

## Шаговые двигатели: промышленные решения

Владимир РЕНТЮК  
rvk.modul@gmail.com

**В статье рассматриваются промышленные решения для потребителей шаговых двигателей на примере двигателей компании Ever Elettronica (Италия), которые предназначены для широкого круга применений.**

В шаговых двигателях, в отличие от остальных типов двигателей постоянного тока, поворот ротора осуществляется на некоторый угол, или, как принято говорить, шаг (англ. — step), при подаче на обмотки двигателя импульса напряжения — отсюда и название двигателя: stepper motors или stepping motors (англ.). Этот шаг определяется конструктивными особенностями двигателя и схемой его управления. Основная особенность шаговых двигателей состоит в том, что шаг сдвига ротора не зависит от величины тока обмоток, следовательно, не зависит ни от амплитуды, ни от длительности импульса напряжения, поданного на обмотки такого двигателя. Но естественно, что момент силы, развиваемый двигателем, зависит не только от величины тока в обмотках, но и от длительности поданного на них импульса. Момент вращения ротора шагового двигателя, в противоположность остальным типам двигателей постоянного тока, максимален именно на минимальной скорости вращения. Двигатели этого типа нашли применение в механических системах точного позиционирования и робототехнике. Читатели журнала «Компоненты и технологии» имели возможность ознакомиться с основными разновидностями шаговых двигателей, особенностями их применения и схемами простейших драйверов управления [1], но упомянутая статья не освещала вопросы промышлен-

ных поставок данного вида оборудования. Настоящая статья должна в некоторой мере заполнить пробел. Область применения шаговых двигателей очень обширна, соответственно велика и потребность в них. Такую потребность рынка удовлетворяет или старается удовлетворить большое количество поставщиков, причем как прямых дистрибьюторов, так и каталожных поставщиков. Из последних, например, широко известны компании Elfa Distrelec и RS Components.

Шаговые двигатели — это не тот продукт, который можно использовать от случайных поставщиков и no-brand-изготовителей. Подобная экономия будет дорого стоить. Эти изделия сами по себе не из дешевых, но если смотреть комплексно, то их особенности целиком и полностью как с точки зрения простоты технических решений, так и с точки зрения экономики оправдывают их применение в самой широкой сфере.

В настоящей статье не ставится задача объять необъятное и расписать все доступные программы поставок. Ее цель — на примере одной компании, причем европейской компании-производителя, показать потенциальным потребителям все основные доступные решения в области шаговых двигателей. Для этого выбрана гамма двигателей, предлагаемая итальянской компанией Ever Elettronica, которая является одним из крупнейших изготовителей в Европе [2]. Изделия указанной компании представлены на рын-

ках Российской Федерации и Украины. Ever Elettronica имеет службу технической поддержки, а также предоставляет все необходимые каталоги, техническую документацию и сертификаты на поставляемую продукцию. Следует особо подчеркнуть, что в линейке продуктов итальянского производителя есть не только традиционные шаговые двигатели с вращающимся ротором, но и линейные шаговые двигатели, контроллеры управления и шаговые двигатели с уже встроенными системами управления. Это позволяет легко и гибко интегрировать предлагаемые компанией продукты в конечные изделия. Двигатели поставляются со степенью защиты от IP30 до IP65.

Область применения описываемых продуктов достаточно широка:

- упаковка и наклейка этикетки (этикетировочные головки, этикетировочные машины карусельного типа, управление тарелочками в этикетировочных машинах карусельного типа, управление операциями упаковочных машин Flow Pack вертикального и горизонтального типа, фасовочные машины, термоформовочные машины);
- печать и керамика (флексографические машины и машины трафаретной печати, трафаретная печать на стекле, печать на тканях);
- станки с ЧПУ и оборудование для деревообработки (фрезеровальные машины, обрабатывающие центры и др.);
- текстильная промышленность (мотальные машины, вязальные машины и др.);
- медицина (управление рентгеноскопическими аппаратами; управление процессом дозирования и др.);
- офисы и банки (сканеры контроля банковских чеков и документов, счетчики банкоматов, управление телекамерами видеонаблюдения и др.);
- управление солнечными батареями.

Как можно видеть, ряд доступных шаговых двигателей достаточно широк и может удовлетворить практически любые потребности заказчика. Для удобства выбора двигателя, необходимого потребителю, на рис. 1 приведена система кодирования двигателей компании Ever Elettronica.

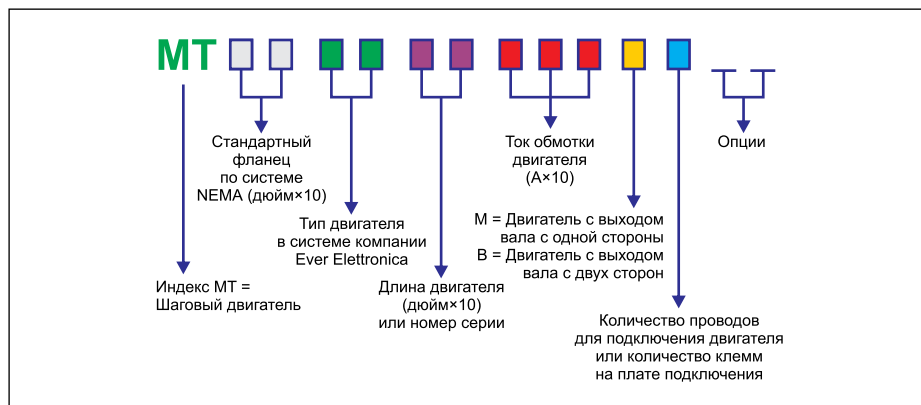


Рис. 1. Система кодирования двигателей компании Ever Elettronica



Рис. 2. Линейные шаговые двигатели MT10FL06002M601, MT10FL06002M403 и MT23FL06002M406

В обозначении двигателей есть ряд нюансов, которые лучше рассмотреть на примерах. Так, двигатель с маркировкой MT23FL06002M406 будет расшифровываться как шаговый двигатель с фланцем NEMA 23" (57 мм), тип двигателя (по кодировке Ever Elettronica) FL, серия 06 (в данном случае это не размер), ток обмотки 0,2 А, двигатель имеет один вал и четыре вывода для подключения (то есть он биполярный), 06 — вспомогательное обозначение. Необходимо учитывать еще одну особенность. Во-первых, ток обмоток, указанный в обозначении, округлен. Во-вторых, по разъяснению, которое получил автор статьи от инженера по применению компании Ever Elettronica Франческо Сонзони (Francesco Sonzogni), в обозначении, указывающем на ток обмоток двигателей, иногда (по заверению, это касается примерно 1% изделий) приведен некий начальный ток потребления, не соответствующий току в установившемся режиме. Такое представление, на взгляд автора статьи, не совсем корректно и может ввести потребителя в заблуждение. В частности, согласно обозначению двигателя MT10FL06002M406 можно ожидать, что ток обмоток равен, как и в предыдущем примере, 0,2 А. Однако на самом деле ток обмоток этого двигателя согласно спецификации составляет 0,5 А. Ту же величину дает и расчет тока в обмотках данного двигателя. Поэтому для исключения ошибок необходимо обязательно уточнять этот параметр по спецификациям, которые доступны по прямым гиперссылкам из таблиц на сайте компании [2].

Линейные шаговые двигатели (двигатели с линейным перемещением ротора), или актуаторы, от компании Ever Elettronica представлены тремя сериями шаговых двигателей на постоянных магнитах: MT23FL, MT14FL и MT10FL. Внешний вид некоторых двигателей серий MT23FL, MT14FL и MT10FL представлен на рис. 2. Базовые схемы (типы) подключения обмоток двигателей показаны на рис. 3.

Особенность линейных шаговых двигателей состоит в том, что перемещение их ротора осуществляется линейно синхронно с каждым импульсом управления и на строго определенный шаг. Для двигателей всех представленных серий данная величина рав-

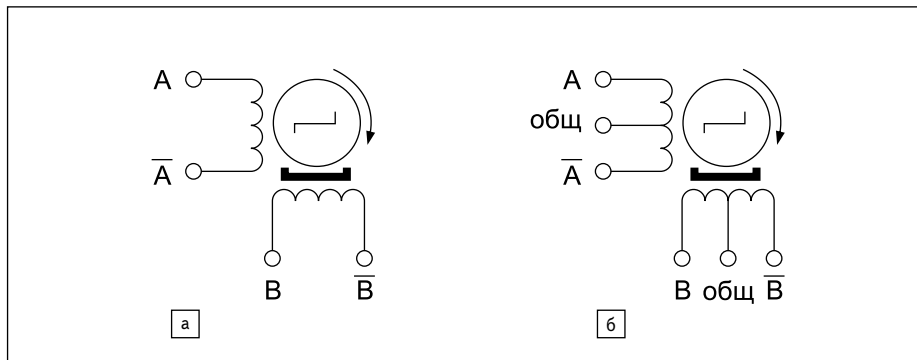


Рис. 3. Базовые типы подключения обмоток шаговых двигателей: а) биполярный; б) однополярный (униполярный)

на 41,7 мкм. Основные технические характеристики двигателей этих серий представлены в таблице 1. Более подробные спецификации двигателей, включая габаритные чертежи и схемы подключения обмоток, доступны в спецификациях на сайте компании, а уточнить информацию можно через службу технической поддержки. Кроме спецификаций, приведенных на сайте, предлагается использовать удобный общий каталог [3], доступный по приведенной ссылке или на сайте компании после несложной регистрации [4]. Каталог содержит как основные характеристики двигателей, так и ряд важных дополнительных сведений, например графики моментов и скоростей.

Программа поставок «обычных» шаговых двигателей, то есть двигателей с вращающимся ротором, содержит более четырехсот наименований; 72 из них — двигатели с постоянными магнитами, остальные — гибридные. Двигатели с постоянными магнитами состоят из статора, который имеет обмотки, и ротора, содержащего постоянные магниты. Чередующиеся полюса ротора имеют прямолинейную форму и расположены параллельно оси двигателя. Когда в одной из катушек включен ток, ротор стремится занять такое положение, при котором разно-

именные полюса ротора и статора находятся друг напротив друга. Двигатели с постоянными магнитами имеют малый удерживающий момент и подвержены влиянию обратной ЭДС со стороны ротора, ограничивающей их максимальную скорость. Еще одной особенностью двигателей с постоянными магнитами является большой шаг. Обычно он составляет 15°, 18° или 7,5°. Вот почему двигатели этого типа имеют заметную неравномерность вращения. Она присуща всем шаговым двигателям и устраняется установкой понижающего редуктора, который часто смонтирован непосредственно с двигателем. При этом, естественно, увеличивается момент вращения, но снижается скорость. Доступные редукторы и их характеристики также приведены на сайте компании.

Гибридные двигатели являются более дорогими, чем двигатели с постоянными магнитами. Они обеспечивают меньшую величину шага, больший момент и большую скорость. Ротор гибридного шагового двигателя имеет зубцы, расположенные в осевом направлении. Типичное число зубцов гибридного двигателя от 100 до 400 (угол шага 3,6°–0,9°). Статор гибридного двигателя также имеет зубцы, обеспечивая большее количество эквивалентных полюсов,

Таблица 1. Приводы линейные шаговые производства компании Ever Elettronica

Наименование	Напряжение, В	Максимальное рабочее усилие, Н	Максимальный ход привода, мм	Ток фазный, А	Тип обмотки	Длина, мм	Поперечный размер, мм
MT23FL06002M406	12	31	12	0,23		34,5	57
MT14FL06002M405	12	25	12	0,23		40,4	31,8
MT14FL06002M404	12	25	12	0,23		44,5	33,7
MT14FL06002M403	12	25	12	0,23		44,5	33,7
MT14FL06002M402	12	25	12	0,23		44,6	33,7
MT14FL06002M602	12	25	12	0,23		42,5	33,8
MT14FL06002M601	12	25	12	0,23		42,5	33,8
MT14FL06002M401	12	25	12	0,23		42,5	33,8
MT10FL06002M406	12	31	40	0,5	Биполярный	21	25,2
MT10FL06002M405	6	7,5	40	0,5	Биполярный	21	25,2
MT10FL06002M404	12	25	40	0,23	Биполярный	21	25,2
MT10FL06002M403	12	25	12	0,23	Биполярный	21	25,2
MT10FL06002M402	5	10	12	0,23	Биполярный	21	25,2
MT10FL06002M603	5	30	40	0,23	Однополярный	21	25,2
MT10FL06002M602	5	7	12	0,23	Однополярный	21	25,2
MT10FL06002M601	12	25	12	0,23	Однополярный	21	25,2
MT10FL06002M401	12	25	12	0,23	Биполярный	21	25,2

Примечание. Диапазон рабочих температур окружающей среды для двигателей от –20 до +50 °С.



Рис. 4. Шаговый двигатель с постоянными магнитами серии MT17FJ

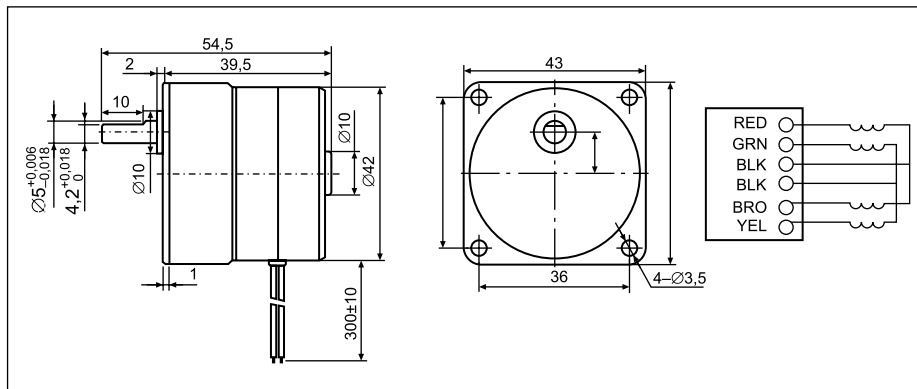


Рис. 5. Габаритный чертеж и схема подключения обмоток шагового двигателя серии MT17FJ

на которых расположены обмотки. Обычно используется четыре основных полюса для 3,6° и восемь основных полюсов для 1,8° или 0,9°. Большинство двигателей этого типа имеют 100 полюсов (50 пар), и с учетом двухфазного исполнения полное количество полюсов достигает 200, а угол шага равен 1,8°. Более подробная информация по типам двигателей представлена в [1].

Среди шаговых двигателей с постоянными магнитами компании Ever Elettronica наиболее широко представлены двигатели серий: MT14AJ, MT17AJ, MT08MF, MT12FJ, MT14FJ, MT17FJ, MT14FL и MT17FL. Потребитель может выбрать двигатели с удерживающим моментом от 2,6 до 392 мН·м. Часть двигателей уже содержит встроенные понижающие редукторы, обеспечивающие кроме стандартного шага в 18°, 15° и 7,5° еще и сверхмалый шаг двигателя вплоть до 0,05°. Доступны двигатели как с биполярной, так и с униполярной конфигурацией обмоток, что упрощает построение систем управления. Наиболее широко представлена серия MT17FJ. Внешний вид двигателя данной серии показан на рис. 4. Габаритный чертеж и схема подключения обмоток изображены на рис. 5. Основные характеристики двигателей перечисленных серий приведены в таблице 2.

В качестве примера на рис. 6 приведена зависимость момента на валу двигателя MT14FJ09002M601 от скорости вращения его ротора, более подробно об особенностях использования таких зависимостей см. [1].

Таблица 2. Доступные серии в поставке шаговых двигателей с постоянными магнитами производства компании Ever Elettronica

Наименование серии	Доступно вариантов	Номинальное напряжение, В	Удерживающий момент, мН·м	Шаг двигателя	Передаточное число
MT8AI05xx	1	12	2,6	18°	
MT12AJ05xx	1	12	13	7,5°	
MT12AX10xx	1	12	20	0,495°	Нет данных
MT14FJ09xx	1	24	68	7,5°	
MT14AJ06xx	2	3,75; 5	37; 36	7,5°	
MT14AJ09xx	2	3; 12	48; 52	7,5°	
MT17AJ06xx	2	37; 12	37; 56	7,5°	
MT17AJ09xx	1	36	68	7,5°	
MT08FF05xx	3	12; 5	3,92; 2,646	18°	
MT10FF08xx	2	12; 5	7,84; 5,88	18°	
MT12FY07xx	2	9; 12	13,72; 12,74	15°	
MT12FJ06xx	4	12; 5	16,66; 15,68; 11,76; 10,78	7,5°	
MT14FY09xx	2	5	32,84; 29,4	15°	
MT14FJ09xx	4	5; 12	53,9; 78,4	7,5°	
MT14FJ07xx	2	5; 12	29,4; 34,3	7,5°	
MT17FJ09xx	3	4,2; 12, 5	78,4; 53,9; 58,8	7,5°	
MT17FJ07xx	2	12; 5	58,8; 49	7,5°	
MT17FJ22xx	24	6; 12; 24	39,2; 89,2; 107,8; 156,8; 245; 294; 343; 392; 303,8; 117,6; 274,4	0,75°; 0,3°; 0,25°; 0,15°; 0,1°; 0,075°; 0,0625°; 0,05°; 0,1°	10; 25; 30; 50; 75; 100; 120; 150
MT20FJ12xx	1	5	166,6	7,5°	
MT23FJ10xx	12	12; 5,6	147; 117,6	7,5°	
MT06FL05xx	1	12	3,9	18°	
MT08FL08xx	1	5	5,8	18°	
MT10FL07xx	1	5	11,8	7,5°	
MT10FL09xx	1	9	13,2	15°	
MT14FL09xx	2	12; 24	51; 44,1	7,5°; 15°	
MT17FL09xx	1	12	49	7,5°	
MT17FL06xx	1	12	53,9	7,5°	
MT23FL10xx	1	12	147	7,5°	

Как уже отмечалось, программа поставок гибридных шаговых двигателей значительно шире, так как именно эти двигатели занимают

главную позицию в прецизионных приводах. Потребитель может выбрать двигатели с удерживающим моментом от 12 мН·м до 30 Н·м. В отличие от двигателей с постоянными магнитами, гибридные двигатели обычно не содержат встроенные редукторы. Они конструктивно обеспечивают малый шаг двигателя вплоть до 0,9°, но, как правило, он равен 1,8°.

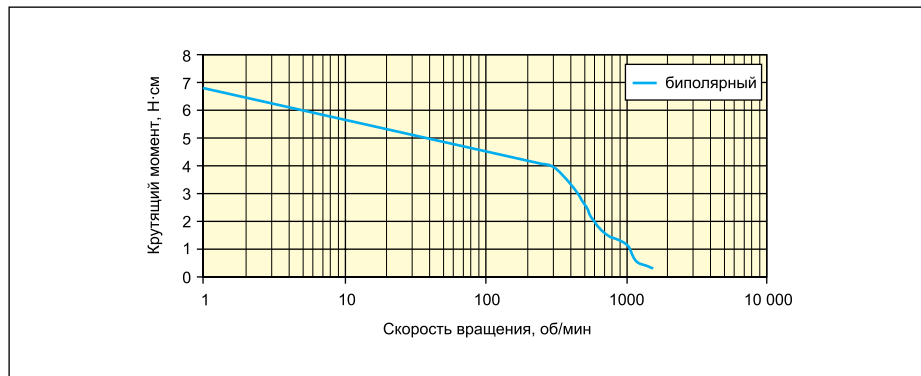


Рис. 6. Зависимость момента на валу двигателя MT14FJ09002M601 от скорости вращения: напряжение питания 24 В, ток фаз 0,2 А (последовательное включение)



Рис. 7. Гибридные шаговые двигатели серии MT23FK

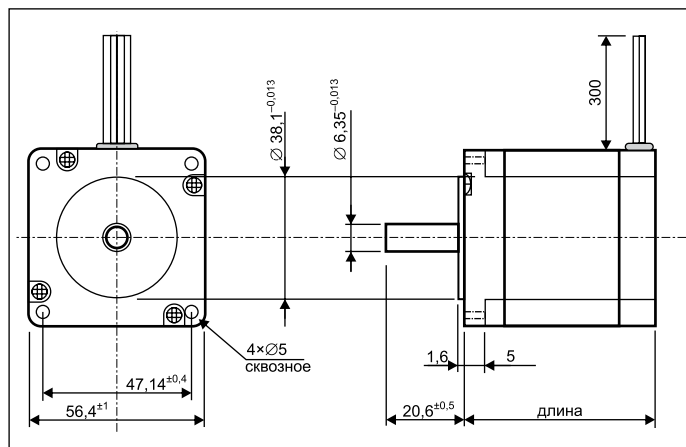


Рис. 8. Габаритный чертеж шагового двигателя серии MT23FK

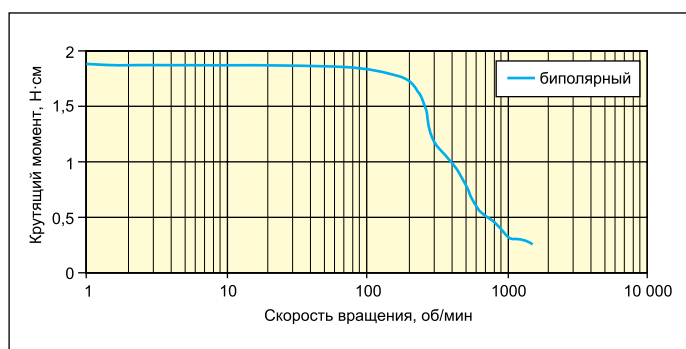


Рис. 9. Зависимость момента на валу двигателя MT23FK30042M401 от скорости вращения: напряжение питания 30 В, ток фаз 4,2 А

С соответствующей системой управления (микрошаговое управление) этот шаг может быть установлен сколь угодно меньше [1]. Редуктор может быть установлен при необходимости увеличения момента на валу двигателя. Для гибридных шаговых двигателей также имеется возможность выбора двигателей как с биполярной, так и с униполярной конфигурацией обмоток (подробно в [3]). Конструктивное исполнение двигателей — с одним и двумя валами — подробно описано в [3]. Наиболее широко представлены серии гибридных шаговых двигателей MT17FP и MT23FK. Внешний вид двигателя серии MT23FK представлен на рис. 7. Габаритный чертеж двигателя этой серии изображен на рис. 8, а график зависимости момента на валу двигателя MT23FK30042M401 от скорости вращения показан на рис. 9. Основные технические характеристики гибридных шаговых двигателей приведены в таблице 3. ■

Таблица 3. Доступные серии в поставке гибридных шаговых двигателей производства компании Ever Elettronica

Наименование серии	Доступно вариантов	Номинальное напряжение, В	Удерживающий момент, мН·м	Шаг двигателя
MT10AP10xx	1	2,66	33	1,8°
MT10AU06xx	1	4,2	12	3,75°
MT12FPxx	2	3,8; 6,2	59; 117	1,8°
MT14FPxx	1	10	98	1,8°
MT17AP6xx	9	2,9; 6; 14; 3,5; 12; 3,2; 4,2; 4,7; 2,16	130; 117; 240; 245; 206; 230; 490; 450	1,8°
MT23AKxx	12	12; 5; 5,1; 4,4; 3,52; 1,14; 2,1; 6,3; 1,8; 3	497; 882; 950; 1078; 833; 784; 970; 1760; 882; 1300; 1675; 1700	1,8°
MT23FKxx	7	2; 2,94; 6,6; 2,27; 3,3; 2,58; 2,1	539; 980; 5890; 1269; 1890	1,8°
MT23ALxx	4	2,1; 5,3; 3,5; 2,4; 1,65	657; 490; 509; 686	1,8°
MT24FKxx	7	2,5; 2,25; 3,6; 2,64; 5,46; 3,9; 3,3	1078; 1617; 2150; 3300; 3500	1,8°
MT34FVxx	6	2,39; 3,36; 4,2; 6,13	4500; 8500; 12 000	1,8°
MT34FNxx	12	2,45; 3,71; 3,36; 2,34; 3; 4,55; 3,24; 2,27; 6,3; 4,2	3400; 4500; 8500; 12 500	1,8°
MT34FHxx	3	1,65; 2,31; 3,82	2800; 4800; 3760	1,8°
MT34FPxx	4	2,55; 4,3; 1,91	80; 240	1,8°
MT42FVxx	2	4,35; 4,84	22 000; 30 000	1,8°
MT42FNxx	7	2,7; 2,5; 3,08; 6,58; 4,84	11 500; 22 000; 28 000; 30 000	1,8°
MT08FPxx	6	3,9; 4,32	17,64; 294;	1,8°
MT12FPxx	12	2,66; 3,8; 3,4; 4,56; 4,4; 6,2	42,2; 58,8; 73,5; 93,1; 88,2; 117,6	1,8°
MT14FPxx	6	7,4; 10; 2,7	98; 137,2; 68,6	1,8°
MT16FPxx	14	2,64; 6,5; 12; 6	63,7; 78,6; 205,8; 127; 284,2; 196; 274,2; 63,7	1,8°
MT17FYxx	24	4; 6; 12; 2,8	154,8; 215,6; 253,8; 323,4; 310,6; 431,2	0,9°
MT17FPxx	32	9,6; 4; 12; 2,8; 7,2; 1,8	166,6; 156,8; 215,6; 254,8; 352,8; 310,66; 637; 88,2; 154,84	1,8°
MT17FRxx	8	14; 15; 9,31; 9,38	88,2; 154,84; 76,2; 49; 51,94; 68,6	3,6°
MT23FYxx	24	5,7; 2,8; 1,9; 2; 7,4; 3,6; 2,3; 2,5; 8,6; 4,5; 3; 3,2	382,2; 539; 882,9; 1176; 1323	0,9°
MT23FPxx	24	4; 12; 2,8; 6; 2,38; 5,4	282,24; 392; 487; 676,2; 592,9; 823,2; 882; 1225	1,8°
MT23FKxx	56	5,7; 2,8; 1,9; 2; 6,6; 3,3; 2,2; 2,3; 7,4; 3,6; 2,5; 8,6; 4,5; 3; 3,2; 4,17; 2,1; 4,2; 3,52; 4,8; 5,04; 3,36; 8,4	382,2; 539; 706,3; 989,8; 882; 1234,8; 1852,2; 1078; 764,4; 1146,6; 1617; 2058; 2156; 3038; 1078; 1146,6; 1470; 2058	1,8°
MT34FHxx	6	3,64; 4,76; 4,97	2744; 4704; 7448	1,8°
MT34FPxx	20	1,8; 5,5; 0,7; 1,33; 3; 6; 12; 2,1; 5	1274; 1764; 2548; 3430; 3528; 4900	1,8°
MT34FNxx	16	3,64; 2,45; 3,36; 2,34; 4,45; 3,12; 6,12; 4,2; 3,64	333,2; 441; 833; 1225	1,8°
MT34FNxx	10	2,7; 2,5; 3,3; 4,6; 3	1127; 2156; 2940	1,8°
MT23FTxx	6	6,76; 4; 6	41,1; 88,2; 147	1,8°
MT34FTxx	10	7,43; 10,8; 5,22; 20,25; 14,3	221,48; 442,96; 664,44	1,2°
MT42FTxx	1	325	1364,16	1,2°

## Литература

1. Рентюк В. Шаговые двигатели и особенности их применения // Компоненты и технологии. 2013. № 10.
2. [www.everelettronica.it](http://www.everelettronica.it)
3. Step motors DC brushless motors Encoders & Gearboxes. EVER Elettronica January 2014, [http://www.everelettronica.com/images/documents/catalogue/Catalogo\\_motori\\_GB.pdf](http://www.everelettronica.com/images/documents/catalogue/Catalogo_motori_GB.pdf)
4. <http://www.everelettronica.com/en/products.html>