

# Регулирующий клапан с электроприводом

Владимир Вычужанин (г. Одесса, Украина)

В статье описана схема управления шаговым двигателем с использованием ПЛИС и приведены результаты моделирования работы электропривода.

Для управления процессами, протекающими в теплообменных аппаратах холодильных установок и систем кондиционирования воздуха, в качестве исполнительных устройств применяются клапаны с электроприводами. Правильный выбор клапана и обеспечение требуемой регулировочной характеристики обеспечивают необходимое качество регулирования.

Подвижные части регулирующих клапанов отличаются конструктивной, внутренней и регулировочной характеристиками. Конструктивная характеристика клапана устанавливает зависимость между перемещением подвижной части клапана и изменением площади открытого сечения для прохода среды. Внутренняя характеристика определяет зависимость между ходом

поршня и расходом среды через клапан при постоянном перепаде давлений на клапане. При мгновенном изменении положения поршня расход среды через клапан также изменяется мгновенно. Регулирующие клапаны можно представить как усилительные звенья системы автоматического регулирования. Коэффициент передачи таких звеньев описывается нелинейной функцией и при различных положениях поршня может существенно изменяться.

Электропривод регулируемого клапана, состоящий из электродвигателя и схемы управления (СУ), часто не обеспечивает необходимого качества управления процессами в теплообменных аппаратах. Следует отметить, что современный электропривод для подобного клапана –

это пропорциональное устройство дискретного типа, управляющее исполнительным органом (поршнем клапана). Имеющиеся недостатки конструкции регулирующего клапана с электроприводом можно в значительной мере устранить путём совершенствования схемы управления, что позволяет повысить эффективность технических решений.

На первом этапе разработки необходимо выбрать тип пропорционального исполнительного устройства. В качестве такого устройства может быть использован шаговый двигатель (ШД). Благодаря возможности управления перемещением ротора на любой угол, ШД предпочтителен в качестве исполнительного устройства дискретного типа.

В качестве исполнительного элемента был выбран клапан типа ETS фирмы Danfoss. Конструкция клапана обеспечивает реверсивное движение потока и полное закрытие клапана, вне зависимости от направления потока. Использование клапана ETS позволяет изменять расход носителя и дросселировать поток при переменном положении поршня клапана. Кроме того, клапан ETS сочетает в себе лучшие свойства клапанов, применяемых в сетях, а именно: малый ход; почти линейную характеристику регулирования расхода носителя при высоких значениях относительного хода поршня клапана и высокую точность регулирования при малых значениях расхода.

Однако, электропривод, используемый фирмой Danfoss совместно с регулирующим клапаном типа ETS, обладает определёнными недостатками: большими габаритами, bipolarной конфигурацией обмоток шагового двигателя и применением полношагового двухфазного управления двигателем. Разработанная схема управления (см. рис. 1) теплообменным аппаратом с использованием регулирующего клапана ETS призвана устранить недостатки электропривода фирмы Danfoss.

Положение поршня клапана изменяется посредством электропривода, управляемого импульсным сигналом. Сигнал формируется в устройстве управления 9 регулятором 10 (см. рис. 1) в соответствии с используемым законом управления (П, ПИ или ПИД). В качестве ШД для электропривода регулирующего клапана был

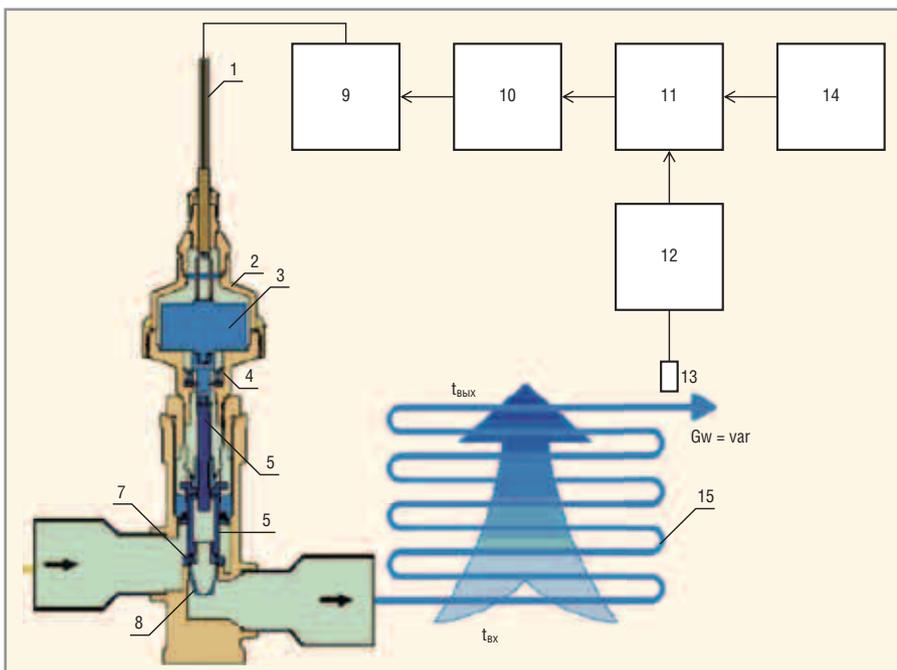


Рис. 1. Схема управления регулирующим клапаном

1 – кабель; 2 – корпус ШД; 3 – ШД; 4 – втулка; 5 – вал; 6 – поршень клапана; 7 – седло клапана; 8 – порт клапана; 9 – устройство управления ШД; 10 – регулятор; 11 – сравнивающее устройство; 12 – измерительный преобразователь; 13 – датчик расхода носителя; 14 – задающее устройство; 15 – воздухоохладитель

выбран гибридный двигатель с шагом 7,5 градусов. Это – двигатель с постоянными магнитами, но с большим числом полюсов [1, 2]. В отличие от используемой Danfoss биполярной конфигурации, предпочтение было отдано униполярной. Это объясняется тем, что в поставленной задаче от двигателя не требуется повышенный момент. Такой выбор позволяет уменьшить габариты регулирующего клапана с электроприводом, работать с меньшими потерями, а также упростить схему управления.

Частота управляющих импульсов, подаваемых на фазовые обмотки ШД, выбирается исходя из предельных механических и динамических характеристик двигателя. Первые устанавливают зависимость допустимого момента сопротивления от частоты управляющих импульсов в установленном режиме. Для различных типов ШД эта частота может достигать нескольких килогерц. Анализ динамических характеристик позволяет уточнить выбор частоты управляющих импульсов. Регулирующий клапан с шаговым приводом должен обрабатывать как единичные импульсы управления, так и последовательность импульсов с частотой, определяемой предельными динамическими характеристиками. При разработке СУ приводом с точной обработкой положения и малым моментом инерции была выбрана частота перемещения ротора 100...400 Гц. Скорость вращения ШД определялась частотой управляющих импульсов в указанном диапазоне; угол поворота вала двигателя – числом шагов (импульсов).

Схему управления фазами ШД можно реализовать на основе универсального или специализированного микроконтроллера, а также на базе ПЛИС. В нашем случае ПЛИС обладает рядом преимуществ: возможностью согласования входов и выходов с практически любыми логическими уровнями; способностью заменить несколько микросхем, включая микроконтроллер, регистры портов, интерфейс и т.п. Кроме того, использование ПЛИС ускоряет программирование, макетирование и реконфигурирование цифровой схемы. Поэтому учёт архитектурных особенностей ПЛИС и в ряде случаев их преимуществ перед микроконтроллерами позволяет реализовать на

основе ПЛИС вполне конкурентоспособные изделия.

Учитывая изложенное, схема управления ШД регулирующего клапана была реализована на ПЛИС фирмы Altera. При проектировании устройства использовалась САПР Quartus II ver.4.2. Алгоритм работы устройства учитывает последовательность включения и выключения силовых ключей в полшаговом режиме управления двигателем. Кроме повышения разрешающей способности, такой способ управления, по сравнению с полношаговым, используемым фирмой Danfoss, позволяет ослабить резонансные эффекты.

Ниже приведён фрагмент VHDL-описания работы устройства, используемого в схеме управления на ПЛИС:

```
Subdesign Main
(
    Clk, Revers, Ena: input;
    A, B, C, D : output;
)
Variable
    FSM: machine with
states(A0,A1,A2,A3,A4,A5,A6,A7,A8);
Begin
    FSM.Clk=Clk;

    case FSM is
        when A0 =>
            if Ena == 1 then
                FSM = A1;
                A=B"0";
                B=B"0";
                C=B"0";
                D=B"0";
            end if;
        when A1 =>
            if Revers == 0 then
                A=B"1";
                B=B"0";
                C=B"0";
                D=B"0";
            else
                A=B"1";
                B=B"0";
                C=B"0";
                D=B"0";
            end if;
            if Ena == 0 then
                FSM = A0;
            else FSM = A2;
            end if;
        when A2 =>
            if Revers == 0 then
                A=B"1";
                B=B"0";
```

```
                C=B"1";
                D=B"0";
            else
                A=B"1";
                B=B"0";
                C=B"0";
                D=B"1";
            end if;
            if Ena == 0 then
                FSM = A0;
            else FSM = A3;
            end if;
        when A3 =>
            if Revers == 0 then
                A=B"0";
                B=B"0";
                C=B"1";
                D=B"0";
            else
                A=B"0";
                B=B"0";
                C=B"0";
                D=B"1";
            end if;
            if Ena == 0 then
                FSM = A0;
            else FSM = A4;
            end if;
        when A4 =>
            if Revers == 0 then
                A=B"0";
                B=B"1";
                C=B"1";
                D=B"0";
            else
                A=B"0";
                B=B"1";
                C=B"0";
                D=B"1";
            end if;
            if Ena == 0 then
                FSM = A0;
            else FSM = A5;
            end if;
```

Функциональная схема, реализующая полшаговый режим управления ШД регулирующего клапана, приведена на рисунке 2.

Схема управления ШД работает следующим образом. Заданное число шагов (импульсов) в параллельном коде подаётся на входы счётчика числа шагов *Ipm counter0* по сигналу *StepNumber[10...0]*. Максимально необходимое число шагов для конкретного устройства (2042) формируется в блоке генерации константы *Ipm constant0*. В компараторе *Ipm compare0* сравниваются количества импульсов (шагов), поступающие с выходов *Ipm constant0* и *Ipm counter0*. При числе

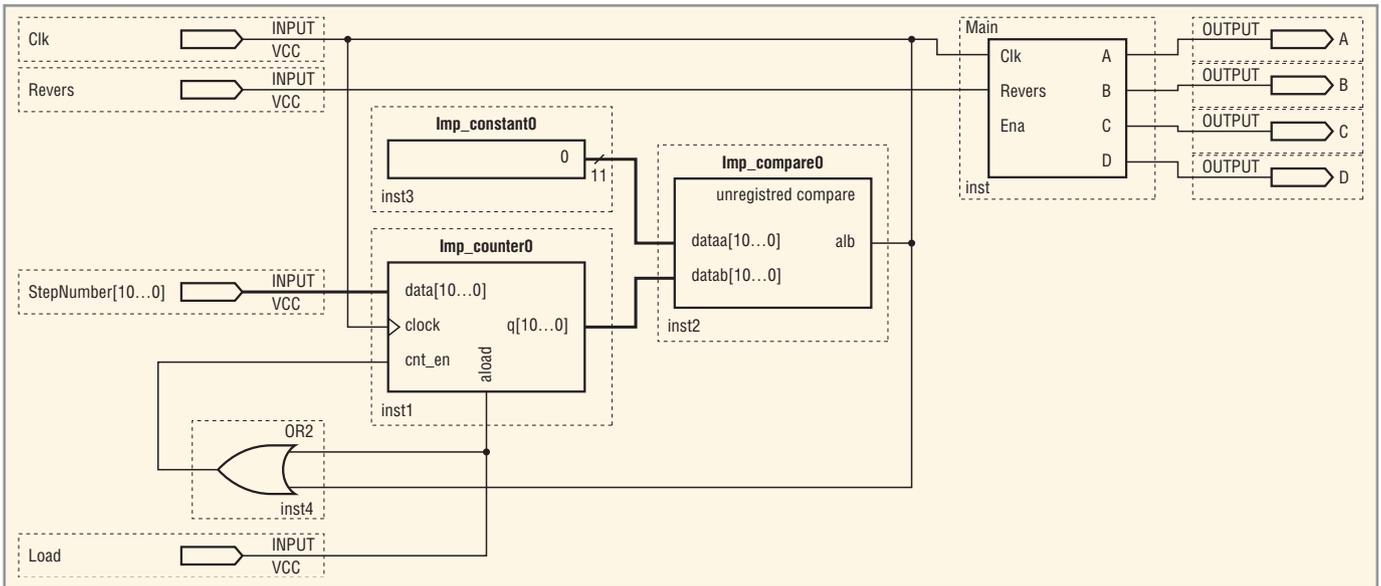


Рис. 2. Функциональная схема электропривода на основе ПЛИС, реализующая полушаговый режим ШД

*Imp constant0* – блок генерации константы; *Imp counter0* – счётчик числа шагов; *Imp compare0* – компаратор; *Main* – блок формирования управляющего сигнала

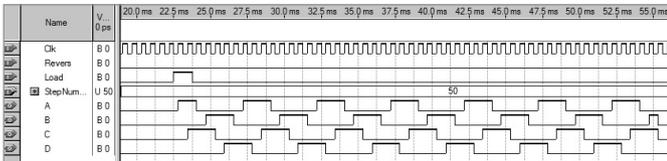


Рис. 3. Результаты моделирования при прямом направлении вращения ротора ШД

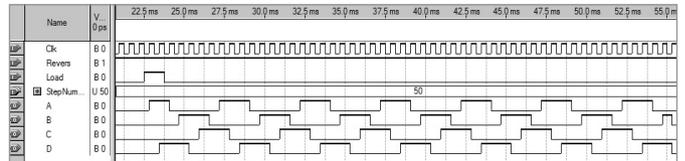


Рис. 4. Результаты моделирования при обратном направлении вращения ротора ШД

шагов менее 2042, с выхода *Imp compare0* на вход блока *Main* проходит необходимое число импульсов, соответствующее положению поршня клапана, т.е. степени открытия регулирующего клапана. Блок *Main*, формирующий управляющий сигнал, обеспечивает временной сдвиг импульсов на выходах A, B, C и D схемы. В результате реализуется полушаговый режим управления ШД. Пуск схемы осуществляется по сигналу, подаваемому на вход *Load* системой управления верхнего уровня. Прямое направление вращения двигателя задаётся «лог. 0» на входе *Revers*; для изменения направления вращения на этот вход необходимо подать «лог. 1».

После отладки компонентов схемы на основе созданных при компиляции выходных файлов, осуществлено моделирование работы СУ с помощью подсистемы (Simulator) пакета Quartus II ver.4.2. В результате компиляции создан файл для программирования и конфигурирования ПЛИС Altera.

Для реализации импульсного управления фазами ШД в полушаговом режиме может быть использована принципиальная электрическая схема устройства EPM7064LC44-5 на ПЛИС типа MAX7000S, аналогичная приведённой [3].

Технические характеристики регулирующего клапана с разработанной

**Технические характеристики регулирующего клапана**

Окружающая температура	-40...60°C
Полный ход поршня	13 мм
Шаговый двигатель	Униполярный
Шаг	Полушаг
Шаговый угол	7,5°
Номинальное напряжение	12 В, -4% /+15%
Фазовый ток	400 мА, -4% /+15%
Частота перемещения ротора двигателя	100...400 Гц
Скорость перемещения	300 шаг/с
Максимальное число шагов (угол)	2625 (+160°/-0°)
Полное время хода поршня	8,5 с
Начальное положение клапана	Полностью закрытое

схемой управления на основе униполярного ШД приведены в таблице.

Работоспособность разработанной схемы управления шаговым двигателем на базе ПЛИС проверялась путём моделирования работы устройства при частоте 200 Гц управляющих импульсов, подаваемых на фазовые обмотки. Полученные результаты (см. рис. 3 и 4) подтверждают соответствие схемы предъявляемым требованиям.

Разработанная СУ униполярным ШД на основе ПЛИС позволяет реализовать полушаговый способ управления фазовыми обмотками двигателя. В результате обеспечивается возможность точного регулирования расхода носителя в широком диапазоне. Схема управления характеризуется доступностью элементной базы, относительной простотой в реализации и настройке.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Баширин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. Энергоиздат, 1982.
2. Шеллинг Г., Байсе А. Электрические микромашин. Мир, 1997.
3. Вычужанин В.В. Устройства на ПЛИС для управления шаговым двигателем. Электронные компоненты. 2005. № 9, 10.

## Новости мира News of the World Новости мира

### Автопроизводители США не спешат с поддержкой HD Radio

Радиовещательные корпорации, столкнувшись с растущей конкуренцией со стороны iPod и спутникового радио, пытаются удержать внимание слушателей с помощью перехода на обеспечивающий большие возможности стандарт HD Radio, однако пока что компании-автопроизводители из США не спешат с поддержкой этого новшества. В то время как Hyundai, BMW, контролируемый Ford Motor британский бренд Jaguar и некоторые другие компании занялись активным продвижением нового стандарта, их американские коллеги пока что заняли скорее выжидательную позицию.

Официальные лица двух участников «большой тройки» американских автопроизводителей, компаний General Motors и Chrysler, сообщили о том, что реализация программы поддержки HD Radio обошлась бы каждому из этих предприятий приблизительно в 150...200 млн. долл. ежегодно, при этом рентабельность такого шага пока что неочевидна. На изучение перспектив нового стандарта и принятие взвешенного решения опрошенные собираются потратить ещё около полугода. Официальных комментариев от Ford по этому вопросу пока нет.

Переход на HD Radio сулит улучшение качества звука по сравнению с традиционным аналоговым радиовещанием и обеспечивает возможность многоканальной трансляции. В настоящее время приблизительно десятая часть от более чем 12 тыс. радиостанций США развернули поддержку нового стандарта, включая станции из национального топ-100 популярности. В то же время широкое распространение новшества пока сдерживается тем, что пользователи не торопятся приобретать приёмники с поддержкой HD Radio, да и среди радиостанций ещё немало консерваторов, не желающих осваивать цифровой формат. Похоже, что потребуется какое-то время, чтобы усилиями активных приверженцев прогрессивного нововведения рынок HD Radio «дозрел» до того состояния, когда поддержка этого стандарта станет действительно широко востребованной.

[yahoo.reuters.com](http://yahoo.reuters.com)

### Toshiba: анализ пути электрона с точностью до 1 нм

Компания Toshiba сообщила о своём прорыве в области визуализации движе-

ния электронов и примесей в полупроводниках, впервые позволяющей провести анализ пути распространения зарядов с точностью до 1 нм. Это достижение, которое основано на сканирующей микроскопии сопротивления растекания (SSRM), является важным шагом на пути к созданию чипов по техпроцессу 45-нм и ниже. Toshiba представила новую методику на Международном симпозиуме по физическим основам надёжности (IRPS), который проводился с 15 по 19 апреля в Аризоне, США.

Сканирующая микроскопия сопротивления растекания (SSRM) – технология двумерного картографирования сопротивлений на перекрестных поверхностях, позволяющая анализировать распределение электронов и примесей. Высокая точность, необходимая для создания 45-нм чипов, требуется для анализа плотности электронов в канале и возможности контроля за примесями с точностью 1 нм, так как даже незначительные различия в характеристиках могут привести к увеличению уровня токов утечки и риску короткого замыкания.

Технология SSRM использует сканирующий зонд для двумерной визуализации траектории заряда в полупроводниковых устройствах. Полученные изображения показывают вариации в сопротивлении, вызванные примесями, и позволяют провести анализ путей распространения заряда. В то же время уровень точности и повторное воспроизводство изображений высокого разрешения с помощью традиционной технологии SSRM ограничены пятью нанометрами.

Основными причинами такого ограничения точности являются ухудшение чёткости изображения из-за водяного пара, попадающего на образец из окружающей среды, а также сложность контроля стабильного контакта между образцом и зондом. Для преодоления этих барьеров инженеры Toshiba установили оборудование SSRM в вакуумной камере и стабилизировали положение зонда. Это позволило создать оптимальные условия и поднять предел разрешения до 1 нм – максимально возможного на сегодняшний день для SSRM-техники. Toshiba планирует использовать эту технологию для создания чипов по 45-нм производственному процессу.

Плотность электрического тока можно измерить с помощью сканирования поперечного сечения образца зондом с алмазным покрытием высокой проводимости.

С помощью полученных данных можно рассчитать плотность путей распространения заряженных частиц.

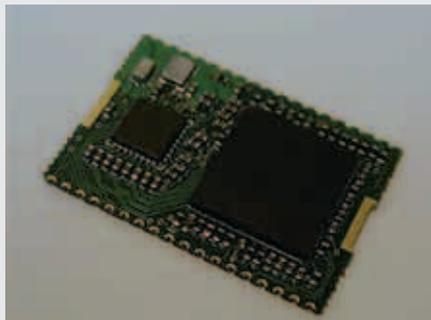
[www.3dnews.ru](http://www.3dnews.ru)

### Новые победы беспроводной шины USB

На мероприятии Intel Developer Forum (IDF), стартовавшем в Пекине 16 апреля, ассоциация разработчиков шины USB (USB Implementers Forum, USB-IF) объявила об очередных успехах в продвижении беспроводного интерфейса USB. Несколько новых продуктов успешно прошли тестирование и сертификацию на соответствие спецификациям Certified Wireless USB. В их числе два хост-контроллера: Intel Wireless Link 1480 RTUMC480AAC (модель SL9N3) и NEC uPD720170, а также два клиентских адаптера: Alereon AL4000 и NEC uPD720180. Во второй половине года ожидается значительное расширение данного списка.

Certified Wireless USB является протоколом верхнего уровня для беспроводной связи, построенным на базе сверхширокополосной платформы Ultra Wideband (UWB). Новая технология гарантирует пропускную способность беспроводного USB-канала до 480 Мбит/с на дистанции 3 м и до 110 Мбит/с – на 10 м.

На весенней конференции IDF 2007 в китайской столице компанией Alereon были продемонстрированы прототипы цифровых фотокамер Samsung и Kodak, оснащённые чипсетом AL4000 PHY. Данный набор микросхем, который находится в стадии массового производства с января этого года, включает в себя RF-трансивер AL4100 и сигнальный процессор AL4200.



По информации USB-IF, в некоторых странах уже завершены формальности по созданию правил использования платформы Ultra Wideband (UWB). С февраля текущего года официально готовыми к беспроводной технологии можно считать страны Европейского Союза, с марта – Южную Корею.

[digitimes.com](http://digitimes.com)