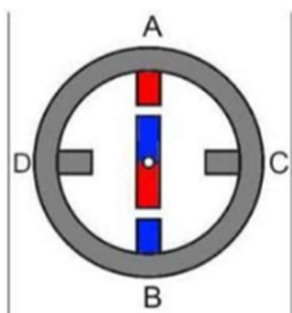


Принцип работы шагового двигателя

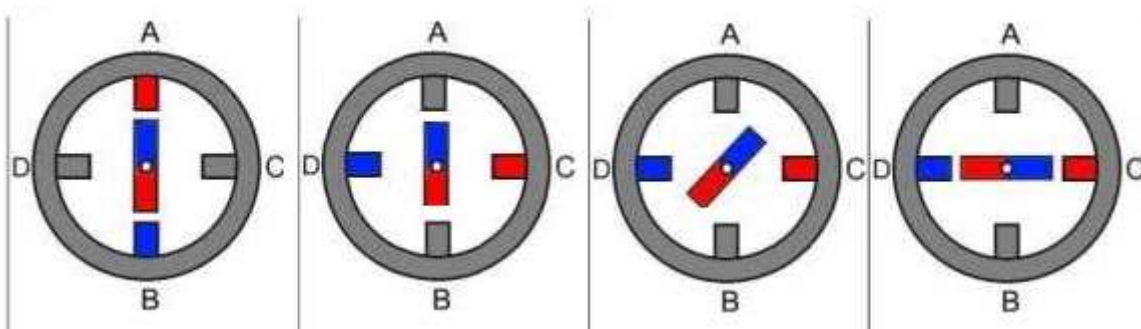
В шаговом двигателе вращение осуществляется на строго определенный угол. Это нужно для создания устройств, где очень важна точность перемещений – например, для станков с ЧПУ.

Шаговые двигатели работают следующим образом.

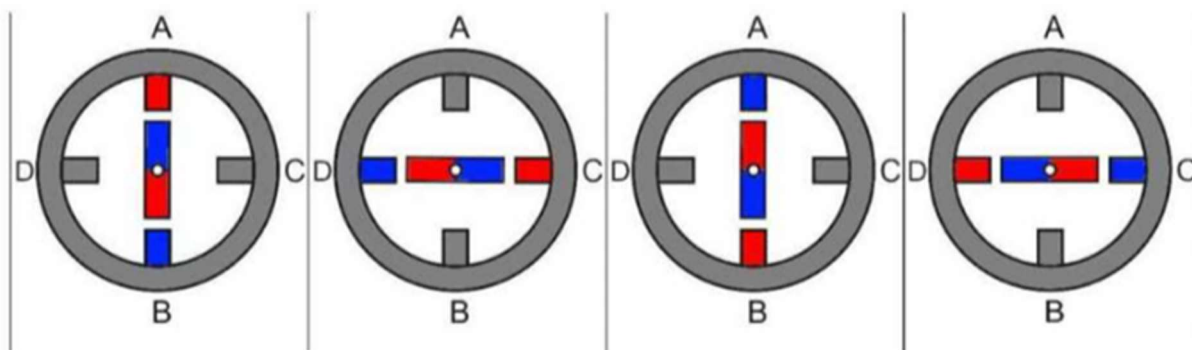
На статоре (неподвижной части электромотора) установлены две пары катушек. При подаче напряжения на одну из пар катушек они создают магнитное поле, причем катушки в паре создают поле различных полярностей. Ротор, состоящий из постоянных магнитов, магнитомягких материалов или гибридный, притягивается к этим катушкам и фиксируется магнитными силами.



После этого первую пару катушек (вертикальную) отключают и подают ток на вторую пару катушек (горизонтальную). Теперь уже они создают магнитное поле, и ротор поворачивается к ним (переводится в горизонтальное положение, см. рисунок ниже, случаи 2-4). Таким образом ротор совершает “шаг”, поворачиваясь на точно определенный угол – 90 градусов в данном случае.

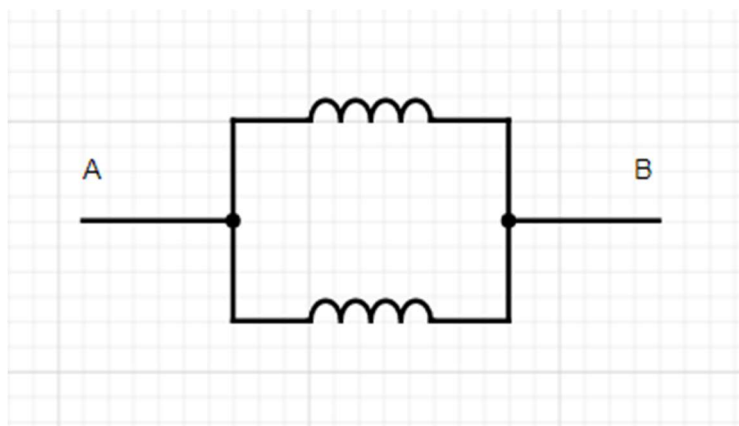


При шаге 90 градусов на полный оборот уходит четыре шага. В течение оборота, каждая из пар катушек включается 2 раза, причем каждый раз полюса создаваемых каждой из катушек полей изменяются, как показано на рисунке ниже.

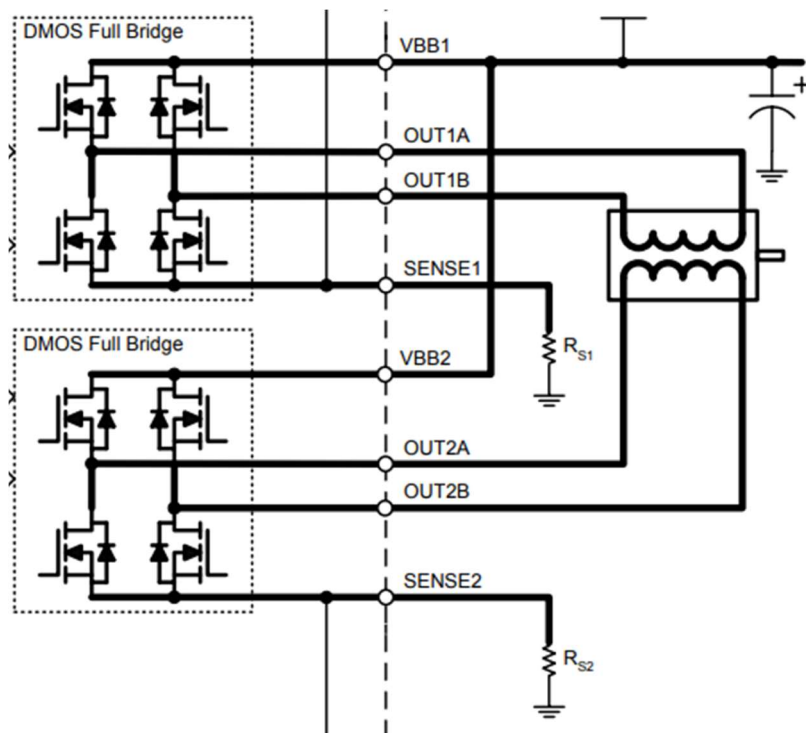


У часто используемых двигателей NEMA 23, угловой шаг равен не 90 градусов, а 1.8 градусов. Таким образом, для выполнения полного оборота требуется выполнить 200 шагов.

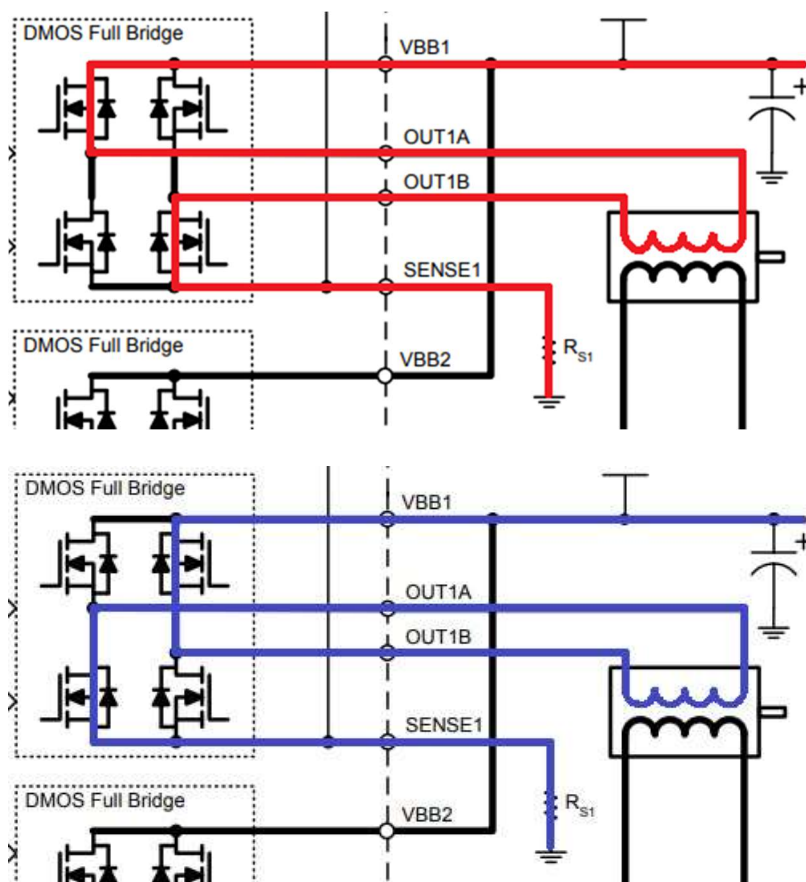
Несмотря на то, что в схеме задействовано 4 катушки, входов у электродвигателя не 8, а 4. Дело в том, что катушки в паре подключены параллельно. Тот факт, что две катушки в паре создают неодинаковые полюса объясняется не различным направлением течения тока в них, а разницей в направлениях намотки провода на обмотках.



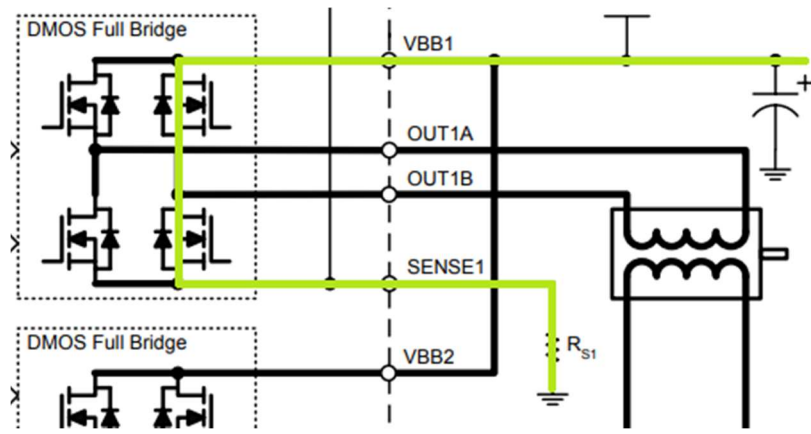
В ходе работы шагового двигателя поля, создаваемые парой катушек, часто меняют полярность. Для этого изменяется направление течения тока в катушках – то есть меняется полярность питания. Реализуется этот механизм следующим образом. На рисунке ниже представлена блок схема микросхемы драйвера шагового двигателя (4 ключевых транзистора по мостовой схеме в каждом канале) и подключенные две катушки двигателя.



В зависимости от того, какие транзисторы открыты, ток может течь от OUT1A к OUT1B или наоборот:



Ситуация, когда два транзистора в одной линии открыты, недопустима, так как это приведет к короткому замыканию.



Микростепирование

Микростепирование - это один из режимов работы шагового двигателя. В этом режиме драйвер двигателя может не только подавать или отключать ток максимальной величины на обмотки двигателя, но и регулировать величину этого тока. Энергия магнитного поля катушки зависит от силы протекающего через нее тока:

$$W = \frac{LI^2}{2}$$

Значит, силу магнитного взаимодействия катушек и ротора тоже можно контролировать. Тогда, если пустить ток некоторой величины через обе пары катушек, каждая из катушек создаст свое магнитное поле, и результирующее поле будет направлено между ними (по правилу сложения векторов). Ротор повернется в направлении это поля и окажется зафиксирован в некотором промежуточном состоянии. Таким образом шаг двигателя можно разбить на несколько более мелких шагов – то есть уменьшить атомарность углового вращения электродвигателя, не изменяя его конструкции.

Для плавной работы двигателя при микростепировании, на обмотки подается синусоидальный ток:

$$I_1 = I_0 * \sin \varphi$$

Причем между обмотками есть разница фаз $\frac{\pi}{2}$:

$$I_2 = I_0 * \sin(\varphi + \frac{\pi}{2}) = I_0 * \cos \varphi$$

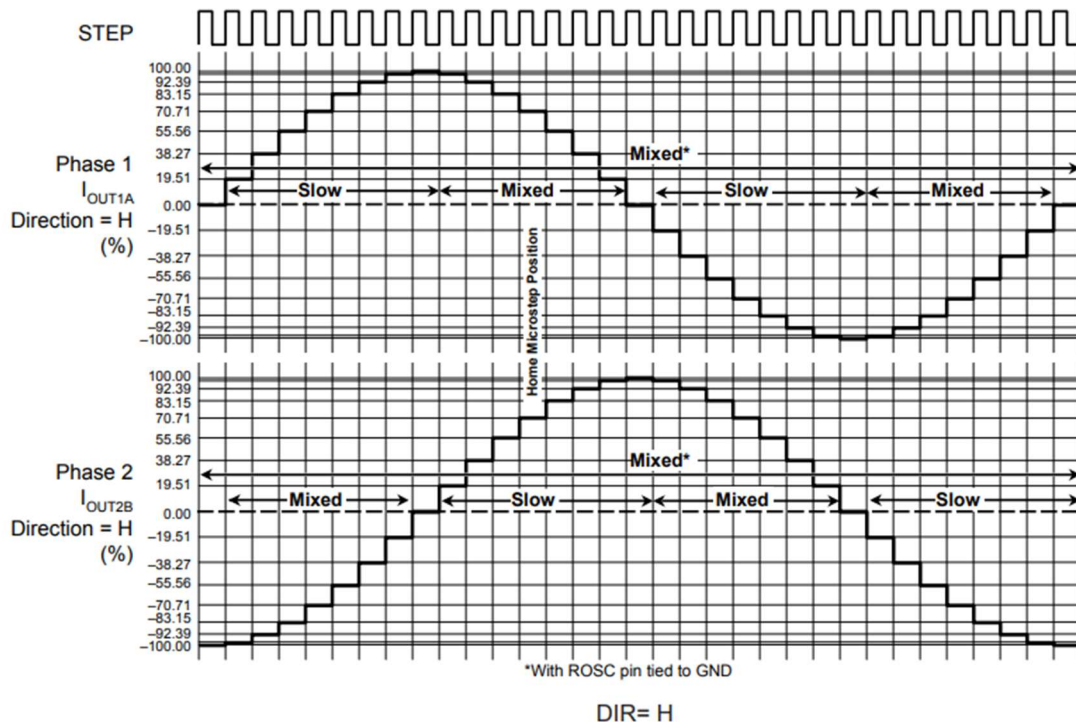


График токов на обмотках при микростепировании

Так как энергия магнитного взаимодействия зависит от квадрата силы тока, и

$\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1$, то сила, удерживающая ротор, всегда одинакова независимо от его положения.

Посмотреть анимацию микростепирования и узнать про другие режимы работы можно в статье по ссылке: [Шаговые двигатели \(подробный разбор 4 типов\) - Описания, примеры, подключение к Arduino \(iarduino.ru\)](https://wiki.iarduino.ru/page/shagovye-dvigateli/)

<https://wiki.iarduino.ru/page/shagovye-dvigateli/>

Как применяемое микростепирование изменяет линейную скорость перемещения каретки. Почему?

При изменении микростепирования, если настройки grbl не были изменены, линейная скорость и расстояние на которое передвинется каретка изменятся. Причем их изменение будет обратно пропорционально изменению микростепирования.

Эта зависимость объясняется тем, что управляющий микроконтроллер не знает сколько на самом проходит каретка. Он лишь рассчитывает количество шагов, которые необходимо совершить для перемещения на заданное расстояние, исходя из разрешения перемещения по оси (шаг/мм), указанного в настройках grbl. Поэтому, при изменении микростепирования нужно пропорционально изменить эти коэффициенты (настройки \$100-\$102)

Уметь рассчитать расстояние разгона от точки старта (нулевая скорость) до точки выхода на требуемую скорость, зная ускорение (мм/с²) в регистрах GRBL.

Расстояние разгона можно рассчитать по формуле, связывающей ускорение и расстояние:

$$S = \frac{V^2 - V_0^2}{2a}$$

Здесь V_0 это начальная скорость (в данном случае = 0) , значения конечной скорости V это поля \$110, \$111 или \$112 настроек grbl в зависимости от оси, по которой происходит движение. Аналогично значение ускорения можно найти в пунктах \$120, \$121 или \$122.

Стоит учитывать, что, так как ускорение и скорость указаны в мм/с² и мм/с соответственно, то и вычисленное расстояние будет измеряться в миллиметрах.

В случае одновременного движения по нескольким осям нужно отдельно найти расстояние, пройденное по каждой из осей, и найти суммарное перемещение по теореме Пифагора.