

2.5. Электродвигатели

2.5.1. Транзисторное управление двигателями

Электрический двигатель — это машина, преобразующая электрическую энергию в механическую. Первые электродвигатели появились в середине 19 века. Успехи в их разработке связывают с именами таких выдающихся физиков и инженеров, как Н. Тесла, Б. Якоби, Г. Феррарис, В. Сименс.

Различают электродвигатели постоянного и переменного тока. Преимущество первых заключается в возможности экономичного и плавного регулирования частоты вращения вала. Преимущество вторых — большая удельная мощность на единицу веса. В микроконтроллерной практике часто применяют низковольтные двигатели постоянного тока, используемые в бытовых и компьютерных вентиляторах (Табл. 2.13). Встречаются также конструкции с сетевыми двигателями.

Таблица 2.13. Параметры вентиляторов фирмы Sunon

Вентилятор	$U_{\text{РАБ}}$ [В]	$I_{\text{РАБ}}$ [А]	Поток [м³/ч]	Скорость [об/мин]	Габариты [мм]
KD0501...KD0506	5	0.1...0.39	1...30	4000...14000	20x20x10...60x60x15
KD1202...KD1206	12	0.06...0.1	3...23	4200...10000	25x25x10...60x60x10
KD2404...KD2406	24	0.05...0.08	11...30	4000...6000	40x40x10...60x60x15

Обмотку двигателя следует рассматривать как катушку с большой индуктивностью, поэтому её можно коммутировать обычными транзисторными ключами (Рис. 2.78, а...т). Главное — это не забыть про защиту от ЭДС самоиндукции.

В двигателях постоянного тока имеется возможность изменять направление вращения ротора в зависимости от полярности рабочего напряжения. В таких случаях широко используют мостовые схемы «H-bridge» (Рис. 2.79, а...и).

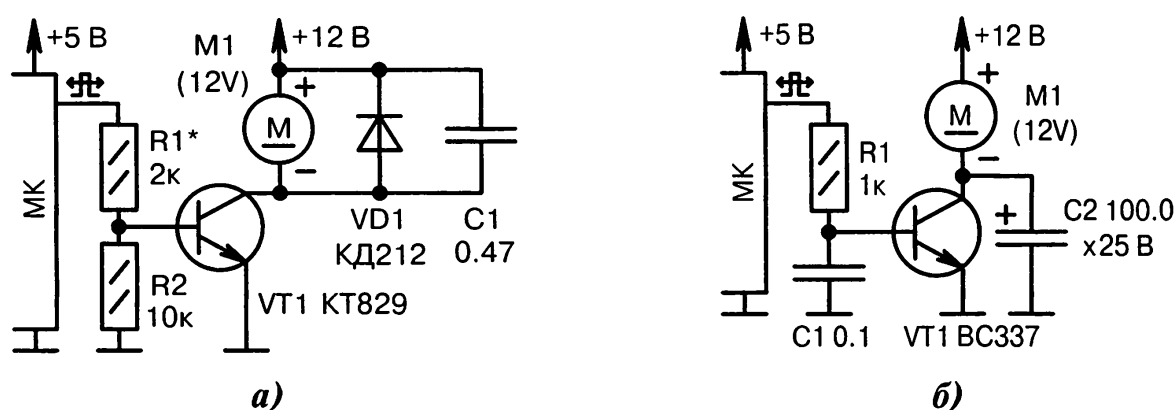


Рис. 2.78. Схемы подключения электродвигателей через транзисторные ключи (начало):

а) регулирование скорости потока воздуха вентилятора $M1$. Конденсатор $C1$ уменьшает ВЧ-помехи. Диод $VD1$ защищает транзистор $VT1$ от выбросов напряжения. Резистор $R1$ определяет степень насыщения транзистора $VT1$, а резистор $R2$ закрывает его при рестарте МК. Частота импульсов ШИМ на выходе МК должна быть не менее 30 кГц, т.е. за пределами звукового диапазона, чтобы исключить неприятный «свист». Элементы $C1$ и $R2$ могут отсутствовать;

б) плавное регулирование частоты вращения вала двигателя $M1$ через канал ШИМ. Конденсатор $C1$ является первичным, а конденсатор $C2$ — вторичным фильтром сигналов ШИМ; ☹

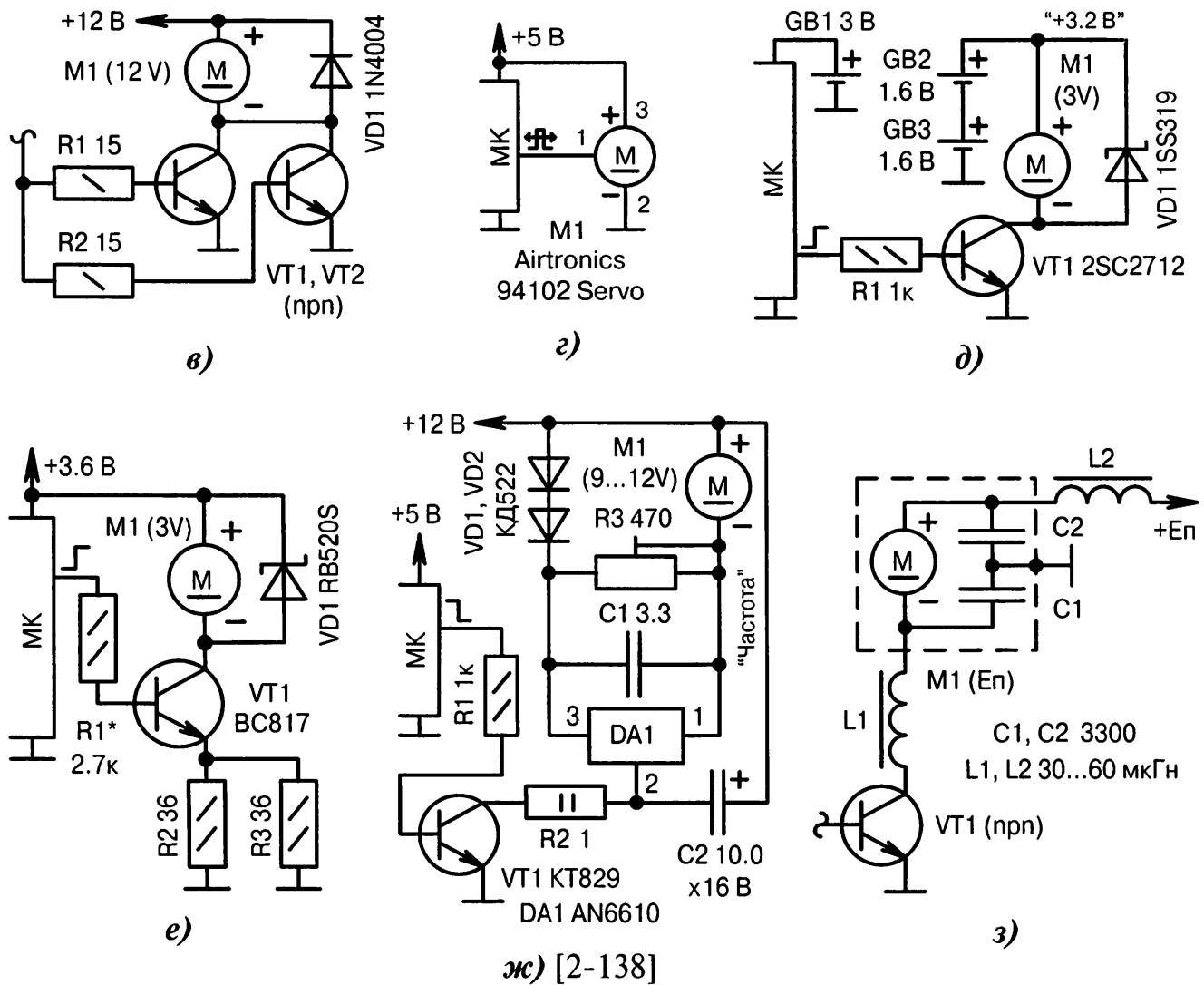


Рис. 2.78. Схемы подключения электродвигателей через транзисторные ключи (продолжение):

в) транзисторы $VT1, VT2$ соединяются параллельно для увеличения суммарного коллекторного тока. Резисторы $R1, R2$ обеспечивают равномерную нагрузку по мощности на оба транзистора, что связано с разбросом у них коэффициентов $h_{21Э}$ и ВАХ переходов «база — эмиттер»;

г) двигатель $M1$ (фирма Airtronics) имеет «цифровой» вход управления, что позволяет подключать к нему MK напрямую. Транзисторные ключи (драйверы) находятся внутри двигателя;

д) два отдельных источника питания позволяют значительно снизить влияние на MK электрических помех, которые генерирует двигатель $M1$. Система будет работать устойчивее. $GB1$ — это маломощная литиевая батарея, $GB2, GB3$ — это пальчиковые гальванические элементы с общим напряжением 3.2 В и мощностью, достаточной для запуска и работы двигателя $M1$;

е) параллельные резисторы $R2, R3$ служат ограничителями тока, протекающего через двигатель $M1$. Кроме того, они стабилизируют ток в нагрузке, если транзистор $VT1$ находится в активном режиме или на грани входа в режим насыщения;

ж) MK включает/выключает двигатель $M1$. Резистором $R3$ подстраивается частота оборотов его вала. Стабилизатором служит «магнитофонная» микросхема $DA1$ фирмы Panasonic. С её помощью на зажимах двигателя $M1$ поддерживаются постоянные параметры, которые практически не зависят от колебаний температуры и напряжения питания;

з) дроссели $L1, L2$ и конденсаторы $C1, C2$ фильтруют излучаемые двигателем $M1$ радиопомехи. С той же целью двигатель помещается в заземлённый экранированный корпус; ➡

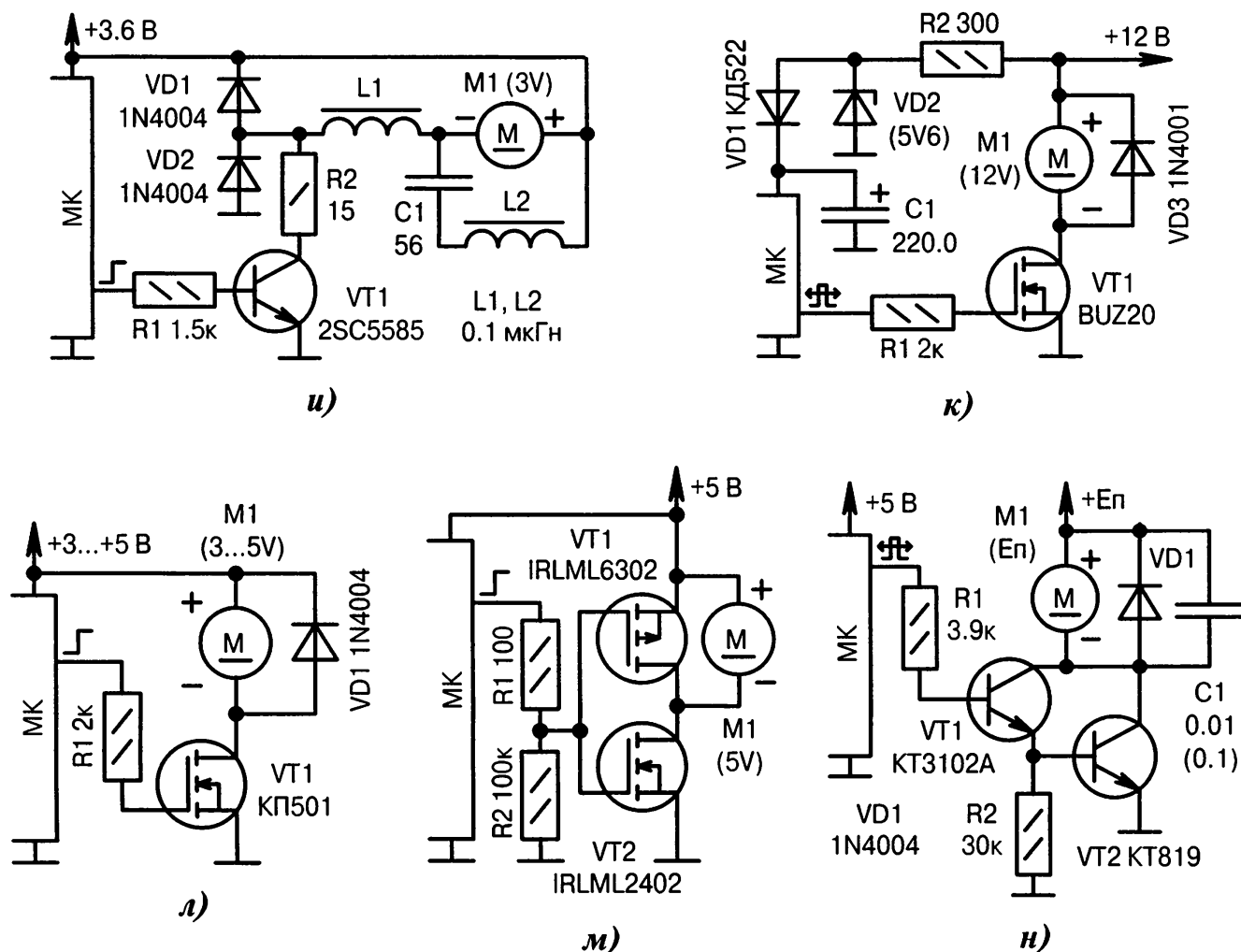


Рис. 2.78. Схемы подключения электродвигателей через транзисторные ключи (продолжение):

и) вибромотор $M1$ является источником мощных электромагнитных и радиочастотных помех. Элементы $L1$, $L2$, $C1$ служат фильтрами. Резистор $R2$ ограничивает пусковой ток через двигатель при открытом транзисторе $VT1$. Диоды $VD1$, $VD2$ срезают вершины импульсных помех;

к) элементы $VD1$, $C1$ и $VD2$, $R2$ фильтруют помехи по питанию, которые генерирует двигатель $M1$ в направлении к МК. Частоту оборотов вала двигателя можно плавно регулировать через канал ШИМ МК, при этом отдельный ФНЧ не требуется, поскольку двигатель имеет большую инерцию и сам сглаживает проходящие через него ВЧ-импульсы тока;

л) применение ключа на полевом транзисторе $VT1$ повышает КПД по сравнению с ключом на биполярном транзисторе, ввиду более низкого сопротивления «сток — исток». Резистор $R1$ ограничивает амплитуду наводок, которые могут «просачиваться» от работающего двигателя $M1$ во внутренние цепи МК через ёмкость «затвор — сток» транзистора $VT1$;

м) транзистор $VT2$ является мощным силовым ключом, который подаёт питание на двигатель $M1$, а транзистор $VT1$ — демпфером, который быстро тормозит вращение вала после выключения. Резистор $R1$ снижает нагрузку на выход МК при заряде ёмкостей затворов полевых транзисторов $VT1$, $VT2$. Резистор $R2$ отключает двигатель $M1$ при рестарте МК;

н) ключ на транзисторах $VT1$, $VT2$ собран по схеме Дарлингтона и имеет большое усиление. Для регулирования скорости вращения вала двигателя $M1$ может применяться метод ШИМ или фазо-импульсное управление. Система не имеет обратной связи, поэтому при снижении скорости вращения из-за внешнего торможения будет уменьшаться рабочая мощность на валу; ●

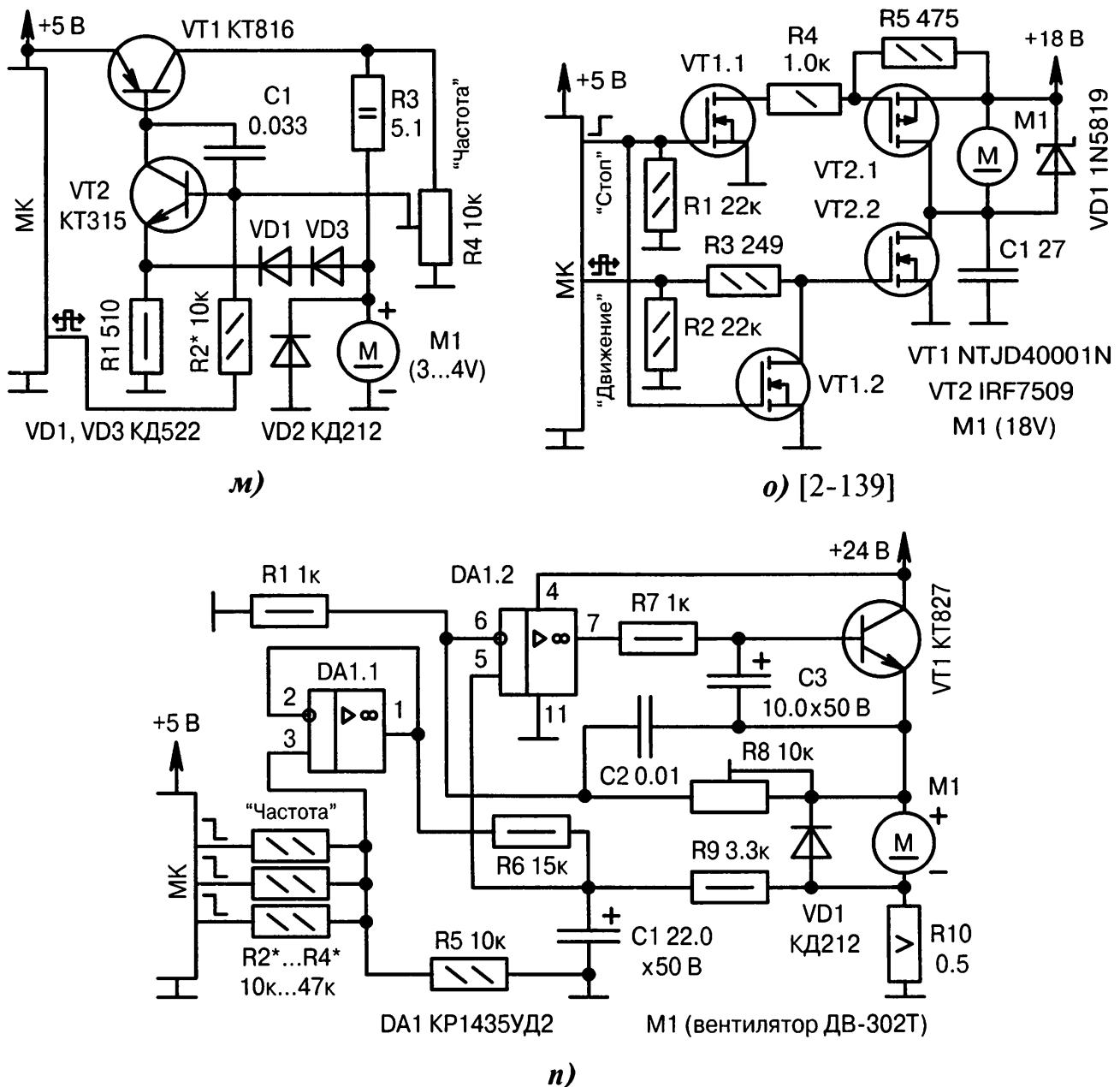


Рис. 2.78. Схемы подключения электродвигателей через транзисторные ключи (продолжение):

м) встраивание МК в уже существующий тракт регулирования скорости вращения вала двигателя *M1*. В этот тракт входят все элементы схемы, кроме резистора *R2*. Резистором *R4* выставляется «грубая» частота вращения. Точная подстройка осуществляется импульсами с выхода МК. Возможна организация обратной связи, когда МК следит за каким-либо параметром и динамично подстраивает скорость вращения в зависимости от напряжения питания или температуры;

о) скорость вращения вала двигателя *M1* определяется скважностью импульсов в канале ШИМ, генерируемых с нижнего выхода МК. Основным коммутирующим ключом служит транзистор *VT2.2*, остальные транзисторные ключи участвуют в быстрой остановке двигателя *M1* по сигналу ВЫСОКОГО уровня с верхнего выхода МК;

п) плавное регулирование частоты оборотов вала двигателя *M1* производится резистором *R8*. ОУ *DA1* служит стабилизатором напряжения с двойной обратной связью через элементы *R1*, *R8*, *C2* и *R9*, *R10*, *C1*. Комбинацией уровней с трёх выходов МК (ЦАП) можно ступенчато изменять скорость вращения вала двигателя *M1* (точный подбор резисторами *R2...R4*). Линии МК могут переводиться в режим входа без «pull-up» резистора для увеличения числа «ступенек» ЦАП; ➡

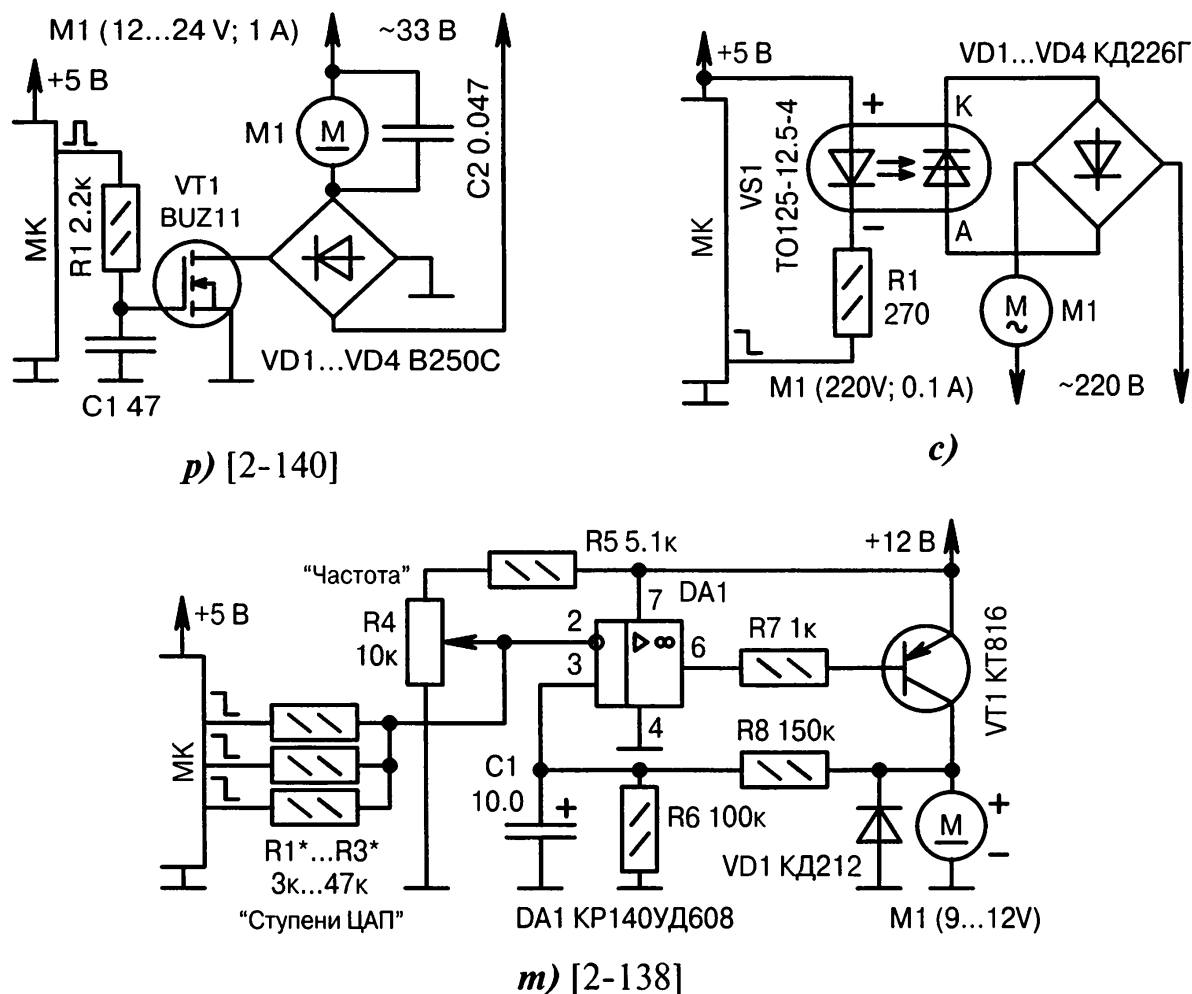


Рис. 2.78. Схемы подключения электродвигателей через транзисторные ключи (окончание):

р) фазо-импульсное управление двигателем переменного тока $M1$. Чем большее время за период сетевого напряжения открыт транзистор $VT1$, тем быстрее вращается вал двигателя;

с) включение мощного двигателя переменного тока $M1$ производится через оптоустройство $VS1$, который обеспечивает гальваническую развязку от цепей МК;

т) аналогично Рис. 2.78, п, но с одним кольцом обратной связи через элементы $C1$, $R6$, $R8$. Резистор $R4$ регулирует частоту вращения вала двигателя $M1$ плавно, а МК — дискретно.

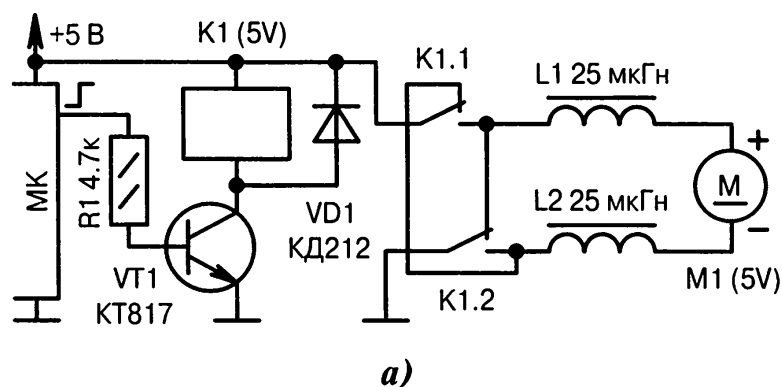
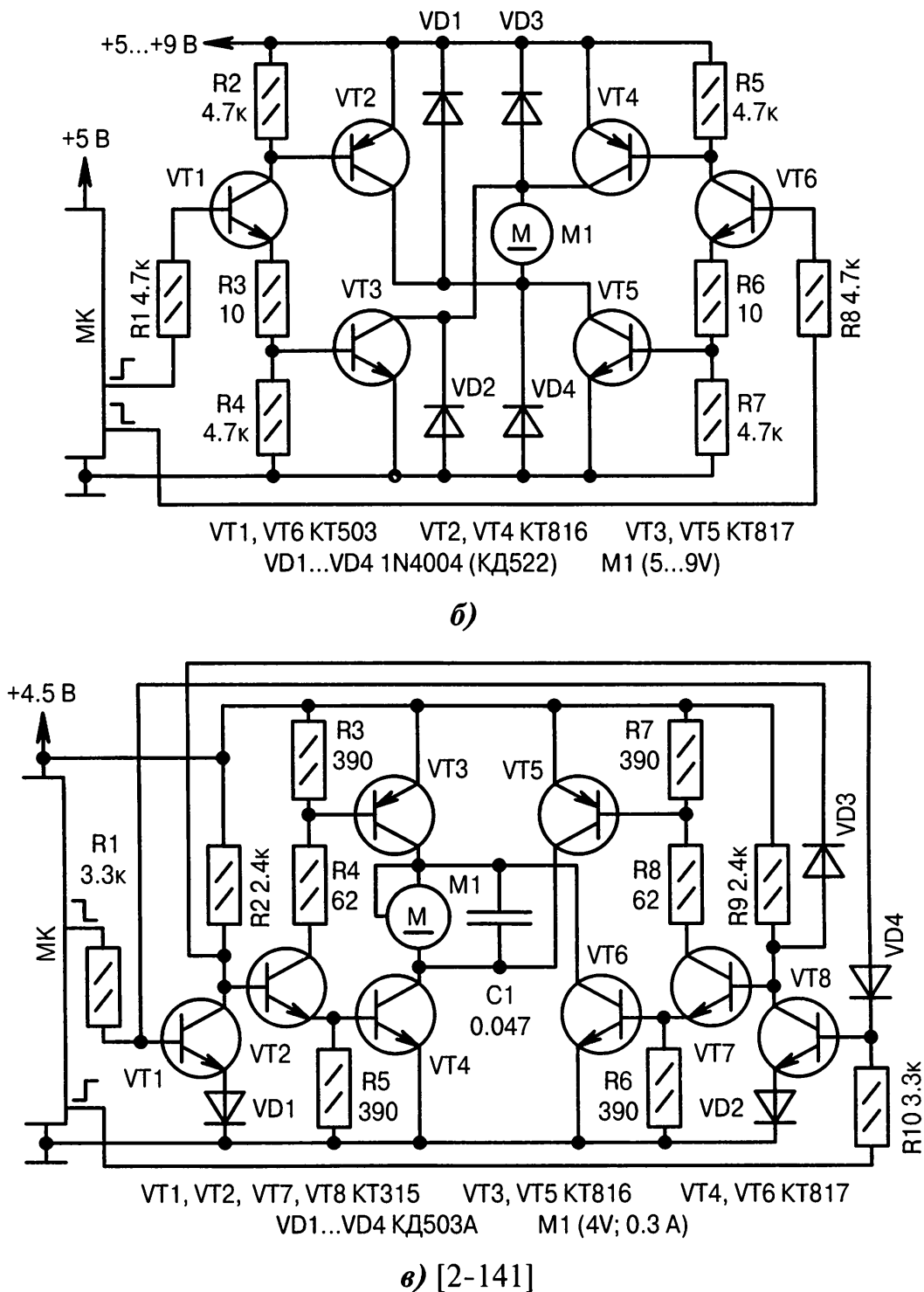


Рис. 2.79. Мостовые схемы подключения электродвигателей к МК (начало):

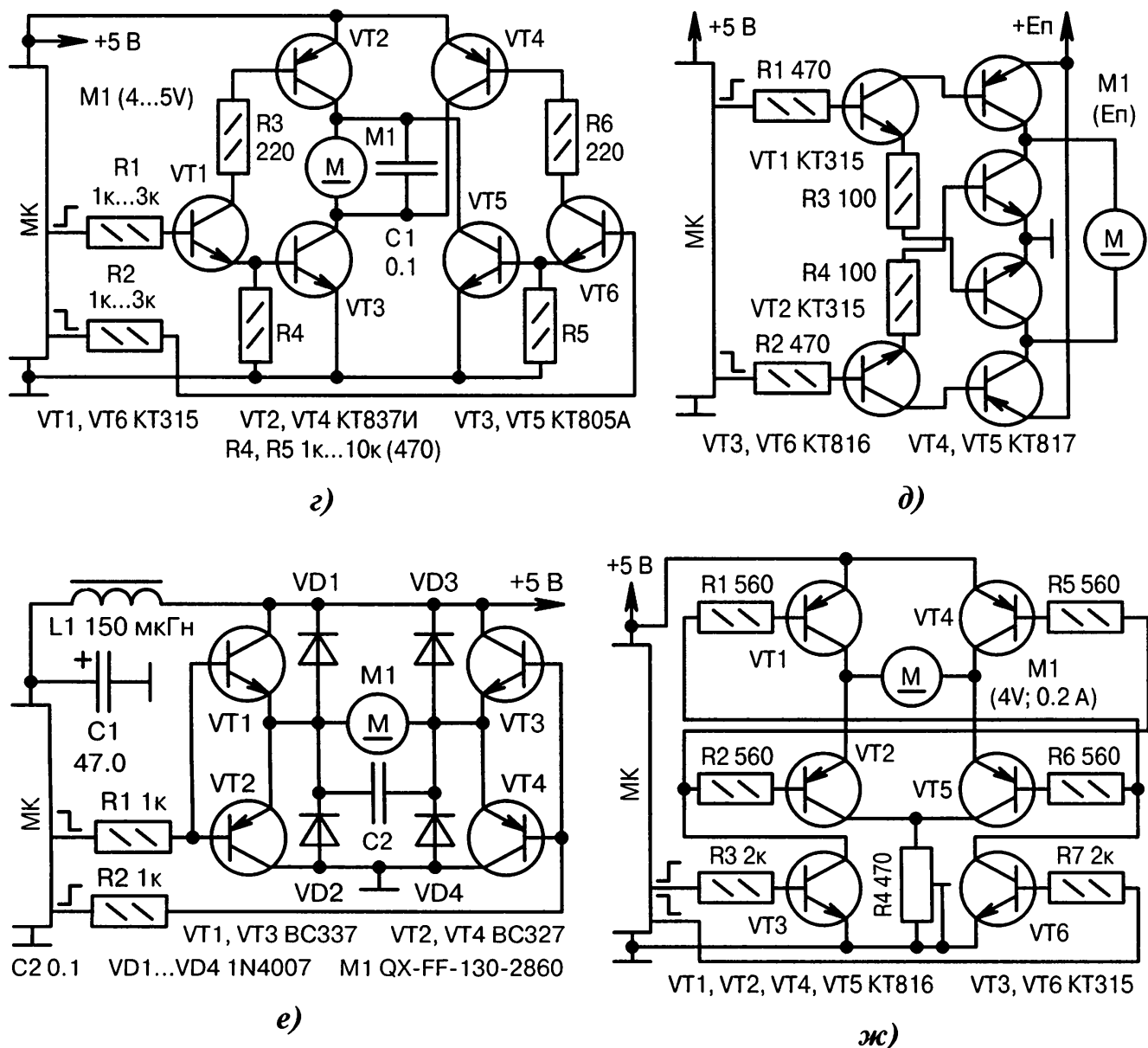
а) направление вращения вала двигателя $M1$ изменяется мостовой «механической» схемой на двух группах контактов реле $K1.1$, $K1.2$. Частота переключения контактов реле должна быть низкой, чтобы быстро не выработался ресурс. Дроссели $L1$, $L2$ снижают коммутационные токи при переключении реле и, соответственно, уровень излучаемых электромагнитных помех;



● Рис. 2.79. Мостовые схемы подключения электродвигателей к МК (продолжение):

б) при ВЫСОКОМ уровне на верхнем и НИЗКОМ уровне на нижнем выходе МК транзисторы $VT1...VT3$ открываются, а транзисторы $VT4...VT6$ закрываются, и наоборот. Когда полярность питания двигателя $M1$ изменяется на противоположную, то его ротор вращается в обратную сторону. Сигналы с двух выходов МК должны быть противофазными, но с небольшой паузой НИЗКОГО уровня между импульсами, чтобы закрыть оба плеча (устранение сквозных токов). Диоды $VD1...VD4$ уменьшают выбросы напряжения, тем самым защищая транзисторы от пробоя;

в) аналогично Рис. 2.79, б, но с другими номиналами элементов, а также с аппаратной защитой от одновременного открывания транзисторов одного плеча при помощи диодов $VD3, VD4$. Диоды $VD1, VD2$ повышают помехоустойчивость при большом расстоянии до МК. Конденсатор $C1$ снижает «искровые» импульсные радиопомехи, генерируемые двигателем $M1$; ●



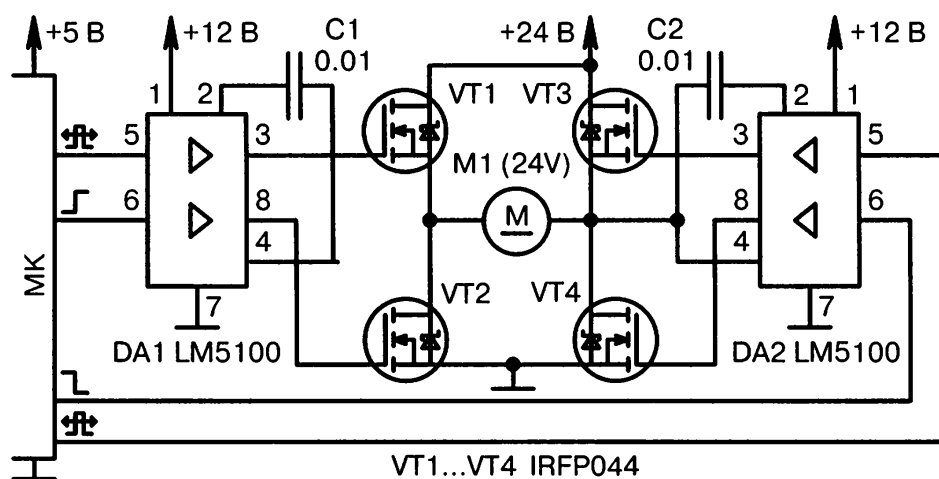
➊ Рис. 2.79. Мостовые схемы подключения электродвигателей к МК (продолжение):

г) аналогично Рис. 2.79, б, но с отсутствием «запирающих» резисторов в базовых цепях транзисторов VT_2 , VT_4 . Расчёт на то, что обмотка двигателя $M1$ достаточно низкоомная, следовательно, при рестарте МК внешние помехи на «висящих в воздухе» базах транзисторов VT_1 , VT_2 , VT_4 , VT_6 не смогут открыть их коллекторные переходы;

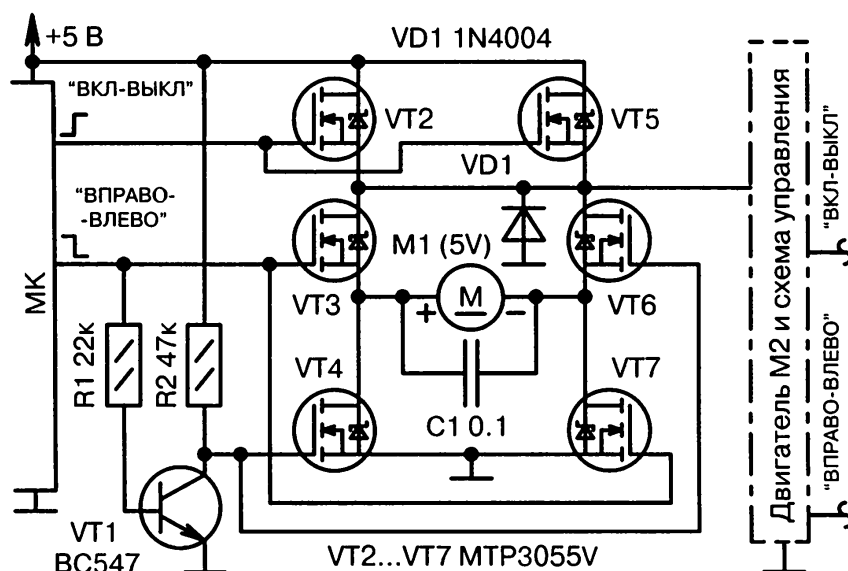
д) аналогично Рис. 2.79, б, но с максимальным упрощением схемы. Рекомендуется для устройств, выполняющих второстепенные функции. Напряжение питания $+E_{\text{п}}$ должно соответствовать рабочему напряжению двигателя $M1$;

е) в отличие от предыдущих схем, транзисторы $VT_1...VT_4$ включаются по схеме с общим эмиттером и управляются ВЫСОКИМ/НИЗКИМ уровнем непосредственно с выходов МК. Двигатель $M1$ должен быть рассчитан на рабочее напряжение 3...3.5 В. Диоды $VD_1...VD_4$ уменьшают выбросы напряжения. Фильтр $L1$, $C1$ снижает импульсные помехи по питанию от двигателя $M1$, которые могут приводить к сбоям в работе МК. Встречающиеся замены деталей: VT_1 , VT_3 — КТ972; VT_2 , VT_4 — КТ973; $VD_1...VD_4$ — КД522Б, $R_1 = 3.3$ кОм; $R_2 = 3.3$ кОм;

ж) мостовая схема на четырёх управляющих транзисторах VT_1 , VT_2 , VT_4 , VT_5 структуры $p-n-p$. Подстроечным резистором $R4$ регулируется напряжение на двигателе $M1$, а значит, и частота оборотов сразу для двух направлений вращения ротора; ➋



з) [2-142]



и) [2-143]

● Рис. 2.79. Мостовые схемы подключения электродвигателей к МК (окончание):

з) мостовая схема для управления мощным двигателем $M1$ (24 В, 30 А). Смена полярности напряжения на двигателе производится противофазными уровнями на средних выходах МК, а скорость вращения — методом ШИМ на верхнем и нижнем выходах МК;

и) транзисторы $VT2$, $VT5$ подают питание на мостовую схему управления двигателем $M1$. Их запараллеливание позволяет подключить к диоду $VD1$ ещё одну такую же схему.

2.5.2. Микросхемы управления двигателями

Если мостовую схему вместе с мощными транзисторами и защитными диодами «спрятать» внутрь одного корпуса, то получится интегральная аналоговая микросхема управления двигателем. Преимущество — малые габариты, возможность установки единого радиатора для всех транзисторов, минимум навесных деталей, повышенная надёжность из-за наличия внутренних цепей защиты от коротких замыканий, выбросов напряжения и температурного перегрева кристалла.

Микросхему управления двигателем иногда называют микросхемой управления мотором, дословно переводя применяемый в даташитах зарубежный термин

«Motor Drivers». В действительности в английских словарях мирно сосуществуют два родственных термина «motor, engine» (мотор, от лат. «тот, кто двигает») и «engine, motor, mover» (двигатель). Электронщики же обычно употребляют название «электродвигатель» или «сервопривод» для габаритных конструкций, и только для миниатюрных изделий — «микромоторчик».

В лентопротяжных механизмах магнитол применяют коллекторные двигатели постоянного тока (КДПТ) с встроенной микросхемой стабилизации частоты вращения вала. Такие двигатели имеют преимущественное направление вращения. Какое именно, надо смотреть по наклейке на корпусе: «CCW» (Contra Clock Way) для левостороннего и «CW» (Clock Way) — для правостороннего вращения.

На Рис. 2.80, а...з приведены схемы подключения двигателей к МК через интегральные микросхемы.

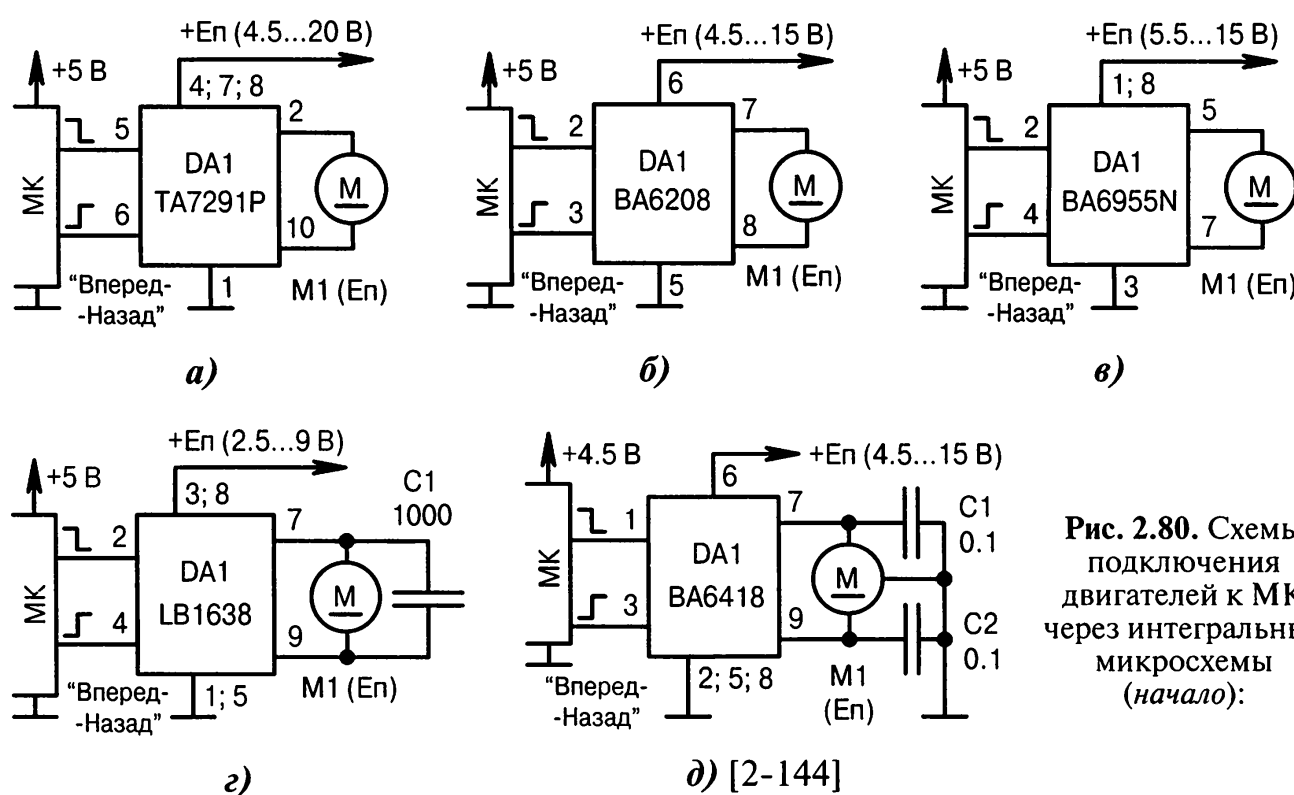


Рис. 2.80. Схемы подключения двигателей к МК через интегральные микросхемы (начало):

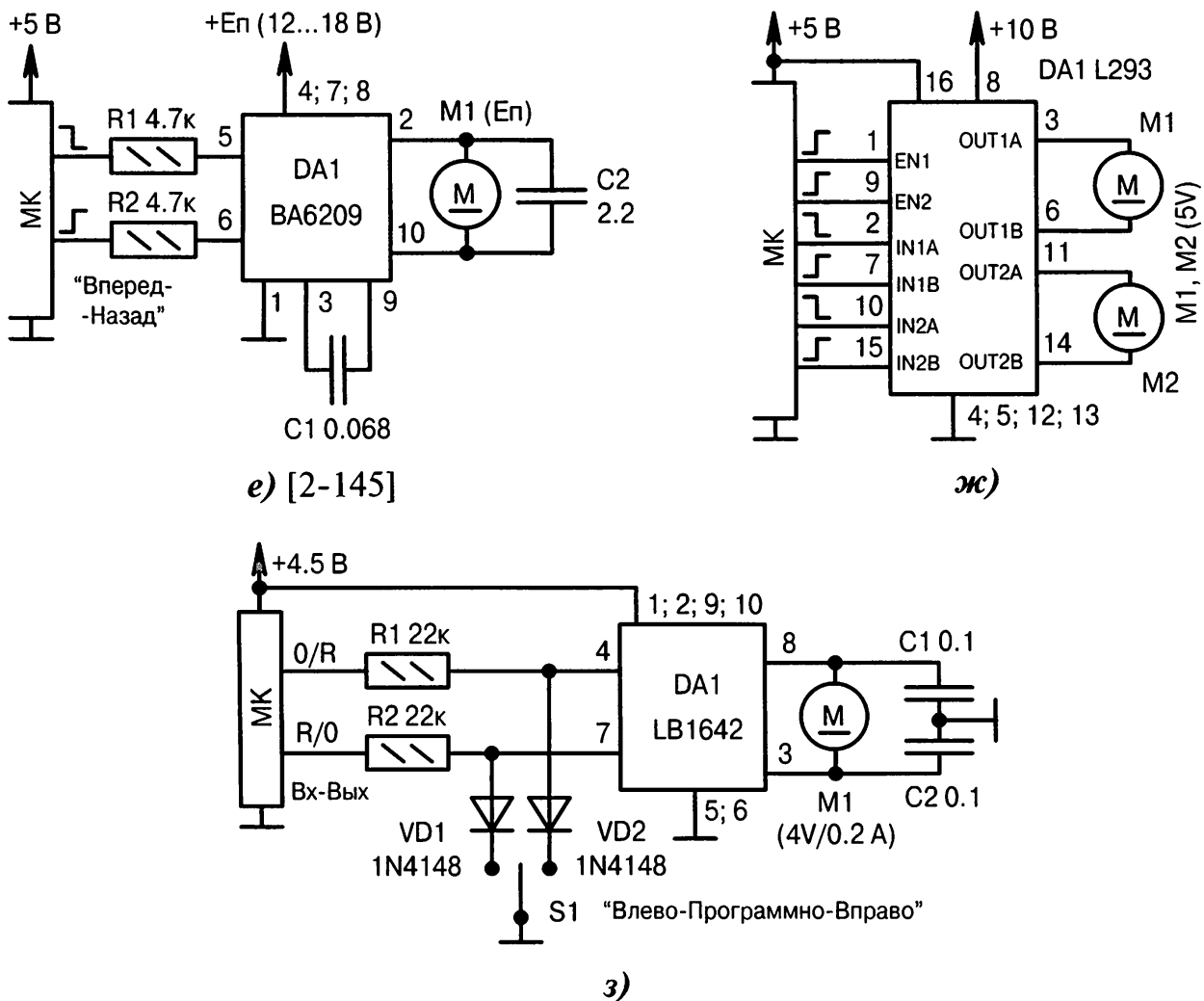


Рис. 2.80. Схемы подключения двигателей к МК через интегральные микросхемы (окончание):

е) аналогично Рис. 2.80, б, но с другим типом микросхемы DA1, током нагрузки 2.2 А и мощностью рассеяния 1.6 Вт. При подаче от МК двух ВЫСОКИХ уровней, на выходах микросхемы DA1 появляется не обрыв, а НИЗКОЕ напряжение, выключающее двигатель M1. Конденсатор C1 устраняет сквозные токи в мостовой схеме выходного каскада. Необязательные резисторы R1, R2 защищают входы МК при внутреннем пробое микросхемы DA1. Если вместо двигателя M1 поставить трансформатор, то получится преобразователь постоянного напряжения +E_п в «почти переменное», при этом сигналы с выходов МК надо синхронно переключать с достаточно высокой частотой;

ж) двухканальный драйвер на микросхеме DA1 фирмы Texas Instruments. Ток нагрузки 0.6 А, мощность рассеяния 2...5 Вт, ТТЛ-совместимые входы, для которых требуется отдельное питание +5 В. Двигатели M1, M2 вращаются в ту или иную сторону только при противофазных сигналах соответственно на входах «IN1A», «IN1B» и «IN2A», «IN2B». Общее разрешение работы осуществляется подачей ВЫСОКИХ уровней на входы EN1 и EN2 микросхемы DA1;

з) автоматическое и ручное управление двигателем M1 через микросхему DA1 фирмы Sanyo. В среднем положении переключателя S1 направление вращения ротора двигателя влево или вправо задаёт МК, переводя одну из линий в режим выхода с НИЗКИМ уровнем, а вторую — в режим входа с «pull-up» резистором. Когда переключатель S1 устанавливается в крайнее положение, то МК «прослушивает» состояние входной линии и если на ней обнаруживается НИЗКИЙ уровень, значит переключатель S1 активен и управление от выходов МК программно снимается.