

# Управление шаговым электродвигателем с помощью ПЛИС

**Шаговые двигатели (ШД) представляют собой электромеханические устройства, преобразующие сигнал управления в угловое или линейное перемещение ротора с фиксацией его в заданном положении без обратной связи. Для формирования сигналов управления можно использовать устройство на основе ПЛИС класса CPLD фирмы Altera.**

**Владимир Вычужанин**

vint53@list.ru

Современные шаговые двигатели являются по сути синхронными двигателями без пусковой обмотки на роторе, что объясняется не асинхронным, а частотным их пуском. К несомненным преимуществам ШД можно отнести простоту конструкции; возможность управляемого перемещения вала якоря; отсутствие необходимости запитки ротора. Из-за простоты и удобства в использовании такие двигатели находят широкое применение в электронных устройствах с вращающимися частями, в качестве безынерционного и точного привода.

Подобные двигатели незаменимы при конструировании точных устройств позиционирования в станках с ЧПУ, автомобильных приборах, в принтерах, а также в электроприводах дисководов компьютеров для позиционирования магнитной головки (в устройствах чтения гибких дисков при использовании импульсного способа управления). Особенностью работы двигателя в таких электроприводах является то, что его вал поворачивается на угол, кратный  $1,8^\circ$  или  $3,6^\circ$  в зависимости от количества импульсов, поданных на входы электронных ключей, коммутирующих обмотки. При шаге угла поворота  $1,8^\circ$  требуется двести шагов для полного оборота вала двигателя.

Шаговый двигатель в устройствах чтения гибких дисков вращается небольшими последовательностями импульсов. При этом головки чтения-записи перемещаются в нужное положение отдельными шагами. К несущему валу ШД присоединены постоянные магниты. При пропускании электрического тока через одну или несколько электрических катушек, окружающих двигатель, создается магнитное поле, взаимодействующее с постоянным магнитом на валу. Последовательное включение и выключение электропитания катушек заставляет двигатель вращаться, перемещая головки чтения-записи.

Многие ШД имеют на статоре по две, сдвинутые относительно друг друга многополюсные обмотки, каждая из них со средним выводом. Последние обычно соединяют с плюсом источника питания, а остальные выводы в определенной последовательности — с минусом. Для таких двигателей с шестью выводами из-за необходимости подвода двухполярного питания несколько усложняется схема устройства управления. Если обмотки ШД дисководов имеют пять выводов, то отпадает необходимость использовать двухполярный источник питания. При разработке импульсной схемы управления в качестве объекта управления выбран ШД дисковода модели FD-55GFR, имеющий пять выводов [1].

Одним из вариантов создания импульсного устройства управления ШД является разработка его на базе ПЛИС. На рис.1 представлена принципиальная электрическая схема управления ШД дисковода на основе ПЛИС класса CPLD фирмы Altera. Микросхемы этого класса обладают простотой реализации разработанного устройства, малыми издержками на проектирование и независимо от питания сохраняют свою конфигурацию. Требуемая структура управляющего устройства создается путем программирования связей коммутирующих матриц (макроячеек) с использованием технологий перепрограммируемых ПЗУ.

Функциональная схема блоков, находящихся внутри ПЛИС, показана на рис. 2. Используемые при разработке схемы узлы — библиотечные. Символы модуля CPLD созданы разработчиком.

При проектировании устройства управления ШД дисковода использовалась САПР MAX+PLUSII [2, 3], позволяющая реализовать схему на базе ПЛИС

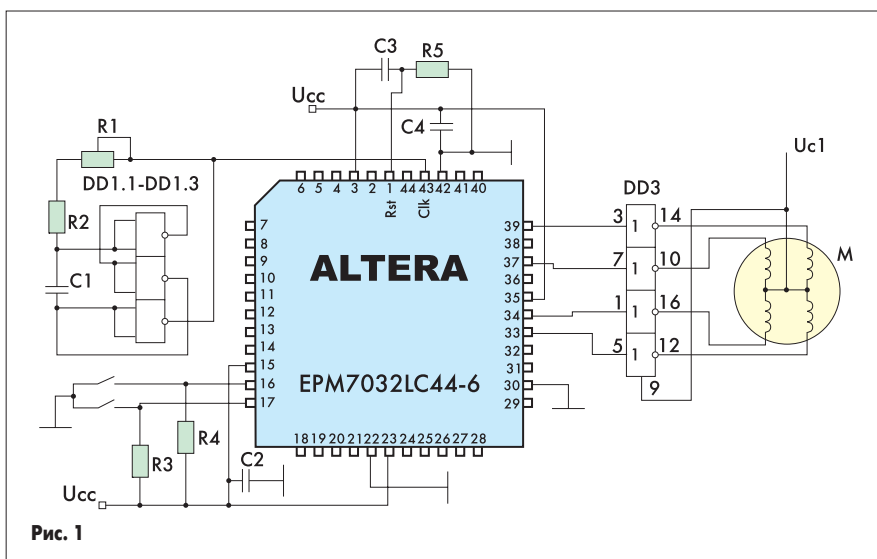


Рис. 1

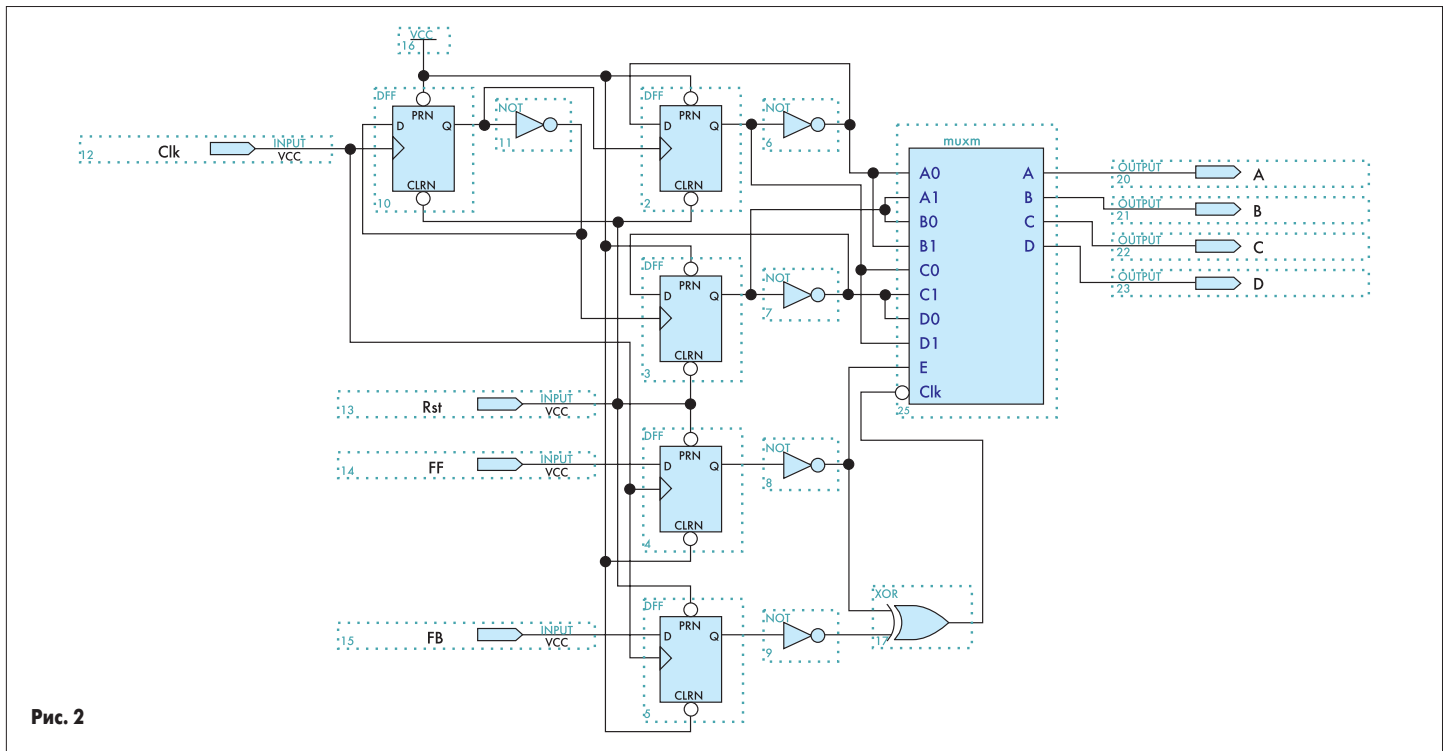


Рис. 2

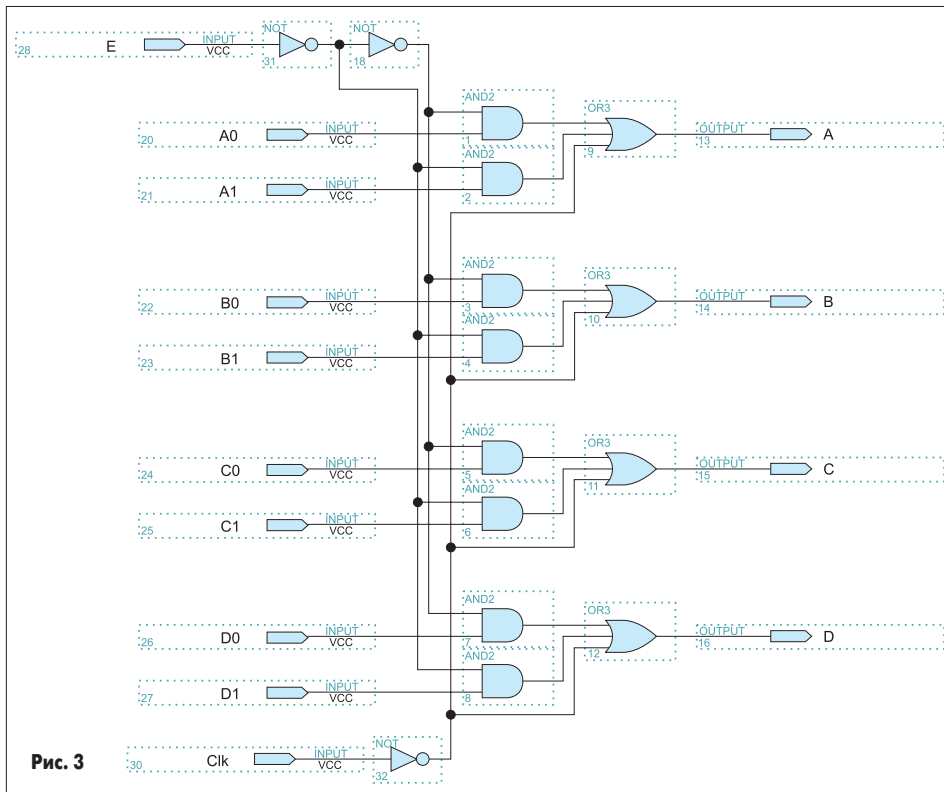


Рис. 3

фирмы Altera и обеспечивающая синтез структуры и трассировку внутренних связей ПЛИС, подготовку данных для программирования и конфигурирования ПЛИС, функциональное моделирование и временной анализ, а также программирование и конфигурирование ПЛИС.

Модуль CPLD состоит из созданных символов: D-триггеров DFF с входами подачи тактового сигнала, асинхронной установки и асинхронного сброса; мультиплексора muxm с информационными входами, а также с входами разрешения работы и подачи тактового сигнала (рис. 3).

Устройство (рис. 1) управляет шаговым двигателем, заставляя его ротор вращаться

в одну или другую сторону. Реверсивное управление задается логическим уровнем сигналов FF и FB. Частота импульсов соответствует шагам задается элементами R1, R2, C1 (сигнал CLK). Скорость вращения электродвигателя M определяется частотой импульсов. Каждый импульс генератора (микросхема DD1 K155ЛА3) поворачивает ротор на один шаг. За основу ПЛИС выбрано устройство EPM7032LC44-6 семейства MAX7000.

Обмотки фаз ПД являются нагрузками ключей. Для коммутации обмоток двигателя используются транзисторные ключи с открытым коллектором, входящие в состав микросхемы DD3 ULN2004A [4]. Микросхема состоит из семи транзисторных пар с высоко-

```

module SHAGDVG (clk, rst, ff, fb,
                A, B, C, D);
input clk, rst, ff, fb;
output A, B, C, D;
reg fforward, fback, not_clk, Q1, Q2, a1, b1, c1, d1, a2, b2, c2, d2,
clock;

always@(posedge clk) begin
    if (rst) clock = 0;
    if (!rst) clock = !clock;
end

always@(posedge clock) begin
    if (rst) Q1 = 0;
    if (!rst) Q1 = !Q1;
end

always@(posedge not_clk) begin
    if (rst) Q2 = 0;
    if (!rst) Q2 = !Q2;
end

always@(posedge clock) begin
    if (rst) begin
        fback = 0;
        fforward = 0;
    end

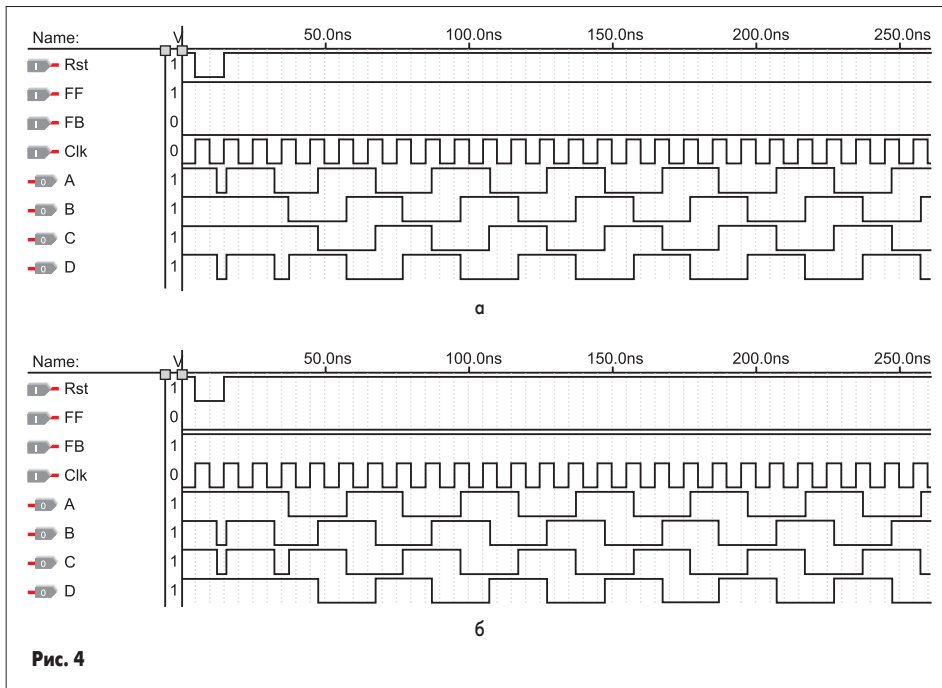
    if (!rst) begin
        fback = !fb;
        fforward = !ff;
    end
end

always begin
    not_clk = !clock;
    a1 = !Q1;
    b1 = Q2;
    c1 = Q1;
    d1 = !Q2;

    if (fforward==1) if (fback==0) a2 = a1;
    if (fforward==0) if (fback==1) a2 = b1;
    else a2 = 1;
    if (fforward==1) if (fback==0) b2 = b1;
    if (fforward==0) if (fback==1) b2 = a1;
    else b2 = 1;
    if (fforward==1) if (fback==0) c2 = c1;
    if (fforward==0) if (fback==1) c2 = d1;
    else c2 = 1;
    if (fforward==1) if (fback==0) d2 = d1;
    if (fforward==0) if (fback==1) d2 = c1;
    else d2 = 1;
end

assign A = a2;
assign B = b2;
assign C = c2;
assign D = d2;
endmodule
    
```

Листинг



вольтными выходами, с общим катодным соединением диодов для переключения индуктивной нагрузки. Выходной ток каждой транзисторной пары составляет до 500 мА, выходное напряжение — до 100 В. Мощность электродвигателя М ограничена максимальным током через один ключ и суммарной мощ-

ностью, рассеиваемой микросхемой DD3. Все выводы микросхемы снабжены внутренними защитными диодами, то есть каждая полуобмотка ШД зашунтирована диодом, что устраняет коммутационные выбросы напряжения. Транзисторные ключи DD3 обеспечивают усиление сигналов и защиту выво-

дов ПЛИС от возможного проникновения напряжения питания двигателя Vc1.

На листинге приведено программное Verilog-описание ПЛИС для схемы, представленной на рис. 2.

В рис. 4 а, б показаны фрагменты файлов с результатами функционального моделирования разработанного устройства в зависимости от заданных состояний входов. Результаты моделирования подтверждают работоспособность схемы управления шаговым двигателем дисководов на базе ПЛИС.

Разработанная схема с небольшими изменениями (с учетом специфики) может быть использована в многообразных по назначению устройствах безинерционных и точных приводов в робототехнике, в радиоэлектронной промышленности, медицине, управлении гравировкой и так далее.

#### Литература

1. <http://www.HowStuffWorks.com>.
2. Антонов А. П. Язык описания цифровых устройств AlteraHDL. Практический курс. 2-е изд., стереотип. М.: РадиоСофт. 2001.
3. Комолов Д. А. и др. Системы автоматизированного проектирования фирмы Altera Max+PLUSII и Quartus II. М.: РадиоСофт. 2002.
4. <http://www.ti.com/sc/package>.