

СОВРЕМЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ СТОЛА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МИКРОСКОПА

Качан И.А., Петренко Ю.Н.

БНТУ, г. Минск, Беларусь, kia378.ik@gmail.com, yupetrenko@bntu.by

Введение

Развитие полупроводниковых и компьютерных технологий привело к автоматизации микроскопических исследований.

Существует проблема, замедляющая скорость работы оператора микроскопа. Это полностью ручной микроскоп. Работа за ручным микроскопом становится рутинной и утомительной, с плохо воспроизводимыми результатами. Современным решением данной проблемы стало создание автоматизированных частей микроскопа. Автоматизация предметного столика обеспечивает позиционирование исследуемого объекта в горизонтальной плоскости. Позиционирование может выполняться как с помощью специализированных программ, так и с помощью манипулятора, который в большинстве случаев реализуется в виде джойстика с дополнительными кнопками. Также автоматизация фокусированного механизма позволяет применять алгоритмы автоматической настройки фокуса без участия оператора, т.е. перемещение происходит по вертикальной оси. При проектировании конкретной из приведенных частей в качестве исполнительного механизма приходится выбирать между сервоприводом и шаговым двигателем. Когда необходимо прецизионное позиционирование и точное управление скоростью, а момент и скорость не выходят за допустимые пределы, то шаговый двигатель является экономичным решением [2]. В данной статье рассматриваются особенности управления гибридного шагового двигателя с помощью специализированного драйвера ТМС5130.

Шаговые двигатели

Шаговые двигатели — это электромеханические устройства, преобразующие сигнал управления в угловое (или линейное) перемещение ротора с фиксацией его в заданном положении без устройств обратной связи [4]. Отдельный класс образуют линейные ШД. При подаче на обмотки двигателя управляющего импульса напряжения поворот его ротора осуществляется на определенный угол (шаг). Этот шаг определяется конструкцией двигателя и способом управления. Наиболее часто используются двигатели с шагом 1.8° (200 шагов на оборот) и 0.9° (400 шагов на оборот). Для повышения момента в обычных двигателях используют понижающий редуктор. Для прецизионных механизмов применение редуктора нецелесообразно. Шаговый двигатель имеет больший момент на низких скоростях.

Существует три основных типа шаговых двигателей:

- двигатели с переменным магнитным сопротивлением
- двигатели с постоянными магнитами
- гибридные двигатели

В шаговом двигателе с переменным магнитным сопротивлением вращающий момент создается при определенном расположении друг относительно друга магнитных потоков статора и ротора. Статор имеет несколько полюсов, а ротор выполнен в зубчатой форме из магнитомягкого материала. При включении тока в одной из катушек, ротор будет стремиться занять положение, где магнитный поток замкнут, т.е. зубцы ротора ориентируются напротив тех полюсов, на которых находится запитанная обмотка. Если выключить эту обмотку и включить следующую, то ротор поменяет положение, сделав шаг. Увеличение числа полюсов статора и зубцов ротора увеличивает количество шагов такого двигателя.

Двигатели с постоянными магнитами состоят из статора, на котором располагаются обмотки, и ротора, который содержит постоянные магниты. При включении тока в одной из катушек статора, ротор перемещается и занимает такое положение, в котором разноименные

полюса ротора и статора находятся друг напротив друга. Для обеспечения непрерывного вращения, необходимо попеременно. включать фазы. Наиболее часто встречаемые двигатели данного типа имеют 24-48 шагов на оборот.

Гибридные двигатели обеспечивают меньшую величину шага, большую скорость и момент, чем ранее описанные типы [2]. Они сочетают в себе преимущества двигателей с переменным магнитным сопротивлением и двигателей с постоянными магнитами. Ротор гибридного двигателя представляет из себя постоянный магнит и имеет две пары зубцов (рис. 1). Постоянный магнит расположен между двумя парами зубцов. Таким образом зубцы верхней половины являются северным полюсом, а зубцы нижней — южным. Зубцы также расположены относительно друг друга на половину угла шага. Статор также имеет зубцы, тем самым обеспечивает большое количество полюсов, в отличие от основных полюсов, где расположены обмотки. Для двигателя на 400 шагов используются 8 основных полюсов. Зубцы ротора обеспечивают меньшее сопротивление магнитной цепи в определенных положениях, что улучшает статический и динамический момент. Это обеспечивается определенным расположением зубцов, когда часть зубцов ротора находится строго напротив зубцов статора, а часть между ними. По сути гибридный шаговый двигатель является двигателем с постоянными магнитами, но имеет большее число полюсов. Управляются такие двигатели одинаково [3]. Далее будет рассмотрен способ управления гибридного шагового двигателя, имеющего 400 шагов на оборот.

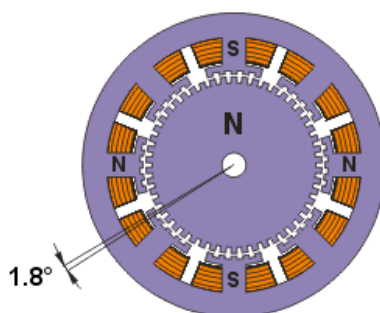


Рисунок 1 – Гибридный шаговый двигатель в разрезе

Драйвер управления шаговым двигателем TMC5130A-TA

TMC5130A-TA — микросхема класса «система на кристалле», являющаяся высоко технологичным драйвером шагового двигателя с последовательным интерфейсом обмена (SPI, UART). На рисунке 2 представлена упрощенная блок схема TMC5130. Микросхема имеет низкий форм-фактор, что дает гибкое встраивание в различные системы. Управление драйвером происходит с помощью микроконтроллера по последовательному интерфейсу или с помощью режима шаг/направление. Здесь предлагается использование микроконтроллера ARM Cortex M3 с подключение по SPI-интерфейсу к драйверу. Управление драйвером происходит посредством программирования встроенных регистров микросхемы (GCONF, GSTAT, IHOLD_IRUN, VMAX, COOLCONF, CHOPCONF и др.). TMC5130 имеет следующие режимы работы: stealthChop, spreadCycle, dcStep, stallGuard2, coolStep. Каждый из этих режимов конфигурируется путем программирования внутренних регистров. Внутренние регистры представляют собой 32 битные значения. Далее рассматриваются два основных режима работы: stealthChop и coolStep, так как они используются в автоматизации микроскопа [1].

Режим stealthChop реализует «бесшумный» режим работы шагового двигателя, снижая уровень шума до 10дБ и ниже. Управление происходит путем ШИМ-модуляции напряжения, в отличии от управления током, который применяется во многих реализациях управления двигателем. Данный режим работает используется на низких скоростях (до 40 об./мин.). При необходимости более высоких скоростей следует использовать более

динамические режимы, такие как *spreadCycle* или *coolStep* [1]. На рисунке 3 представлен осциллограмма тока обмотки статора в режиме *stealthChop*. Основные конфигурационные регистры имеют следующие значения: $GCONF = 4$, $PWMCONF = 262407$, $CHOPCONF = 98548$, $TPWMTHRS = 800000$. Видно (рисунок 3), что в режиме *stealthChop* ток изменяется в катушках более плавно, без резких выбросов, что обеспечивает уменьшение вибраций. Данный режим полезен при позиционировании предметного столика на низких скоростях как с помощью специализированной программы, так и с помощью манипулятора, что обеспечивает не раздражающую работу за микроскопом.

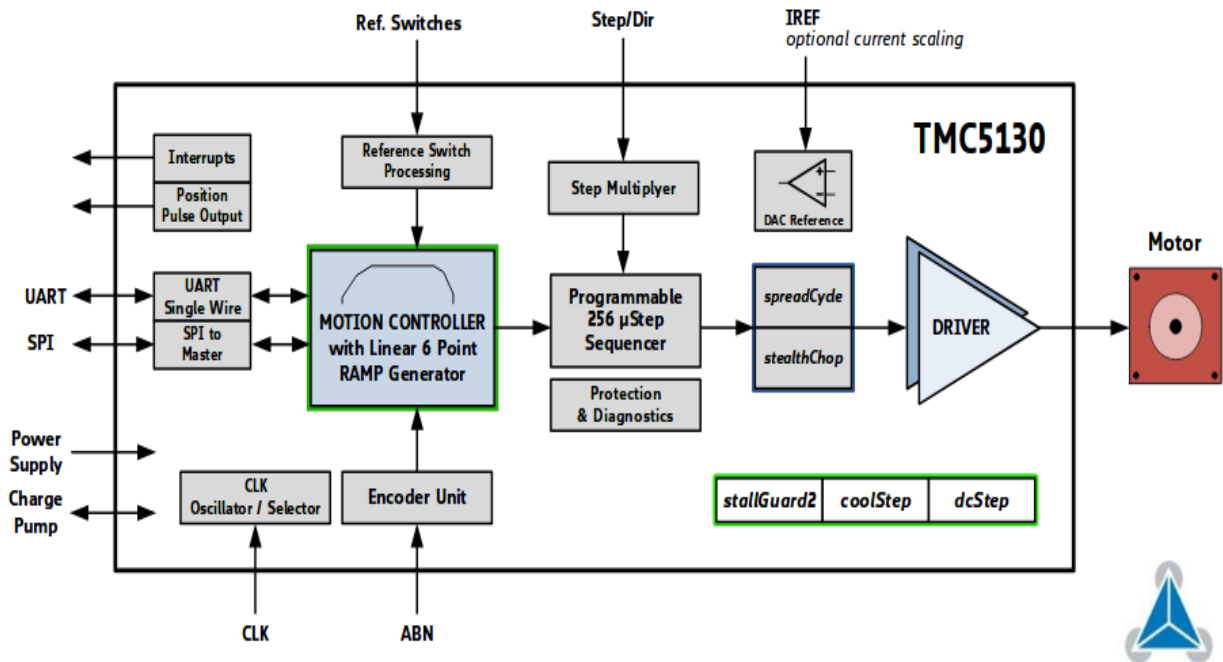


Рисунок 2 – Упрощенная блок-схема драйвера TMC5130

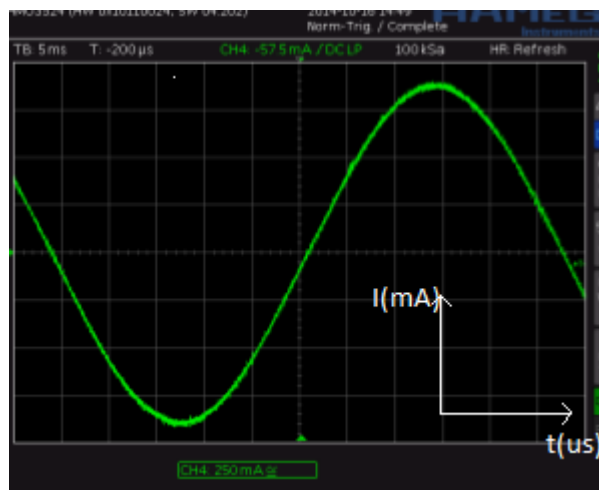


Рисунок 3 – Токвая характеристика в режиме *stealthChop*.

Режим *CoolStep* реализует энергетически эффективное управление шаговым двигателем на основе измерения механической нагрузки на двигателе. Данный режим работает в комбинации с режимом *stallGuard2*, который в свою очередь измеряет обратную ЭДС, приходящую от обмотки двигателя к драйверу.

Таким образом при программировании определенных регистров ($GCONF$, $PWMCONF$, $CHOPCONF$, $TPWMTHRS$), обеспечивающих данный режим, можно добиться снижения величины управляющего тока как в режиме разгона, так и на постоянной скорости

вращения шагового двигателя. На рисунке 4 представлен результат работы режима coolStep. На участке 1 шаговый двигатель начинает стартовать и разгоняться, на участке 3 происходит торможение, вогнутость на участке 2 обозначает начало работы режима coolStep, где происходит понижение абсолютного значения управляющего тока, что уменьшает токовое потребление драйвером и, следовательно, нагрев драйвера. Данный режим особенно полезен в системах с плохим охлаждением. Значения основных конфигурационных регистров этого режима следующие: TCOOLTHRS = 900000 CHOPCONF = 147861, COOLCONF = 18426177. Величина уменьшения значения тока настраивается путем программирования регистра COOLCONF.

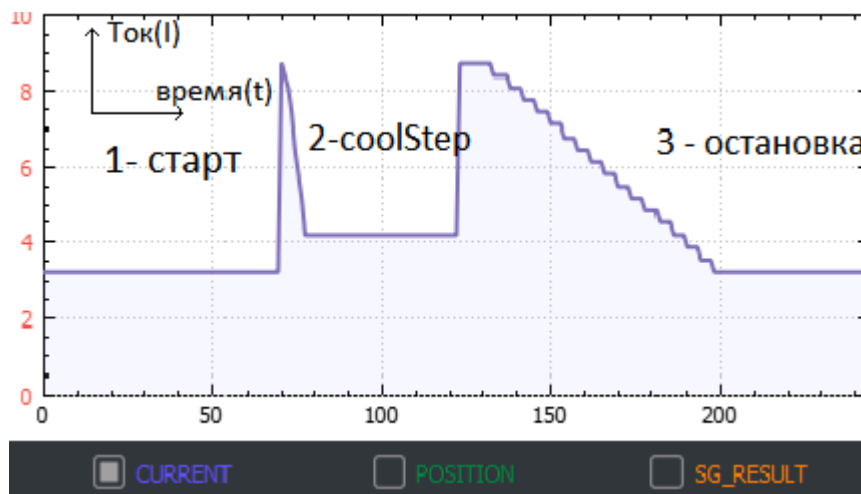


Рисунок 4 – Токковая характеристика режима coolStep.

Заключение

Рассмотрены основные типы шаговых двигателей и особенности их применения. В качестве драйвера управления предложена микросхема TMC5130A-TA производителя Trinamic [1]. Были проанализированы и протестированы основные режимы работы данного драйвера. Управление шаговыми двигателями с помощью рассмотренного драйвера позволяет получать гибкое, энергоэффективное, точное позиционирование, не используя системы обратной связи. В случае надобности системы обратной связи рассмотренный драйвер легко интегрируется с энкодерами. Данный способ можно применять не только в микроскопии, но и в других областях техники, где необходимо экономичное управление шаговыми двигателями.

Литература

1. Data Sheet. TMC5130A-TA. Power driver for stepper motors: published by TRINAMIC Motion Control GmbH.: 2017 г. - 128 с.
2. Шаговый двигатель [Электронный ресурс]. – 2001г. - Режим доступа: <https://electroprivod.ru/stepmotor.htm> – Дата доступа: 25.10.2018.
3. Емельянов А.В, Шилин А.Н. Шаговые двигатели: учебное пособие. ВолГТУ. Волгоград, 2005.
4. Рентюк В. Шаговые двигатели и особенности их применения [Электронный ресурс]. - 2013г. - Режим доступа: http://www.kit-e.ru/preview/pre_71_10_13_stm_inaction.php – Дата доступа: 30.10.2018.
5. Гульков Г. И., Петренко Ю. Н., Бачило Т. В. Системы автоматического управления электроприводами: учебное пособие. ИВЦ Минфина. Минск, 2014. - 366 с.
6. Петренко Ю. Н., Новиков С. О., Гончаров А. А. Программное управление технологическими комплексами в энергетике: учебное пособие. Выш. шк., Минск, 2013 - 407с.