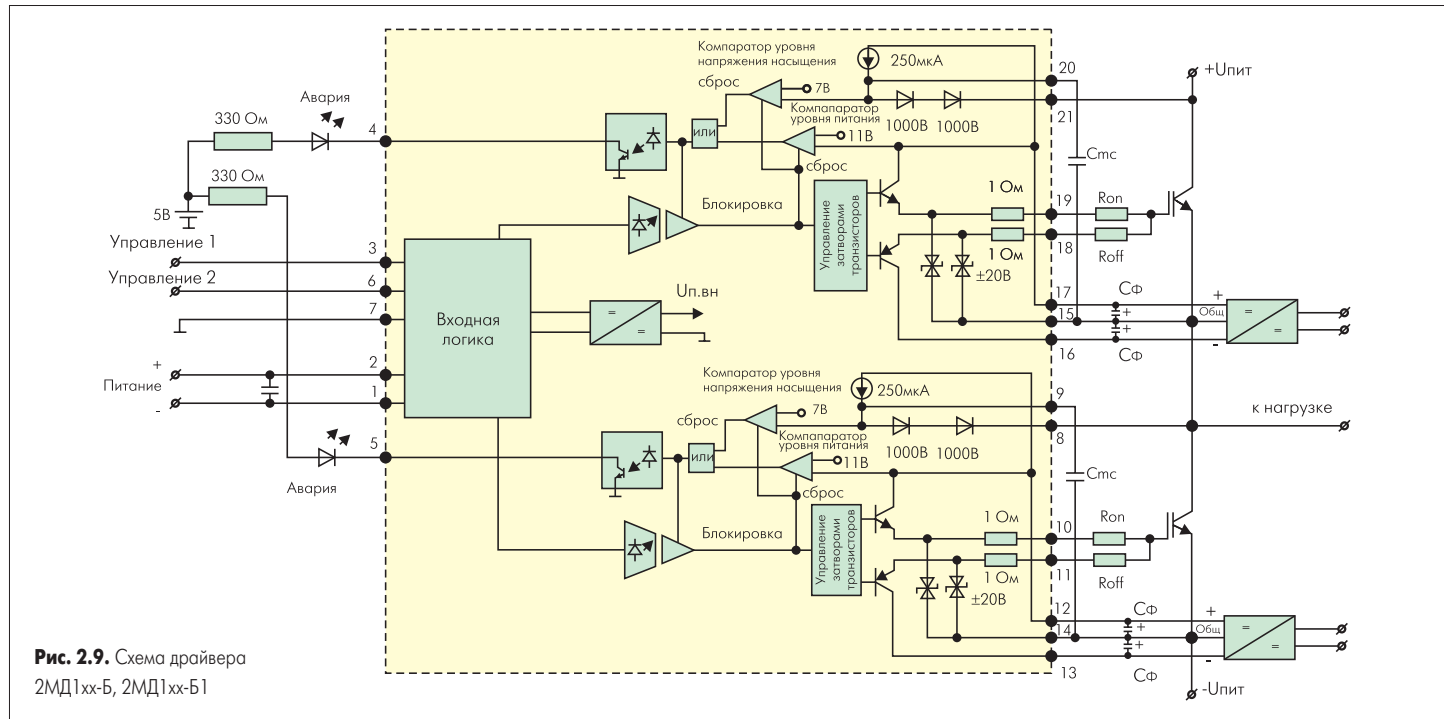
Рис. 2.8. Схема драйвера 2МД1ххП-Б, 2МД1ххП-Б1

Рассмотрим вариант применения драйвера ДР1180П-А. Этот драйвер является самым мощным из всей серии драйверов и позволяет управлять транзисторами с номинальным током до 2000 А. Для обеспечения этого в состав драйвера входит мощный DC/DC-преобразователь с импульсным током 18 А, который позволяет за короткие времена заряжать и разряжать затворы транзисторов. Начнем рассмотрение работы драйвера с его выходных цепей, непосредственно связанных с управляемым транзистором. Выходной каскад драйвера является высокочастотным транзисторным усилителем-формирователем. Он формирует раздельные сигналы включения и выключения транзистора с регулируемой длительностью, которая определяется номиналом со-

ответствующего резистора. Правильный подбор длительности переднего и заднего фронтов этого сигнала очень сильно влияет на работу всей системы, так как короткий фронт уменьшает время нахождения управляемого транзистора в активном состоянии, и, следовательно, его динамические потери, но в то же время существенно увеличивает уровень помех по силовой цепи, которые через цепь контроля остаточного напряжения транзистора могут приводить к сбоям драйвера. Уровень возникающих помех зависит от характера нагрузки, в особенности ее индуктивных свойств, поэтому требуется опытным путем подобрать номиналы этих элементов. Уровни сигналов, формируемых драйвером, определяются выходными напряжениями DC/DC-преобразователя, при-

чем для надежной работы транзистора эти уровни отвечают следующим требованиям: уровень отпирания не менее +18 В, а уровень запирания не менее -7 В. При этом также в драйвере приняты меры по защите затворов от подачи на них напряжения выше +20 В, что является предельно допустимым для затворной цепи. Высокое напряжение может появиться на затворе вследствие высокочастотных помех, возникающих в силовой цепи, но установленные в драйвере ограничители защитят затвор.

Для надежной работы транзистора и драйвера всегда следует иметь в виду, что длина проводников, соединяющих драйвер и транзистор, должна быть минимальна. Другой опасностью, связанной с цепью управления затворами, является недостаточный уровень

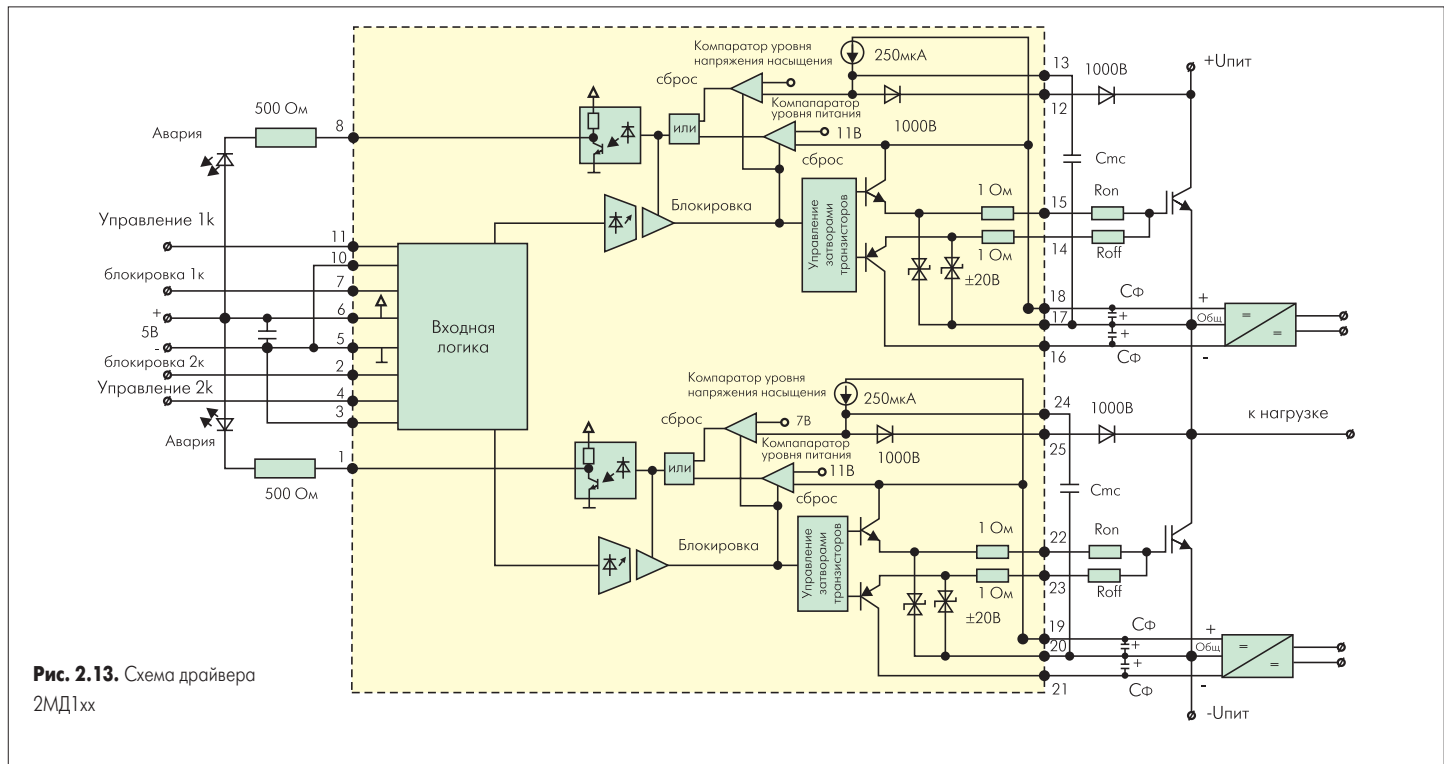
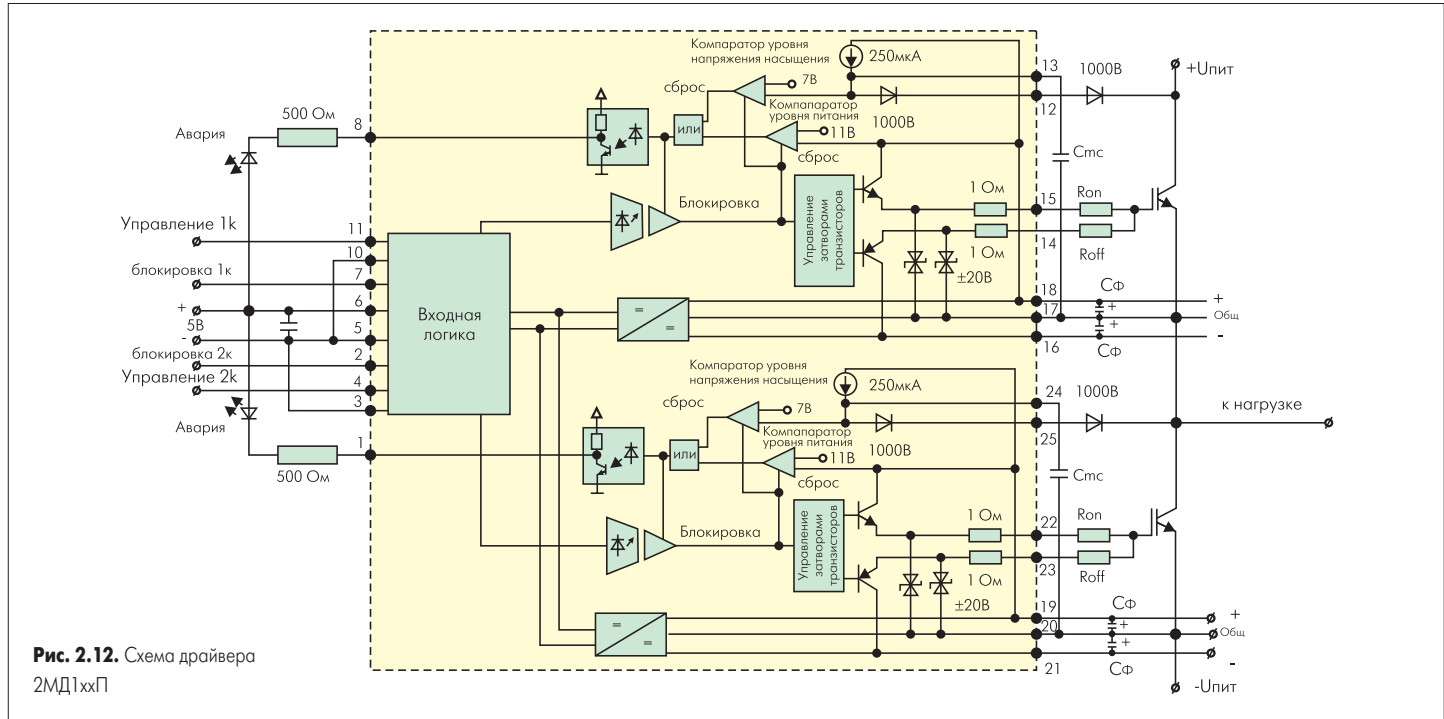


сигнала отпирания, что может приводить к длительному активному режиму работы транзистора и его разрушению вследствие выделения избыточного тепла. Недостаточный уровень сигнала непосредственно связан с уровнем напряжения DC/DC-преобразователя. Драйвер следит за этим уровнем и при снижении напряжения ниже установленного порога переводит выходы в запирающее состояние и выдает сигнал ошибки.

Контроль состояния транзистора производится путем измерения падения напряжения на транзисторе. Требования к этой измерительной цепи чрезвычайно высоки, так как она должна за предельно короткое время (несколько десятков наносекунд) оценить состояние транзистора и при превышении критической величины драйвер должен запереть транзистор и выдать сигнал ошибки. При необходимости установленный в драйвере по-

рог срабатывания защиты может быть изменен путем установки последовательно включенных быстродействующих диодов со временем восстановления 50–70 нс. Величина порога при этом уменьшится на величину суммарного падения напряжения на этих диодах.

При возникновении аварийных ситуаций работа драйвера на некоторое время блокируется с тем, чтобы дать возможность тран-



зистору остыть, поскольку перечисленные причины приводят к перегреву транзистора. Вывод драйвера из заблокированного состояния может быть осуществлен снятием сигнала управления после выдержки заданного в драйвере времени от 10 до 100 мс. В отдельных моделях драйверов (с питанием +5 В) такая выдержка не предусмотрена.

В тоже время в драйвере предусмотрена автоматическая блокировка контроля напряжения насыщения на управляемом транзисторе во время активного состояния транзистора во время процесса переключения, поскольку в этот период падение напряжения может существенно превышать установленные критические уровни.

Рассмотрим входную часть драйвера, которая гальванически изолирована (оптронная

изоляция) от силовых цепей, причем напряжение изоляции для высоковольтных транзисторов на 3,3; 4,5 кВ достигает 15 кВ (пикового значения). Такую же гальваническую изоляцию имеют и цепи питания драйвера. Как видно из таблицы, входные сигналы драйверов могут быть низковольтными ТТЛ (КМОП 5 В) или высоковольтными (КМОП 15 В), но во всех случаях входной ток драйверов составляет не менее 5 мА (входной резистор 1 кОм), что сделано для хорошей помехозащиты драйверов, а в высоковольтных драйверах входной ток имеет величину до 50 мА.

Отдельно остановимся на драйверах, предназначенных для управления силовыми полумостами. В их входной схеме реализована блокировка от одновременного включения обоих транзисторов полумоста и выдержка

между их переключениями, предохраняющая от сквозных токов. Длительность этой паузы — так называемого «мертвого времени» — определяется номиналами внешних настроечных элементов (резисторов или конденсаторов, в зависимости от типа драйвера). Очень важным параметром является устойчивость драйвера к скорости изменения напряжения. При многих типах нагрузок в силовой цепи возникают быстрые мощные колебательные процессы, фронты которых могут приводить к несанкционированным включениям драйвера, а иногда и к выходу из строя транзистора и драйвера.

В драйверах серии МД устойчивость к  $dU/dt$  в общем случае составляет 30 кВ/мкс, а в отдельных моделях драйверов и 100 кВ/мкс. Конструктивно драйверы выполнены в пласт-

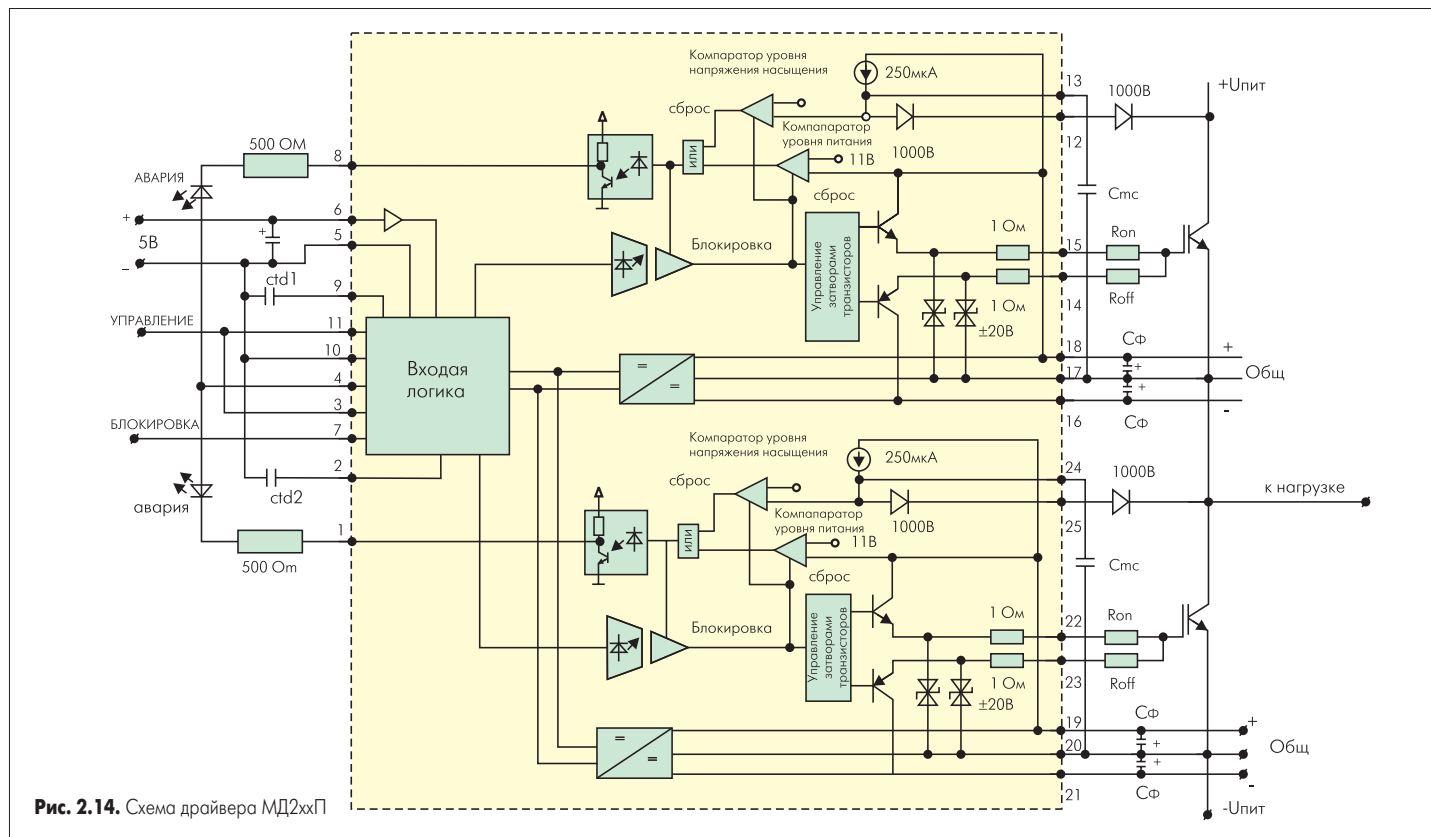


Рис. 2.14. Схема драйвера МД2хх1P

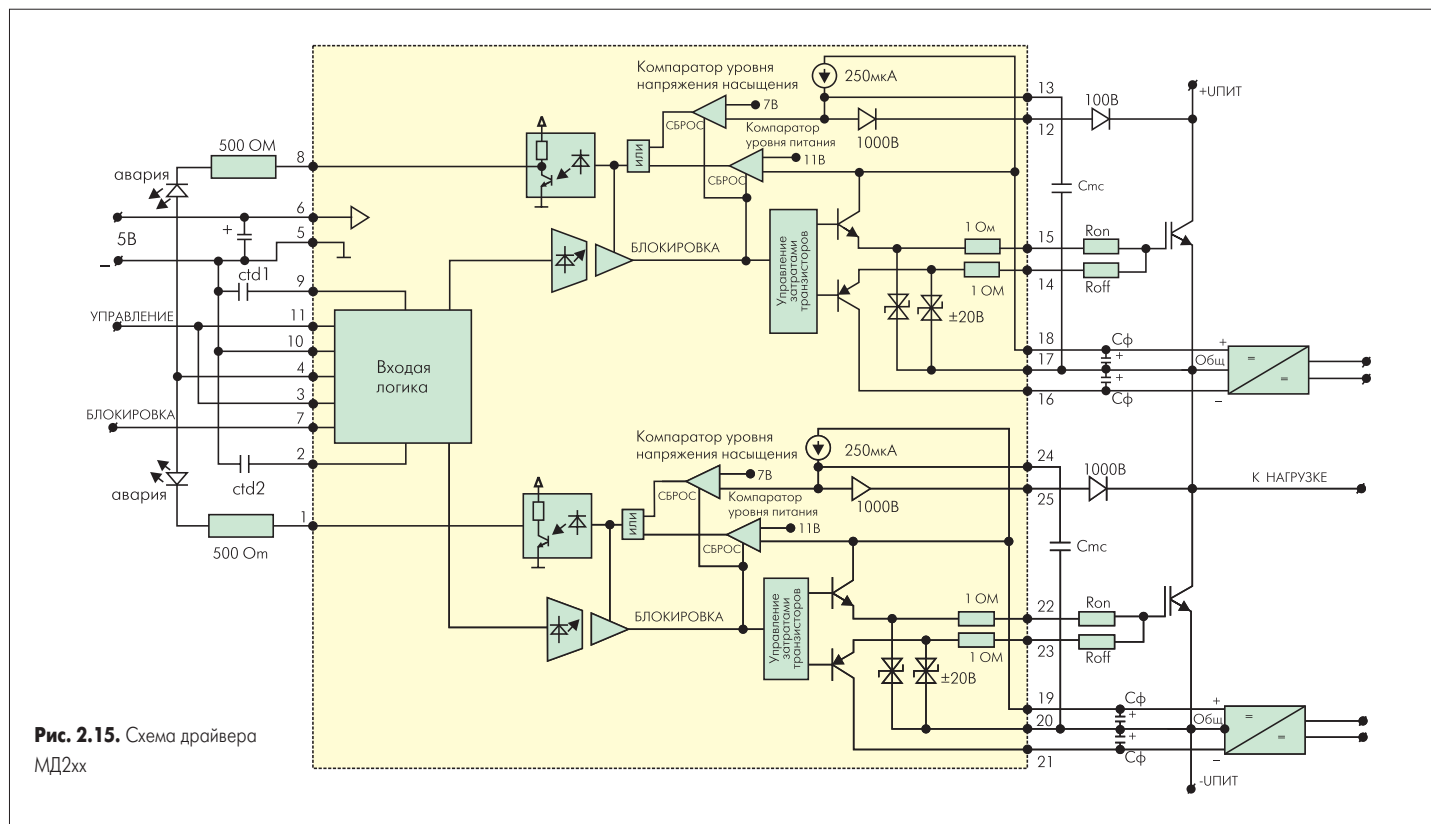


Рис. 2.15. Схема драйвера МД2хх

массовых корпусах, предназначенных для монтажа на печатную плату путем пайки. Применяемые в драйверах элементы позволяют приборам гарантированно работать в температурном диапазоне от -60 до +100 °С. Драйверы серии ДР представляют собой печатную плату с установленными на ней модулями драйверов МД и соответствующими разъемами и настроечными элементами, описанными выше.

Драйверы МД применяются в различных силовых системах:

- приводная техника (привода асинхронных коллекторных, вентильных и других типов двигателей);
- инверторы напряжения;
- мощные источники;
- высокочастотные индукционные установки;
- высокочастотные высоковольтные модуляторы и т. д.