

# Шаговый двигатель, управляемый устройством на ПЛИС

**Владимир Вычужанин (г. Одесса, Украина)**

**Описана схема управления шаговым электродвигателем, выполненная на основе программируемой логической интегральной схемы.**

Растущий спрос на устройства, характеризующиеся сокращённым проектно-технологическим циклом, быстрым макетированием и реконфигурированием цифровых систем, удобством программирования и низкими затратами, постоянно расширяет сферы применения программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Производители предлагают разнообразные ПЛИС: программируемые простые, матричные и сложные логические устройства (SPLD, PAL, CPLD), а также программируемые пользователем базовые матричные микросхемы (FPGA, БМК). Все ПЛИС обладают специфическими характеристиками и различным сочетанием таких параметров, как быстродействие, энергопотребление, уровень интеграции и стоимость. Такое разнообразие – одна из самых сложных проблем, с которыми приходится сталкиваться разработчику электронных устройств. Однако в условиях промышленной стандартизации задача выбора существенно облегчается.

Наибольшее распространение получили ПЛИС типа FPGA (Field Programmable Gate Array), представляющие собой матрицу блоков программируемой логики, между строками и столбцами которой имеются программируемые соединения. Современные кристаллы FPGA содержат, кроме матриц, встроенную память, приёмопередатчики, микропроцессоры, которые пользователь может подключать для решения своих задач с помощью программируемых соединений внутри кристалла без ограничения числа циклов перепрограммирования.

ПЛИС типа CPLD (Complex Programmable Logic Device) – сложные

программируемые логические устройства, энергонезависимые и с некоторым ограничением числа циклов перепрограммирования. Такие ПЛИС характеризуются высоким соотношением количества логических элементов к количеству регистров и отличаются гибким ресурсом трассировки. Главные достоинства CPLD – пониженное энергопотребление и упрощённые режимы сохранения информации.

При выборе конкретного типа, серии и семейства ПЛИС разработчики обычно обращают внимание на сложность, выраженную в количестве логических элементов, и доступность средств разработки. Цена ПЛИС пропорциональна их логической ёмкости, следовательно, для реализации разрабатываемого устройства необходимо подбирать ПЛИС с оптимальным количеством логических элементов.

Вполне возможно использовать недорогие ПЛИС, поскольку за счёт быстрого выполнения простых операций можно реализовывать медленные приложения при малых аппаратных затратах. Следует учитывать, что степень интеграции ПЛИС достигла уровня, при котором на размер кристалла не влияет общее количество вентиляей. Однако для крупных проектов, создаваемых с нуля, время полной верификации традиционными способами может оказаться неприемлемо большим, что вынуждает пользоваться функциональными блоками, разработанными сторонними фирмами. Широта выбора таких функциональных блоков и возможность учёта их параметров как единого целого при моделировании разрабатываемого устройства является существенным критерием при выборе конкретной ПЛИС для реализации сложных проектов.

В системах управления различными объектами часто используются устройства, выполненные на основе микроконтроллеров или микропроцессоров. С их помощью можно решать многие задачи измерения, управления и обслуживания. Такие устройства легко программируются, потребляют мало энергии и легко включаются в схему. Однако ПЛИС обладают большим числом выводов, настраиваемой стыковкой входов и выходов с практически любым стандартом напряжения логических уровней и способностью заменить собой несколько микросхем, включая микроконтроллер, регистры портов, интерфейс и т.п. Учёт архитектурных особенностей и в ряде случаев преимуществ ПЛИС перед микроконтроллерами позволяет реализовать на ПЛИС конкурентоспособные изделия.

Примером обоснованного подхода к выбору элементной базы для реализации проектируемого устройства является разработка устройства управления шаговым двигателем на ПЛИС. При этом была решена реальная задача, связанная с разработкой электропривода электронного расширительного клапана для системы охлаждения.

В системах охлаждения различного назначения в качестве дросселирующего устройства часто устанавливают электронные расширительные клапаны, предназначенные для регулирования точной подачи хладагента и поддержания заданного перепада давления. Приводом клапана обычно является пропорциональное устройство дискретного типа, управляющее дискретными положениями исполнительного органа. Система управления (СУ) должна реализовывать непосредственное цифровое управление исполнительным устройством, чтобы обеспечить заданный перепад давления в системе охлаждения с высокой точностью.

В качестве исполнительного устройства может быть использован шаговый двигатель (ШД), представляющий собой электромеханическое устройство, преобразующее сигнал управления в угловое (или линейное) перемещение ротора с последующей его фиксацией в заданном положении. Благодаря возможности управления перемещением ротора на любой угол, а также отсутствию потребления тока в состоянии покоя, ШД является оптимальным выбором для исполнительного устройства дискретного типа – электронного расширительного клапана.

При выборе типа ШД электропривода расширительного клапана предпочтение было отдано гибриднему типу двигателя с шагом  $7,5^\circ$ . По сути это двигатели с постоянными магнитами, но с большим числом полюсов [1, 2]. Выбранный тип ШД оценивался по частоте собственных круговых колебаний, электромагнитным постоянным времени, коэффициенту внутреннего демпфирования, предельным механическим и динамическим характеристикам.

Электронный расширительный клапан с ШД должен обрабатывать как единичные импульсы управления, так и последовательность импульсов с частотой, определяемой предельными динамическими характеристиками. Установлено, что на частотах до 200...400 Гц ШД может быть остановлен с точностью до одного шага. Из-за инерции ротора, на более высоких частотах мгновенная остановка затруднительна. Поэтому при разработке системы прямого управления исполнительным устройством с точной обработкой положения и малым моментом инерции была использована частота перемещения ротора ШД, находящаяся в пределах 100...400 Гц. Скорость вращения ШД определялась частотой управляющих импульсов из указанного диапазона. В каждый интервал времени подача импульсов на фазовые обмотки приводит к повороту вала двигателя на фиксированный угол в  $7,5^\circ$ . Угол вращения контролируется подсчётом числа шагов (импульсов).

Поскольку в решаемой задаче не требуется повышенный момент двигателя, то было отдано предпочтение

униполярной конфигурации обмоток ШД. Это позволило уменьшить габариты клапана, работать с меньшими потерями, а также упростить разрабатываемую схему.

При проектировании устройства использовалась свободно распространяемая САПР Quartus II ver.4.2, позволяющая реализовать проект на базе ПЛИС фирмы Altera. Система проектирования поддерживает сквозной процесс – от ввода данных до программирования микросхем. Она представляет собой архитектурно независимую среду проектирования, легко настраиваемую под проектные требования. Файл описания проекта создан в текстовом редакторе пакета. Описание проекта цифрового устройства ПЛИС выполнено на языке VHDL, который является входным языком используемой САПР. При описании алгоритма функционирования разработанного устройства учитывалась последовательность включения и выключения силовых ключей, тем самым обеспечивалась реализация полношагового режима с включением двух фаз управления ШД.

Ниже приведён фрагмент файла программного VHDL-описания работы устройства, реализующего полношаговый режим с включением двух фаз управления ШД.

```
entity Main is
port (
    Clk: in bit;
    Revers: in bit;
    Load: in bit;
    StepNum: in integer range
0 to 2000;
    A,B,C,D: out bit
);
end Main;

architecture Struct of Main is
signal i: integer range 0 to 3;
signal Step: integer range 0 to 2000;
signal Ena: bit;
begin
    process(Clk)
    begin
        if (Clk'event and
Clk='1') then
            case i is
                when 0 =>
                    A<=(not Revers) and Ena;
```

```
                B<=Revers and Ena;
                C<=(not Revers) and Ena;
                D<=Revers and Ena;
                i<=i+1;
            when 1 =>
                A<=Revers and Ena;
                B<=(not Revers) and Ena;
                C<=(not Revers) and Ena;
                D<=Revers and Ena;
                i<=i+1;
            when 2 =>
                A<=Revers and Ena;
                B<=(not Revers) and Ena;
                C<=Revers and Ena;
                D<=(not Revers) and Ena;
                i<=i+1;
            when 3 =>
                A<=(not Revers) and Ena;
                B<=Revers and Ena;
                C<=Revers and Ena;
                D<=(not Revers) and Ena;
                i<=0;
            end case;
        end if;
    end process;
```

Функциональная схема СУ, реализующей полношаговый режим с включением двух фаз управления ШД, приведена на рисунке 1. Схема состоит из мультиплексоров MUX1-MUX5, сумматора ADDER, блоков D-триггеров DFF1 и DFF2, многоканального блока ключевых элементов Main, D-триггеров DFF3- DFF7, делителя частоты импульсов CDF.

Схема работает следующим образом. Заданное число шагов (импульсов) в параллельном коде подаётся на входы многоканального блока ключевых элементов Main по сигналу StepNumber[10...0]. Максимальное необходимое число шагов

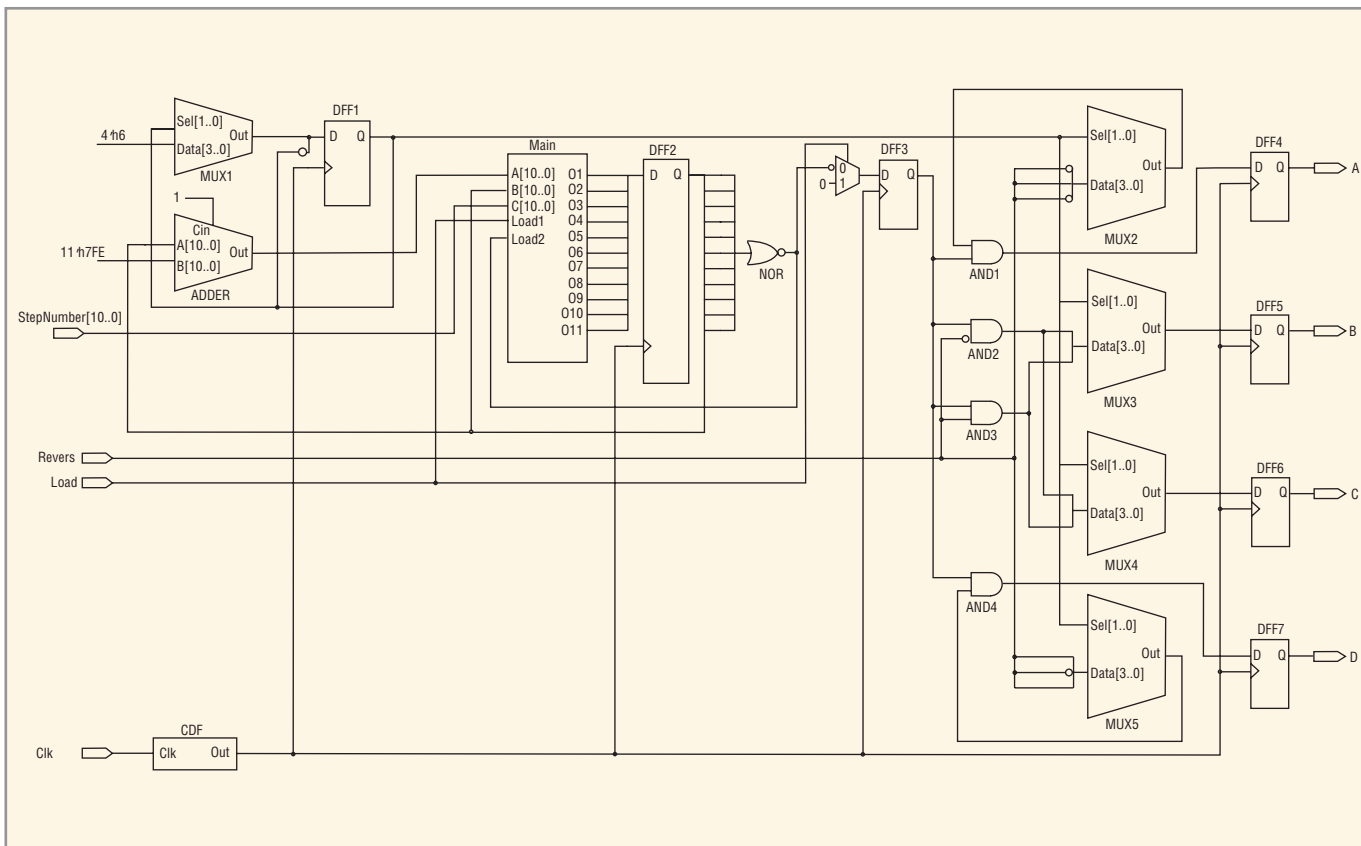


Рис. 1. Логическая схема, реализующая полношаговый режим с включением двух фаз управления ШД

для конкретного устройства, не превышающее 2042, вводится по сигналу 11h7FE на вход В сумматора ADDER. Элементы схемы, включающие блоки MUX1, ADDER, Main, DFF1 и DFF2, обеспечивают прохождение необходимого числа импульсов на входы мультиплекторов MUX2–MUX5 и триггеров DFF4–DFF7, которые, в свою очередь, обеспечивают временной сдвиг импульсов на выходах А, В, С и D схемы. В результате реализуется

полношаговый режим с включением двух фаз ШД. Пуск схемы осуществляется по сигналу, подаваемому на вход Load от системы управления технологическим процессом, в котором используется электронный расширительный клапан. Прямое направление вращения двигателя задаётся подачей сигнала лог. 0 на вход Revers. Для изменения направления вращения двигателя на обратное необходимо подать лог. 1 на тот же вход.

После отладки компонентов схемы, на основе созданных при компиляции выходных файлов осуществлено моделирование работы проекта с помощью подсистемы (Simulator) пакета Quartus II ver.4.2. Компиляция выполнена с учётом обеспечения временных характеристик проекта и оптимизации ресурсов ПЛИС. В результате компиляции создан файл для программирования и конфигурирования ПЛИС Altera, позволяющий использовать полушаговый режим управления фазами ШД.

При компиляции проекта была выбрана ПЛИС типа MAX7000S (EPM7064SLC44-5), имеющая 64 логических элемента. Процент использования выбранной ПЛИС при реализации схемы управления составил 75%.

Для реализации схемы импульсного управления фазами ШД была разработана принципиальная электрическая схема устройства, приведённая на рисунке 2, где DD1 – генератор тактовых импульсов на микросхеме КХО-800. Для коммутации обмоток двигателя используются транзисторные ключи с открытым коллектором, входящие в состав микросхемы DD3 (ULN2004A). Микросхема состоит

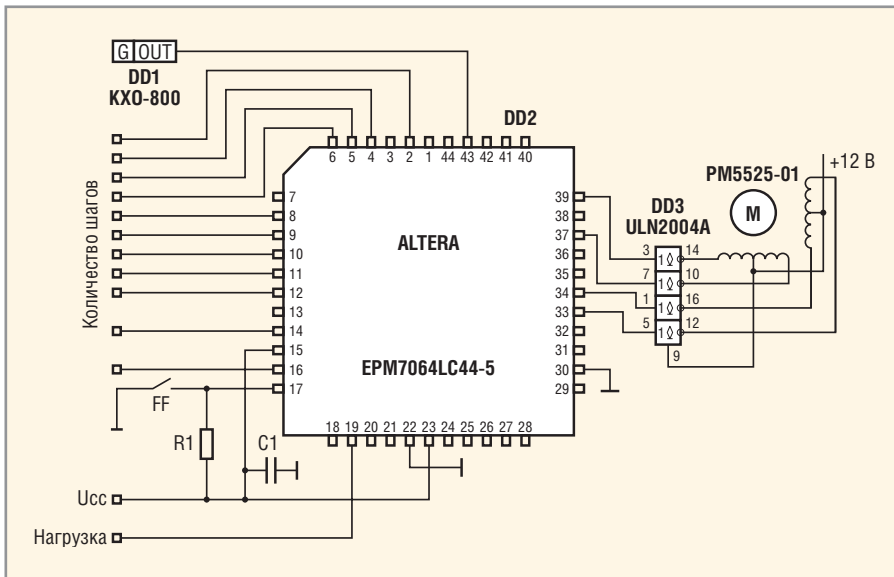


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема управления ШД

из транзисторных пар с высоковольтными выходами, с общим катодным соединением диодов для переключения индуктивной нагрузки. Максимальный ток каждой транзисторной пары равен 500 мА. Мощность ШД ограничена максимальным током через один ключ и суммарной мощностью, рассеиваемой микросхемой DD3. Все выводы микросхемы снабжены внутренними защитными диодами, т.е. каждая полуобмотка ШД (см. рис. 2) зашунтирована диодом, что устраняет коммутационные выбросы напряжения. Транзисторные ключи DD3 обеспечивают усиление сигналов и защиту выводов ПЛИС от возможного проникновения напряжения питания ШД.

В качестве ШД (см. рис. 2) выбран электродвигатель PM5525-01, рассчитанный на напряжение питания 12 В, ток фазы 400 мА и обеспечивающий крутящий момент 1,60 кг см, момент инерции 30 кг см<sup>2</sup> и угловой шаг 7,5°. Реверсивное управление двигателем задаётся логическим уровнем сигналов FF (см. рис. 2).

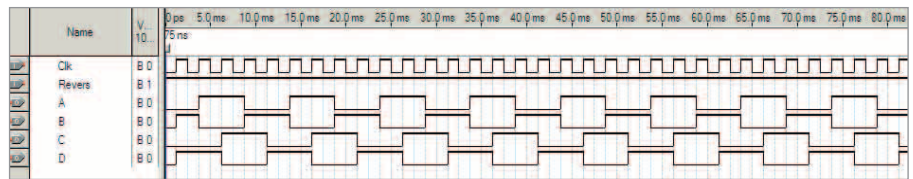


Рис. 3. Результаты моделирования СУ на ПЛИС при прямом направлении вращения ШД

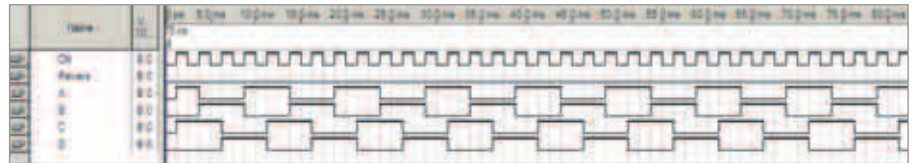


Рис. 4. Результаты моделирования СУ на ПЛИС при обратном направлении вращения ШД

В результате моделирования разработанной схемы управления ШД на базе ПЛИС при частоте управляющих импульсов, равной 400 Гц, были получены временные диаграммы (см. рисунки 3 и 4), соответствующие реализации полношагового режима с включением двух фаз управления ШД. Они подтверждают работоспособность СУ, входящей в схему электронного расширительного клапана, и соответствие предъявляемым к ней требованиям.

Разработанная схема управления ШД на ПЛИС с небольшими доработками может быть использована в различных безынерционных и точных приводах в робототехнике, радиоэлектронной промышленности, медицинской технике и т.д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами, Энергоиздат, 1982.
2. Шелтинг Г., Байсе А. Электрические микромашини. Мир, 1997.



## Новинка!

# FLUKE®

**Самые совершенные мультиметры Fluke с регистрацией данных позволят сэкономить Ваше драгоценное время!**

Вы можете полностью положиться на мультиметры Fluke 287 и 289 True-RMS при поиске и устранении неисправностей. Для того чтобы облегчить Вам работу и обеспечить контроль над ситуацией мы дополнили мультиметр новыми характеристиками:

- Усовершенствованная регистрация данных с опцией TrendCapture™
- Увеличенный экран для графического представления результатов
- Улучшенный пользовательский интерфейс с функцией помощи и сенсорными кнопками
- Фильтр нижних частот с диапазоном измерений низких сопротивлений и низким входным импедансом. (Fluke 289)
- Пожизненная гарантия

Эти передовые приборы гарантированно экономят время инженерам по обслуживанию оборудования, техническим специалистам и электрикам.

**Fluke . Мы приводим Ваш мир в движение.**

Обратитесь к Вашему местному дистрибьютору для демонстрации прибора или посетите сайт [www.fluke.ru](http://www.fluke.ru) для просмотра виртуальной презентации

E-mail: [info@fluke.ru](mailto:info@fluke.ru)

Реклама

**Найдите и устраните маленькие неисправности прежде, чем они приведут к большим проблемам!**