

Современные микросхемы

для привода шаговых двигателей фирмы ROHM Semiconductor

Фирма ROHM предлагает достаточно широкую номенклатуру микросхем, предназначенных для привода биполярных шаговых двигателей с постоянными магнитами и биполярных гибридных шаговых двигателей различного типа (БШД). Однако многие из этих микросхем могут использоваться и для привода униполярных шаговых двигателей (УШД), эта возможность определяется конкретным их исполнением. Поэтому перед рассмотрением возможностей и параметров микросхем привода кратко остановимся на особенностях самих двигателей и на терминологии, используемой фирмой ROHM Semiconductor в технической документации.

Юрий Петропавловский

Шаговые двигатели и микросхемы управления для них получили широкое распространение во многих областях человеческой деятельности благодаря их техническим особенностям, среди которых:

- возможность отработки точных перемещений;
- высокоточная установка скорости вращения;
- возможность удержания нагрузки в неподвижном положении;
- широкий диапазон рабочих скоростей;
- отсутствие накопления ошибок позиционирования;
- отсутствие необходимости в обратной связи;
- легкость сопряжения с цифровыми устройствами управления и компьютерами.

Электропривод на базе шаговых двигателей получил широкое распространение в самых различных приборах — в научном, промышленном, офисном и медицинском оборудовании, на транспорте, в авиации и многих других приложениях, в частности:

- приводы ЧПУ (фрезерные, гравировальные, шлифовочные и электроэрозионные станки, комплексы лазерной, плазменной и газовой резки);
- приборы точной механики и оптики;

- спектрометры, газоанализаторы, приборы для анализа нефтепродуктов, отбора проб, контроля качества зерна, муки и т. п.;

- спидометры, тахометры, часы, стрелочные приборы для летных тренажеров и автоэлектроники;

- медицинские и лабораторные приборы;

- координатные и поворотные столы;

- дозаторы, перемешиватели и питатели для технологического оборудования;

- приводы для конвейеров;

- сортировочное, упаковочное, этикеточное оборудование;

- станки для вязания и вышивания;

- намоточные станки, полиграфические автоматы;

- светотехническое оборудование, привод телескопов и фотоаппаратуры;

- турникеты, поворотные видеокамеры;

- факсимильные аппараты, принтеры, сканеры, копировальные машины;

- радиолокационные и гидроакустические станции;
- робототехника и многие другие приложения.

Наибольшее распространение в промышленных применениях нашли гибридные шаговые двигатели (ГШД), они обеспечивают небольшую величину шага,

Таблица 1. Особенности микросхем

Категория 1	Категория 2	Категория 3	Категория 4	Категория 5
Последовательный интерфейс CLOK IN для упрощения управления двигателями (BD6387/6385/6383EFV, BD6389FM, BD63877/63875/63873EFV)	Независимые входы управления VREF для поддержки микрошагового режима с малыми шумами и вибрацией (BD63960/63940/63920EFV)	Установка четырех режимов работы сигналов двухразрядного кода — полношаговый, полушаговый, четвертьшаговый и октальный	Высокая точность поддержания образцового напряжения V_{REF} при значительных колебаниях напряжения питания	Низкий уровень акустического шума в режиме торможения при работе с внешними ШИМ-сигналами
Возможность управления двумя коллекторными двигателями (BD6387/6385/6383EFV, BD6389FM)	Функция G.S.P., предохраняющая микросхему от сбоев, вызванных флюктуациями и помехами в цепи питания V_{CC}	Последовательный интерфейс CLOK IN	Вывод для подключения резистора обратной связи для обеспечения стабильного выходного тока	Возможность уменьшения выходного тока подачи внешнего двухразрядного кода
Переключение режимов тока спада для снижения колебаний ротора даже при высоких скоростях вращения	Возможность управления двумя коллекторными двигателями (BD63960/63940/63920EFV)	Переключение режимов спада тока для снижения вибраций и шумов	Возможность управления двумя коллекторными двигателями с отдельными источниками питания H-мостов	Последовательный интерфейс CLOK IN (BD6425/6423EFM)
Тонкий компактный корпус, обеспечивающий хороший теплоотвод (HTSSOP-B28, HTSSOP-B40)	Схема защиты от перегрузки по току	Функция Auto Decay переключения режимов спада тока в течение периодов нарастания и спада	Функция G.S.P. (Ghost Supply Prevention)	Тонкий компактный корпус с хорошим теплоотводом (HTSSOP-B24, HTSSOP-B28)
Совместимость выводов микросхем одной серии (между микросхемами серии BD6387/6385/6383, серии BD63877/63875/63873 и серии BD63876/63874/63872)	Отсутствие внешних конденсаторов схем подкачки заряда	Тонкий компактный корпус с хорошим теплоотводом даже при больших выходных токах	Возможность работы с низким напряжением питания (до 2,5 В)	Высокое напряжение питания (до 42 В)

большой момент и значительную скорость. Типичное число шагов ПШД составляет 100–400 (угол шага 3,6–0,9°). В зависимости от конфигурации обмоток двигателя делятся на биполярные и униполярные. Биполярные имеют одну обмотку в каждой фазе (четыре вывода), униполярные имеют или дополнительные выводы от середин каждой обмотки (пять или шесть выводов), или четыре отдельные обмотки (восемь выводов). При соответствующем соединении обмоток такие двигатели можно использовать и как униполярные, и как биполярные. УШД с отводами от середин обмоток (не соединенных между собой, исполнение с шестью выводами) также можно использовать в биполярном режиме, если оставить средние выводы не подключенными.

Разработчикам систем привода следует помнить, что БШД имеют более высокую удельную мощность и при одних и тех же размерах обеспечивают больший момент. Существует несколько способов управления фазами двигателей. В драйверах ROHM используется пять режимов: полношаговый для управления фазами с перекрытием; полушаговый; четвертьфазовый; октальный; микрошаговый. В последних трех помимо коммутации обмоток двигателя драйверы обеспечивают ступенчатое изменение тока возбуждения каждой фазы, при этом разрешающая способность по углу шага увеличивается в 4,8 и более раз.

Фиксированные положения ротор двигателя занимает при его работе, однако при выключении тока обмоток положение ротора не сохраняется неизменным, при включении/выключении питания ротор двигателя смещается на полшага в одну или другую сторону. Чтобы исключить смещение при остановке, необходимо подавать в обмотки ток удержания. Он может быть меньше номинального в случаях, когда от двигателя с неподвижным ротором не требуется большого момента. Однако в ряде применений от двигателя в остановленном состоянии требуется полный момент, для его обеспечения ток удержания должен иметь большую величину, при этом возможно обходиться без тормозных систем.

Недостатком полушагового и других режимов с меньшими шагами являются значительные колебания момента от шага к шагу в тех положениях ротора, когда запитана одна обмотка двигателя, и момент составляет примерно 70% от полного, когда запитаны две фазы [1]. Эти колебания вызывают повышенную вибрацию и шум при работе двигателя. В драйверах ROHM предусмотрен режим регулировки тока в обмотках двигателя для устранения колебаний момента от шага к шагу, это приводит к значительному уменьшению вибраций и шумов.

Для полушагового режима очень важным является переход в состояние с одной выключенной фазой. Для обеспечения перехода ротора в соответствующее положение необходимо очень быстро уменьшать ток в отключенной фазе. Для обеспечения быстрого спада тока (Fast decay control) все транзисторы H-моста должны закрываться, при этом обмотка через его антипараллельные диоды подключается к источнику питания.

В микрошаговом режиме на малых скоростях обеспечивается более плавное вращение двигателя и практически бесшумная работа двигателя. На скоростях, в два-три раза больших собственной резонансной частоты ротора и нагрузки, микрошаговый режим неэффективен из-за фильтрующего действия инерции ротора и нагрузки. Поэтому в микрошаговом режиме осуществляются только разгон и торможение двигателя, а в основном он должен работать в полношаговом режиме. Во многих приложениях, требующих малых перемещений с высокой разрешающей способностью, микрошаговый режим способен заменить механический редуктор. Для обеспечения качественной работы двигателя в широком диапазоне скоростей в ряде драйверов ROHM встроены ЦАП, задающие микрошаговый режим.

В каталоге ROHM-2011 выделены пять категорий (Selection) драйверов БШД (табл. 1):

1. с улучшенными (прецизионными) характеристиками и надежностью (High Performance, High reliability 36 V Series Stepping Motor drivers);
2. стандартные (Standard 36 V Stepping Motor Drivers);
3. микрошаговых двигателей (Microstep 36 V Series Stepping Motor Driver);
4. низковольтные (Low Voltage Series Stepping Motor Drivers);
5. высоковольтные (High Voltage Series Stepping Motor Drivers) [2].

Классификационные параметры микросхем приведены в таблице 2, примечанием NEW в ней отмечены перспективные микросхемы, «даташиты» на которые выпущены или отредактированы в 2008–2009 гг.

Таблица 2. Классификационные параметры микросхем привода

Категория	Тип микросхемы	U _{пит} , В	I _{вых} , А	I _{потр} , мА	R _{он} , Ом	Корпус		
1	BD6387EFV	10–28	2	4,5	0,8	HTSSOP-B40		
	BD6385EFV		1,5		1			
	BD6383EFV		1		1,5			
	BD6389FM		2,2		0,7	HSOP-M36		
NEW 1	BD63877EFV	19–28	2	2	0,7	HTSSOP-B28		
	BD63875EFV		1,5		1			
	BD63873EFV		1		1,9			
	BD63876EFV		2		0,7			
	BD63874EFV		1,5		1			
	BD63872EFV		1		1,9			
2	BD6395FP	16–28	1,5	3	1,2	HSOP25		
	BD6393FP		1,2		1,5			
2	BD6290EFV	19–28	0,8	3	2,8	HTSSOP-B24		
NEW 2	BD63960EFV	19–28	1,5	2,7	1,1	HTSSOP-B24		
	BD63940EFV		1,2		1,4			
2	BD63920EFV	19–28	0,8	2,7	2,8	HTSSOP-B24		
NEW 2	BD63801EFV	19–28	0,8	2,7	2,8	HTSSOP-B24		
	BD63860EFV		16–28		2,5		4	0,8
	BD63847EFV		19–28		2		2,5	0,85
NEW 3	BD63843EFV	19–28	1	2,5	1,9	HTSSOP-B28		
	BD6382EFV		5,5–13,5		0,8		1,6	1,2
4	BD6381EFV	6–13,5	1,2	1,6	1	HTSSOP-B24		
	BD6380EFV	4–13,5	0,8		1,2			
NEW 5	BD6425EFV	19–42	1,5	2	1,1	HTSSOP-B28		
5	BD6423EFV	19–42	1	2	2	HTSSOP-B24		
	BD6422EFV					HSSOP-B24		

Рассмотрим особенности драйверов более подробно. Структура и типовое включение микросхем BD63873/63875/63877EFV (категория 1) приведены на рис. 1. Эти микросхемы предназначены для построения высококачественных систем электропривода БШД с токовым ШИМ-управлением. H-мосты выполнены на полевых DMOS-транзисторах с низким сопротивлением канала $R_{ds\ on}$, что обеспечивает малые потери и высокую эффективность электропривода. Микросхемы могут работать в полношаговом, полушаговом и четвертьшаговом режимах. Они обеспечивают режимы с регулировкой тока спада, экономичный режим; переключение направления вращения БШД вперед/назад; выключение активного режима.

В состав микросхем входят: преобразователь команд микропроцессора управления; двухразрядный ЦАП для регулировки выходного тока; формирователь управляющих ШИМ-импульсов; генератор тока; формирователь управляющих ШИМ-импульсов; генератор

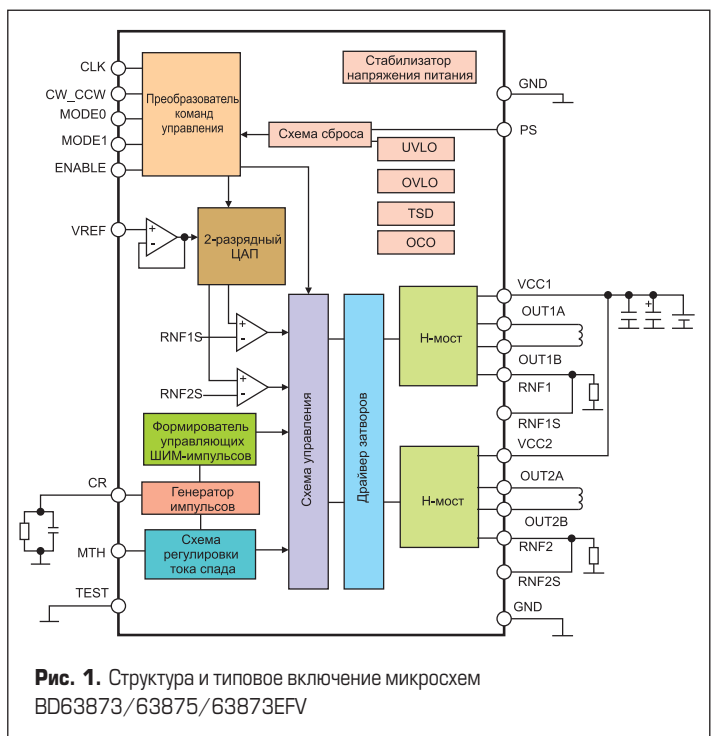


Рис. 1. Структура и типовое включение микросхем BD63873/63875/63877EFV

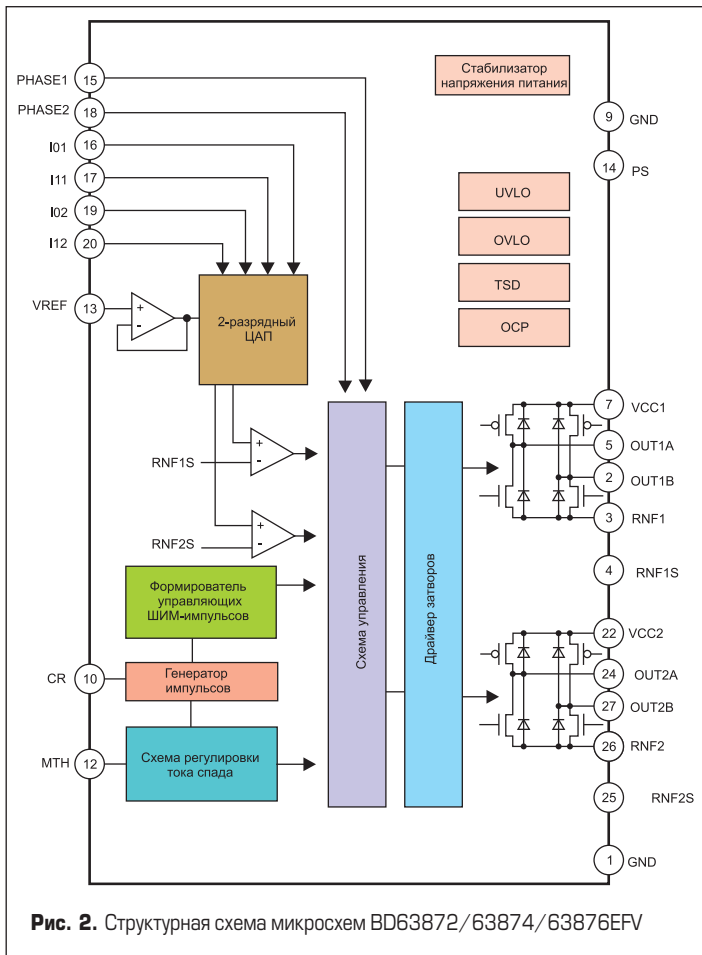


Рис. 2. Структурная схема микросхем BD63872/63874/63876EFV

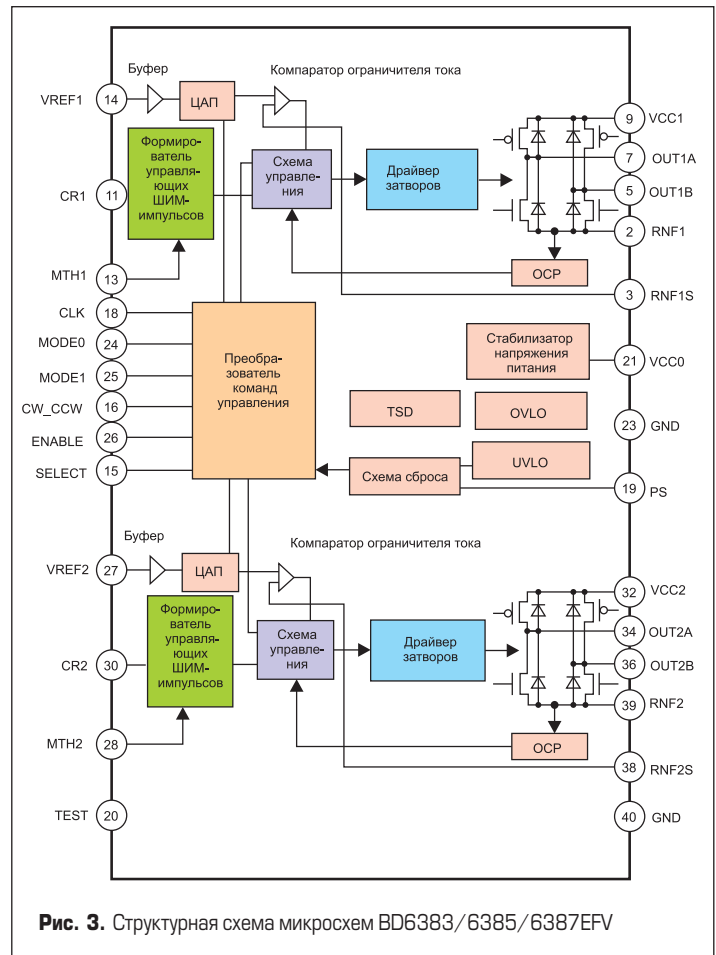


Рис. 3. Структурная схема микросхем BD6383/6385/6387EFV

импульсов; схема регулировки режимов спада тока; стабилизатор напряжения; схема выключения активного режима; схема защиты от пониженного напряжения; схема защиты от перегрузки; схема температурной защиты; схема защиты от перегрузки по току H-мостов; схема управления; драйверы затворов; выходные H-мосты на DMOS-транзисторах. Основные параметры микросхем (помимо приведенных в табл. 2) указаны в таблице 3.

Структура микросхем BD63872/63874/63876EFV (категория 1) показана на рис. 2, эта серия отличается, в основном, только интерфейсом управления — применен параллельный интерфейс PARALLEL IN (выводы 15–20 микросхем), других существенных отличий нет.

Структура микросхем BD6383/6385/6387EFV (категория 1) приведена на рис. 3. Микросхемы содержат два драйвера с независимыми входами управления VREF1/2, CR1/2, MTH1/2, интерфейсы управления — CLOCK IN/PARALLEL IN, возможно микрошаговое управление. Наличие отдельных входов VREF1, 2 позволяет оптимизировать микрошаговый режим с целью уменьшения шумов и вибраций двигателя (рис. 4). Приведем отличающиеся параметры микросхем (в сравнении с параметрами микросхем серии BD63873/63877):

- диапазон управляющих напряжений V_{REF} — 0–2 В;
- пороговое напряжение компараторов RNF1S, 2S — 0,36–0,44 В (для BD6387EFV);

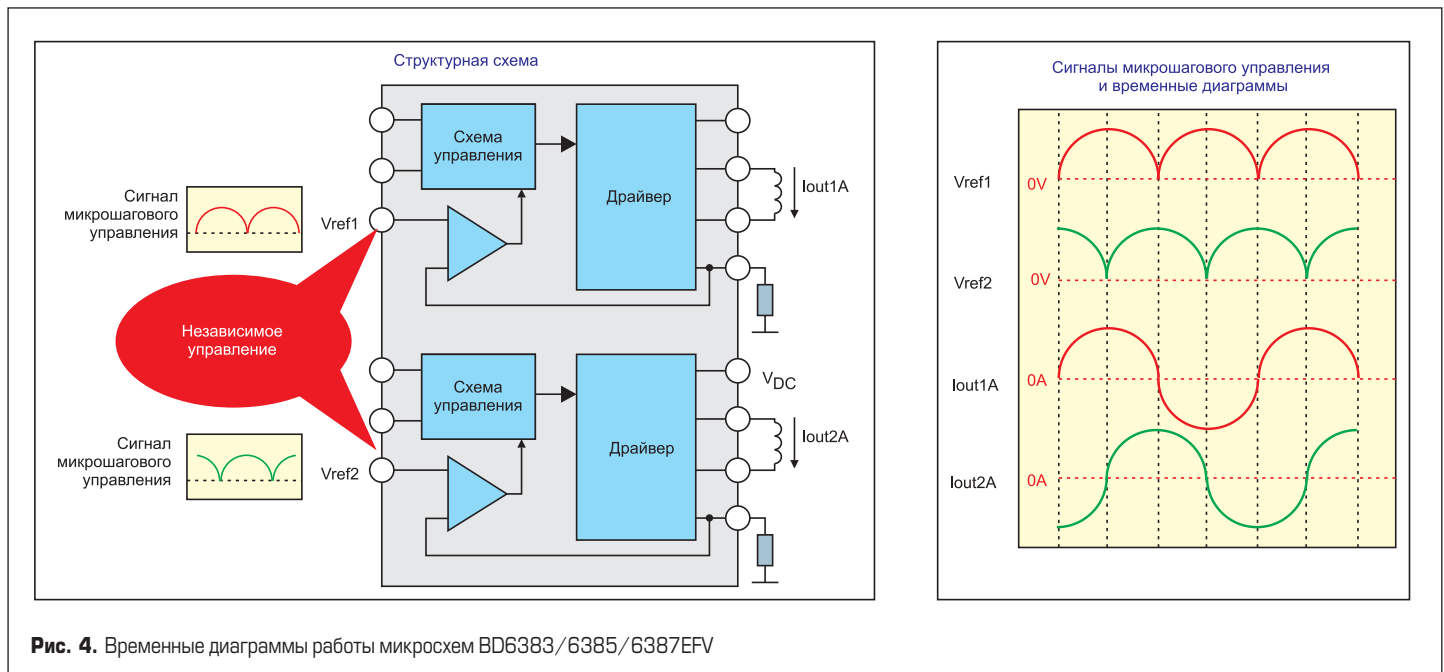


Рис. 4. Временные диаграммы работы микросхем BD6383/6385/6387EFV

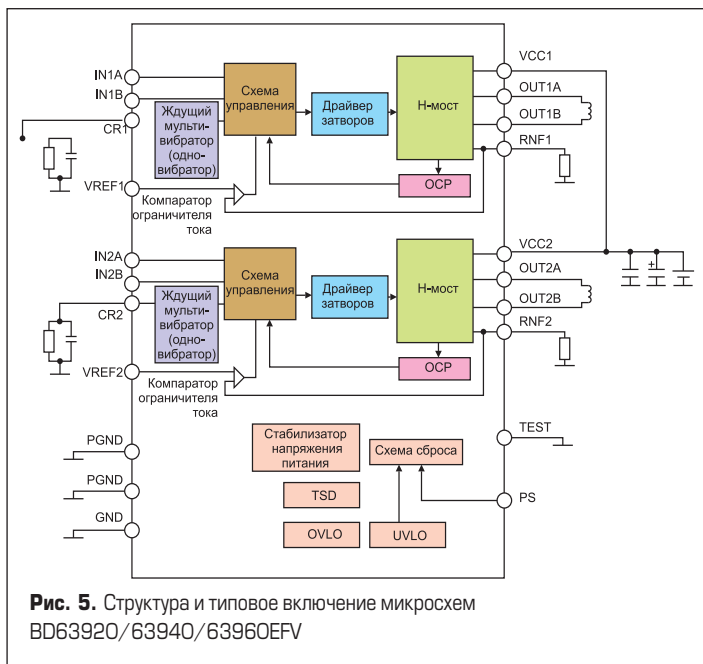


Рис. 5. Структура и типовое включение микросхем BD63920/63940/63960EFV

Таблица 3. Основные параметры микросхем

Максимальная мощность рассеяния	1,45 Вт (при установке на площадку печатной платы размерами 70×70×1,6 мм)
Максимальное напряжение питания $V_{CC1,2}$	Не более 36 В
Напряжение «лог. 0»/«лог. 1» на всех входах управления	Не более 0,8 В/не менее 2 В
Диапазон управляющих напряжений V_{REF}	0–3 В
Диапазон управляющих напряжений V_{TH}	0–3,5 В
Пороговое напряжение компараторов RNF1S, 2S	0,57–0,63 В (для BD63877EFV при $V_{REF} = 3 В$)
Минимальное время включения	0,3–1,5 мкс (при $C = 1000 пФ$, $R = 39 кОм$)

- минимальное время включения — 0,3–1,2 мкс (при $C = 1000 пФ$, $R = 39 кОм$).

Микросхема BD6389FM отличается от микросхем этой серии типом корпуса и большей мощностью рассеяния (2,6 Вт на плате таких же размеров), остальные параметры практически те же.

Структура и типовое включение микросхем BD63920/63940/63960EFV (категория 2) приведены на рис. 5. H-мосты этих микросхем также выполнены на DMOS-транзисторах с малым сопротивлением канала $R_{ds\ on}$. Для управления драйверами используется параллельный интерфейс PARALLEL IN drive (отличается от параллельного интерфейса микросхем рассмотренных выше серий). Драйверы обеспечивают работу в полшаговом режиме, возможна реализация микрошагового управления,

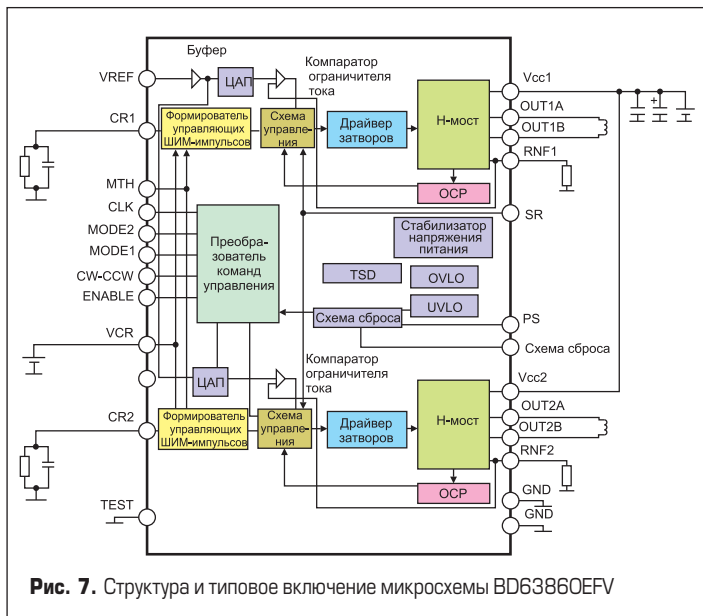


Рис. 7. Структура и типовое включение микросхемы BD63860EFV

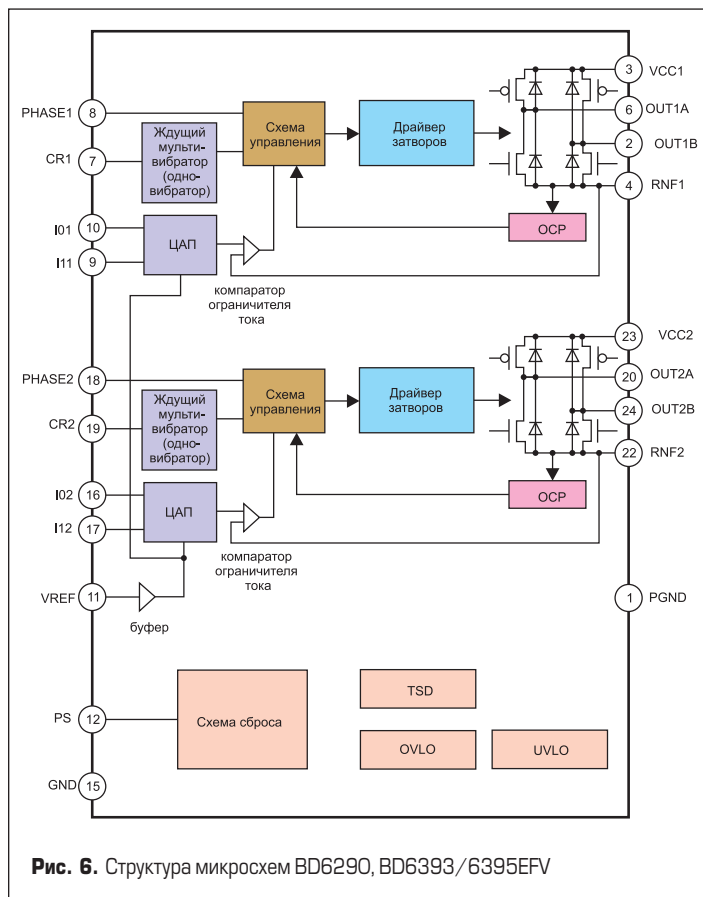


Рис. 6. Структура микросхем BD6290, BD6393/6395EFV

а также привод двух коллекторных двигателей. Все микросхемы серии совместимы по выводам, схемы защиты те же, что и у рассмотренных выше. В состав микросхем входят: схемы управления, ждущие мульти-вибраторы, драйверы затворов транзисторов H-мостов, стабилизатор напряжения, схема сброса и четыре схемы защиты (те же, что и у рассмотренных выше микросхем).

Структура микросхем BD6290EFV, BD6393/6395EFV (категория 2) приведена на рис. 6. Эта серия отличается наличием дополнительных разрядов сигналов управления PHASE1, 2, что обеспечивает реализацию режимов управления полношаговый, полшаговый, четвертьшаговый.

Микросхема BD63860EFV (категория 3) специально предназначена для реализации микрошагового режима, ее структура и типовое включение приведены на рис. 7. Диаграммы работы микросхемы в четырех возможных режимах показаны на рис. 8, основные ее параметры:

- максимальная мощность рассеяния — 1,45 Вт, V_{CC} макс. не более 36 В, I_{CC} не более 7мА;
- диапазон управляющих напряжений V_{REF} — 0–3,2 В;
- диапазон управляющих напряжений V_{TH} — 0–3,5 В;

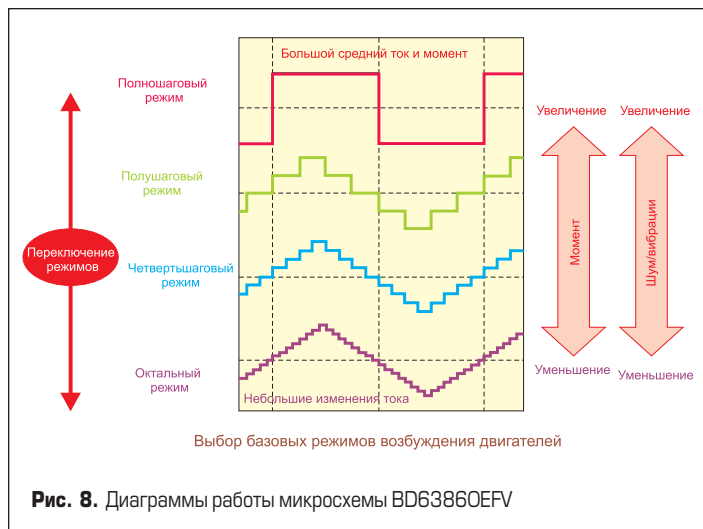


Рис. 8. Диаграммы работы микросхемы BD63860EFV

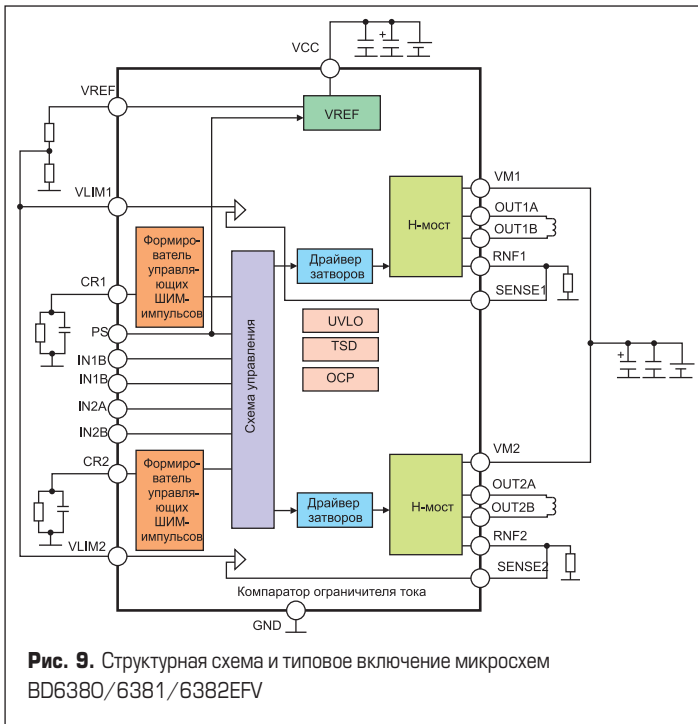


Рис. 9. Структурная схема и типовое включение микросхем BD6380/6381/6382EFV

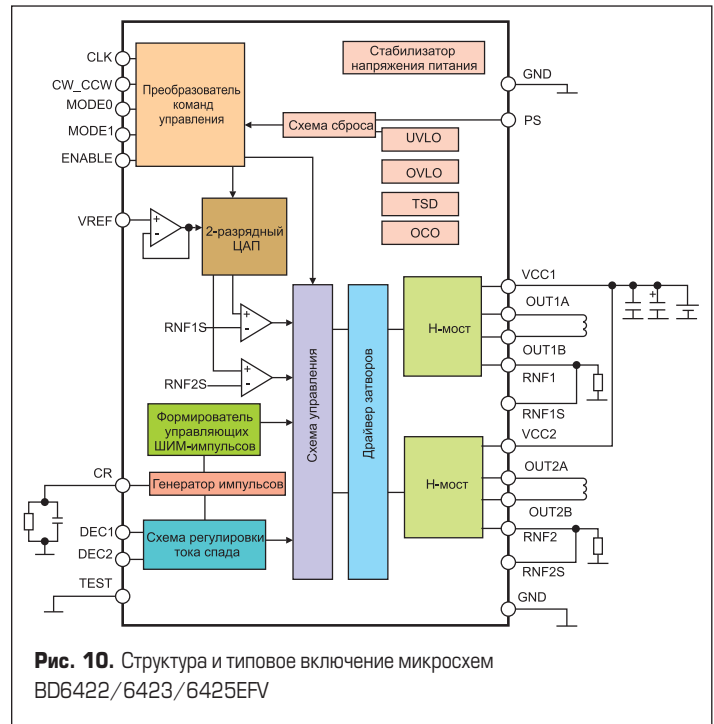


Рис. 10. Структура и типовое включение микросхем BD6422/6423/6425EFV

- минимальное время включения ($t_{on\ min}$) — 0,2–0,92 мкс (типичное значение 0,54 мкс при $C = 1000$ пФ, $R = 39$ кОм).

Микросхемы BD6380/6381/6382EFV (категория 4) предназначены для электропривода БШД в мобильных приложениях, например в робототехнике и приложениях с низким напряжением питания, типичное включение микросхем приведено на рис. 9. Микросхемы серии отличаются высокой точностью поддержания образцового напряжения V_{REF} его нестабильность не превышает $\pm 3\%$ при значительных колебаниях напряжения питания, вызванного, например, разрядом батарей в мобильных приложениях. Управление микросхемами осуществляется по параллельному интерфейсу PARALLEL IN drive, основной режим — полшаговый, возможна реализация микрошагового управления. Основные параметры данных микросхем:

- допустимое напряжение питания V_{CC} — 2,5–5,5 В (BD6380/6381EFV), 3–5,5 В (BD6382EFV);
- ток потребления по цепи V_{CC} — не более 3 мА (типичное значение 1,6 мА), в дежурном режиме — не более 10 мкА;

- диапазон напряжений на входах VLIM 1, VLIM2 — 0–0,5 В, напряжение V_{REF} — 0,97–1,03 В (типичное значение 1 В).

Микросхемы BD6422/6423/6425EFV (категория 5) ориентированы на применение в приводах БШД средней мощности с токовым управлением, например в системах промышленной автоматике, матричных принтерах, швейных машинах и других приложениях. Типичное включение микросхем BD6423/6425EFV показано на рис. 10. Для работы микросхем этой серии используется внешнее возбуждение ШИМ-сигналом с фиксированной частотой. Традиционный

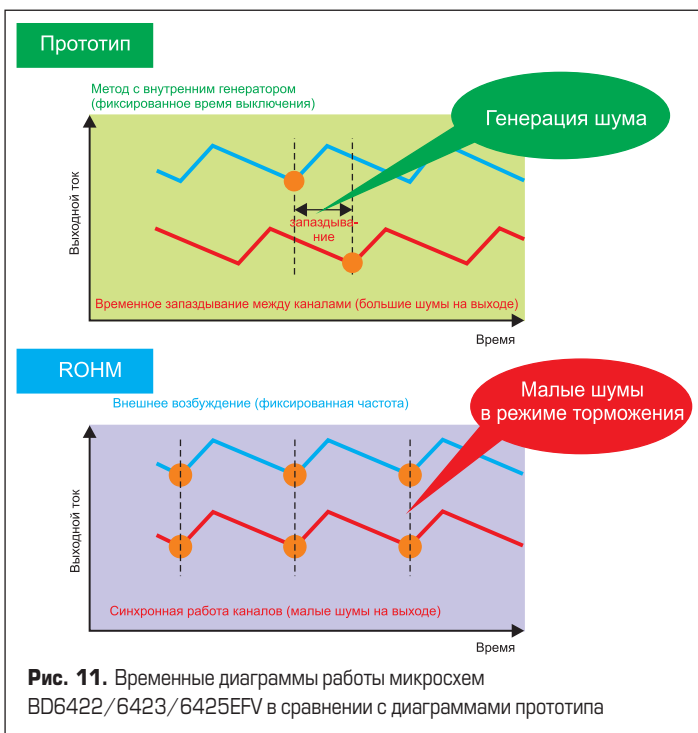


Рис. 11. Временные диаграммы работы микросхем BD6422/6423/6425EFV в сравнении с диаграммами прототипа

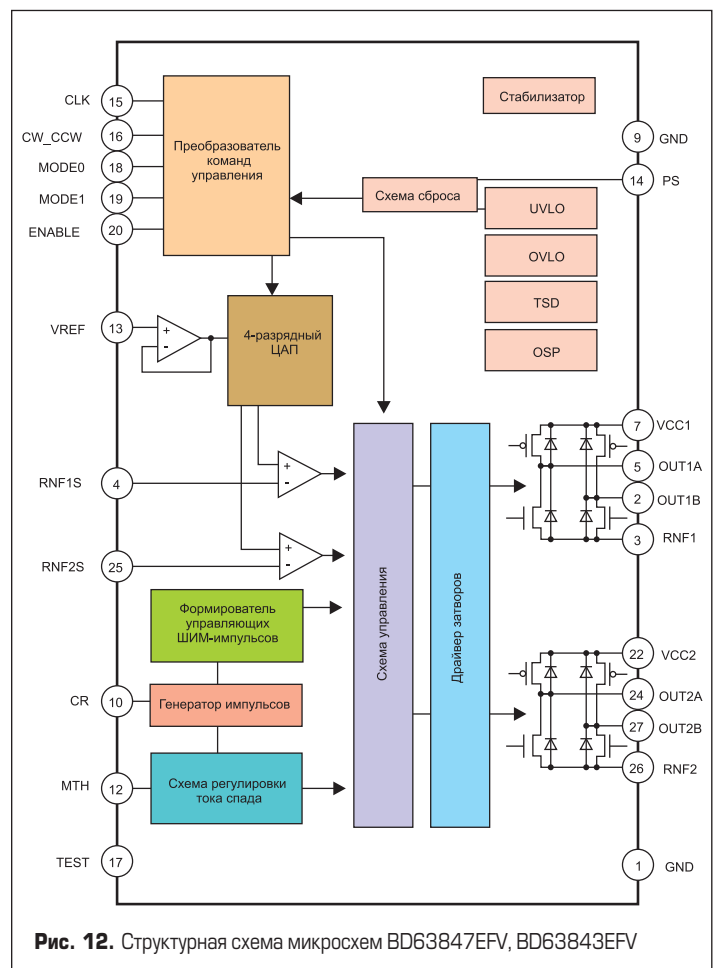


Рис. 12. Структурная схема микросхем BD63847EFV, BD63843EFV

метод с внутренним генератором ШИМ-сигнала сопровождается временным сдвигом между сигналами первого и второго каналов (рис. 11), что приводит к повышенному уровню вибраций и шума, создаваемого двигателем. Метод внешнего возбуждения устраняет запаздывание управляющих сигналов (Lag), в результате уровень шума снижается. В микросхемах реализована также возможность уменьшения выходного тока путем подачи двухразрядного кода на выходы DEC1, DEC2. Управление микросхемой BD6422EFV осуществляется по параллельному интерфейсу, микросхем BD6423/6425EFV — последовательному. Режимы работы: полношаговый, полушаговый, четвертьшаговый и октальный. Основные параметры микросхем:

- максимальная мощность рассеяния — 1,1 Вт, V_{CC} — 1,2 (макс. не более 45 В), I_{CC} не более 5 мА;
- пороговое напряжение компараторов RNF1S, RNF2S — 0,57–0,63 (при $V_{REF} = 3$ В);
- минимальное время включения — 0,5–3 мкс (при $C = 470$ пФ, $R = 82$ кОм).

В конце 2010 г. фирма представила два новых драйвера микрошаговых двигателей с токовым ШИМ-управлением — BD63847EFV, BD63843EFV. Структура микросхем приведена на рис. 12. Микросхемы обеспечивают привод двух двигателей в четырех режимах: полношаговый, полушаговый, октальный и 1/16 шага. Микросхемы обеспечивают регулировку тока спада, имеются встроенный преобразователь команд управления, схема токовой защиты (ОСР), защиты от высокого и низкого напряжений (UVLO, OVLO), температурной защиты (TSD).

Подробные материалы по применению микросхем предоставляются по запросам разработчиков, некоторые особенности расчета схем привода можно получить на сайте фирмы [3].

Литература

1. Ридико Л. Контроллер шагового двигателя. <http://kazus.ru/shemes/showpage/0/843/1.html>.
2. http://www.rohm.com/products/lsi/motor/stepping_motor/selection/.
3. <http://www.rohm.com/ad/sim/index.html>.