



Общероссийский математический портал

С. И. Сивков, Л. Г. Новиков, Система управления вентильным двигателем, реализованная на CPLD, *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. управление, вычисл. техн. информ.*, 2012, номер 2, 62–66

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.175

18 марта 2025 г., 04:17:55



УДК 621.313:681.586.72
ББК 96-044.3:31.261.2-042

С. И. Сивков, Л. Г. Новиков

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ, РЕАЛИЗОВАННАЯ НА CPLD

S. I. Sivkov, L. G. Novikov

SYSTEM OF CONTROL OF BRUSHLESS DC MOTORS USING CPLD

Разработанная система управления вентильным двигателем реализована на программируемой логической интегральной схеме (CPLD). Использование CPLD позволяет уменьшить потребление мощности для вычисления управляющего вектора и себестоимость системы. В отличие от современных систем управления вентильными двигателями, в представленной используются два датчика Холла. Схема управления построена на базе операторов логической свертки сигнала, что существенно снижает энергопотребление при формировании базовых векторов. Рассматривается принцип симметричного ШИМ-управления на операторах логической свертки. Использование операторов логической свертки для систем управления является новым научным направлением, позволяющим эффективно решать задачи управления и упрощать алгоритмы записи процедур преобразования сигнала во времени.

Ключевые слова: вентильный двигатель, программируемая логическая интегральная схема (CPLD), операторы логической свертки сигнала, широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

The developed system of control of brushless DC (BLDC) motors is realized on the complex programmable logic device (CPLD). Using CPLD reduces the power consumption required for calculation the control vector and also the cost of the system. As opposed to the modern systems of control of BLDC motors, the given system uses only two Hall's sensors. The control circuit is based on the operators of the logical signal convolution that significantly reduces power consumption during the formation of base vectors. The principle of symmetric pulse-width modulation (PWM) control on the operators of logical signal convolution is considered. The use of operators of logical signal convolution is a new scientific direction that allows effective solution of the problems of control of BLDC motors and simplification of algorithms of record of time-converting procedures.

Key words: brushless DC (BLDC) motors, complex programmable logic device (CPLD), operators of logical signal convolution, pulse-width modulation (PWM).

Введение

В промышленности широко используются системы управления движением на базе микроконтроллеров и цифровых сигнальных процессоров, которые обеспечивают построение гибких и высокопроизводительных систем. Использование специализированных цифровых процессоров может быть дорогим и требует дополнительных аналоговых компонентов и подсистем управления. Преимуществом микроконтроллеров является их невысокая стоимость, однако их тактовая частота составляет 10...50 МГц, что ограничивает частоту широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Микроконтроллер имеет встроенные аналоговые блоки и обеспечивает ширину полосы для управления лишь одним электродвигателем. Следовательно, в робототехнических приложениях, содержащих несколько электродвигателей, может понадобиться несколько микроконтроллеров, часть из которых управляет интерфейсом пользователя и коммуникациями, что увеличивает стоимость системы [1].

По сравнению с микроконтроллерами ПЛИС (FPGA) имеет достаточное количество аналоговых блоков и подсистем цифровой обработки для одновременного управления несколькими электродвигателями. По сравнению с FPGA CPLD-чипы более дешевые. Разработанный нами алгоритмизированный и функционально законченный язык синтеза логических устройств на операторах логической свертки позволяет конструировать автоматизированные системы управления вентильными двигателями на CPLD.

В рассматриваемой схеме управления применена система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) на операторах логической свертки [2]. Применение ФАПЧ позволило существенно уменьшить потребление мощности при вычислении и формировании базового вектора управления и реализовать систему управления на CPLD (одном кристалле ПЛИС).

Рассмотрим принцип построения системы управления трехфазным вентильным двигателем на операторах логической свертки. Функциональная схема представлена на рис. 1.

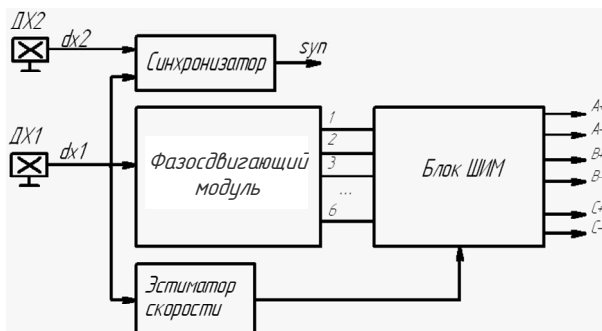


Рис. 1. Функциональная схема

Базовый алгоритм управления основан на измерении фазового сдвига при изменении частоты вращения ротора и формировании базового вектора управляющего воздействия. В качестве датчика положения ротора и скорости вращения используются датчики Холла (ДХ1, ДХ2). Типовой трехфазный вентильный двигатель имеет ротор с двумя парами чередующихся полюсов. За один оборот ротора датчик Холла формирует *PZ*-ряд вида 0101. Сформированный *PZ*-ряд позволяет оценить скорость ротора и сгенерировать сигнал синхронизации для работы операторов логической свертки. Рассмотрим функциональные блоки устройства.

Эстиматор скорости

Эстиматор скорости – устройство, преобразующее *PZ*-ряд в параллельный код, которое состоит из частотного идентификатора [3] и реверсивного счетчика. Установленный на выходе частотного идентификатора реверсивный счетчик (рис. 2) позволяет преобразовать частоту в код. При действии сигнала *G* счетчик работает на сложение, а при сигнале *L* – на вычитание. Коэффициент счета счетчика определяет количество ступеней квантования управляющего сигнала от 2 до 255. Сформированный код поступает в блок формирования ШИМ-сигнала.

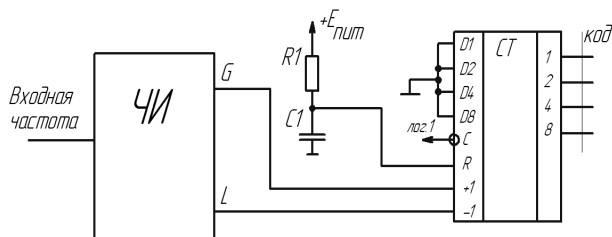


Рис. 2. Эстиматор скорости

Принцип работы частотного идентификатора основан на сравнении частоты сигнала на входе с унитарной константой, формируемой с помощью процедур $M = \{ \varphi j \delta \}$ и $S = \{ s j \delta \}$:

$$\begin{cases} L \leftarrow (\{ A \varphi i \delta \} \wedge \{ A s i \delta \}) \\ G \leftarrow (\{ \overline{A \varphi i \delta} \} \wedge \{ \overline{A s i \delta} \}) \end{cases},$$

где *G*, *L* – признаки высокой и низкой частоты, имеющие место ($G = 1$) при совпадении или ($L = 1$) при несовпадении значений сигналов с мерой времени; φ – оператор фронта; δ – оператор удлинения; *s* – оператор среза; *j* – величина меры пороговой частоты (длина константы). Выбирается из условия: $j = fs/2f_{п}$, где f_s – частота синхронизации; $f_{п}$ пороговая частота. С помощью представленных процедур будет определено соответствие частоты заданному значению.

Блок широтно-импульсной модуляции

Крутящий момент в вентильном двигателе пропорционален величине протекающего тока в обмотках, его уменьшение при постоянной нагрузке на валу ведет к снижению скорости вращения ротора. Для управления величиной тока в обмотках статора применяется широтно-импульсная модуляция. В зависимости от типа и конструктивных особенностей исполнения двигателя выделим три типа формирования ШИМ: по срезу; по фронту; по фронту и срезу сигнала, относительно середины импульса (симметричный ШИМ). Рассмотрим построение симметричного ШИМ на основе конвейерной схемы.

Конвейер обработки сигналов основан на разделении процесса обработки PZ-ряда на отдельные процедуры. Каждая процедура реализуется на операторах логической свертки.

Конвейерная схема для формирования симметричной широтно-импульсной модуляции и временные диаграммы работы представлены на рис. 3.

Процедура свертки описывается многочленом

$$C_{\text{ШИМ}} \leftarrow \{A \circ (X_1 + \bar{X}_1 \circ 2K) \circ (X_0 + \bar{X}_0 \circ K) \phi \circ (\bar{X}_1 + X_1 \circ 4\delta)(\bar{X}_0 + X_0 \circ 2\delta)\}.$$

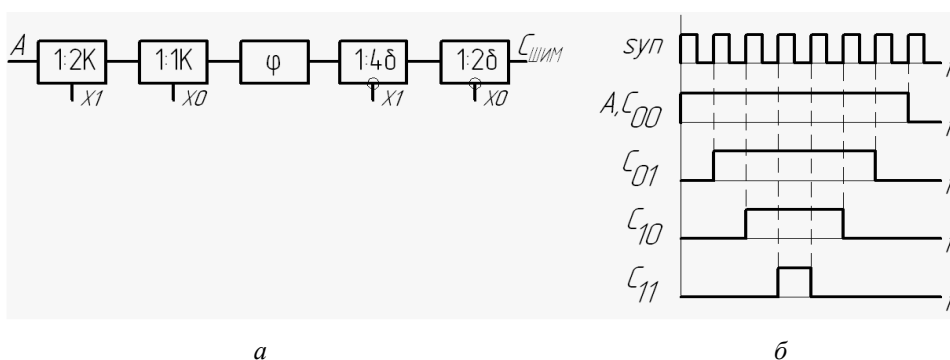


Рис. 3. Конвейерная схема ШИМ (а), временные диаграммы (б)

Принцип модуляции для двухразрядного кода иллюстрируется таблицей.

Процедуры ШИМ

X1X0	Вектор свертки	PZ-ряды	Длина P-ряда
00	$C_{\text{ШИМ}} = \{A \circ \phi \circ 4\delta \circ 2\delta\}$,1111111,	7
01	$C_{\text{ШИМ}} = \{A \circ 1K \circ \phi \circ 4\delta\}$,0111110,	7 - 2 = 5
10	$C_{\text{ШИМ}} = \{A \circ 2K \circ \phi \circ 2\delta\}$,0011100,	7 - 4 = 3
11	$C_{\text{ШИМ}} = \{A \circ 3K \circ \phi\}$,0001000,	7 - 6 = 1

Фазосдвигающий модуль

Процесс коммутации обмоток состоит из шести последовательных шагов, на каждом из которых работает пара управляющих силовых ключей. Функциональная схема фазосдвигающего модуля представлена на рис. 4.

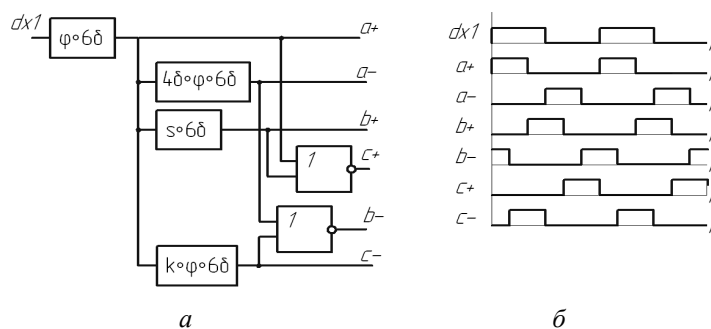


Рис. 4. Функциональная схема (а), формирующая фазовый сдвиг; временные диаграммы (б)

Для обеспечения заданного режима формирования фазы управляющего вектора необходимо:
 1) обеспечить первоначальное положение ротора относительно катушек статора;
 2) произвести коммутацию одной из катушек статора.
 После срабатывания датчика Холла запускается синхронизатор, двигатель разгоняется.

Синхронизатор

Синхронизация является неотъемлемой частью работы операторов логической свертки сигнала. Синхронизация должна изменяться пропорционально скорости вращения ротора двигателя. Поставив два датчика Холла на расстоянии в n раз меньшем длины магнита ротора одной полярности, получим решение поставленной задачи.

Оператор ϕ выделяет фронт с сигнала dx_1 , запускает на сложение реверсивный счетчик. Счетчик за время Δt , пропорциональное скорости прохождения ротора между двумя датчиками, формирует код, который записывается в регистр RG. Фронт, выделенный с сигнала dx_2 , переключает счетчик на вычитание. В момент, когда на выходе $PD (\geq 0)$ счетчика сформируется логический ноль, в счетчик из регистра заносится код, пропорциональный скорости вращения ротора. Счетчик, в режим вычитания, формирует сигнал синхронизации. Цикл повторяется до момента переключения RS-триггера от фронта сигнала dx_1 (рис. 5, 6).

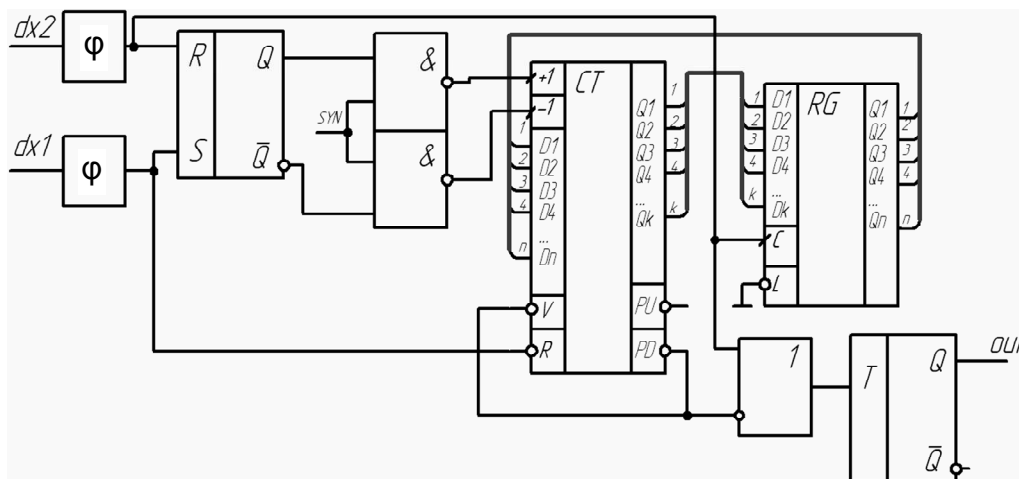


Рис. 5. Структурная схема синхронизатора

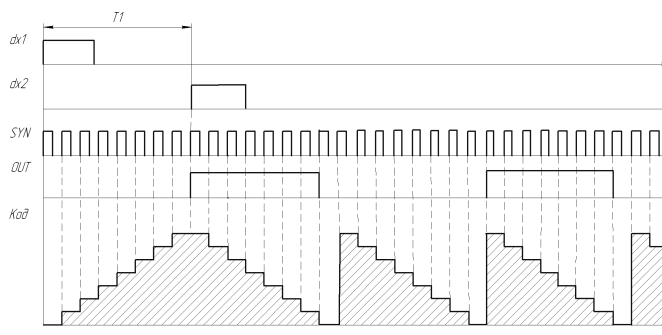


Рис. 6. Временные диаграммы синхронизатора

Представленная схема формирует сигнал синхронизации, определяемый скоростью вращения ротора, со скважностью $Q = 0,5$.

Выводы

Применение операторов логической свертки на основе вышеописанных принципов является новым научным направлением и позволяет:

- 1) эффективно решать задачи управления;

- 2) упростить алгоритмы записи процедур, преобразования сигнала во времени;
- 3) выполнить преобразование ШИМ-сигнала в Δ ШИМ-сигнал;
- 4) существенно снизить «пульсации» выходного кода при неизменной величине фазового сдвига;
- 5) реализовать устройства управления с низкой себестоимостью на одном кристалле ПЛИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев И., Глубоков А.* Управление вентильным электродвигателем. Ч. 1 // Электронные компоненты. – 2007. – № 11. – С. 28–31.
2. *Новиков Л. Г.* Принципы конвейерной логической обработки сигналов // Приборы и системы. 2009. – № 1. – С. 60.
3. *Новиков Л. Г., Скрылёв А. А.* Полифазные преобразовательные процедуры // Сб. науч. тр. МИФИ. – 2007. – Т. 12. – С. 60.

Статья поступила в редакцию 2.05.2012

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сивков Степан Игоревич – Технологический институт (филиал) Национального исследовательского ядерного университета «Московский инженерно-физический институт», Лесной, Свердловской области; старший преподаватель кафедры «Электротехника и электроника»; ssi-lesnoy@yandex.ru.

Sivkov Stepan Igorevich – Technological Institute (Branch) of National Research Nuclear University "Moscow Engineering Physics Institute", Lesnoy, Sverdlov Region; Senior Lecturer of the Department "Electrical Engineering and Electronics"; ssi-lesnoy@yandex.ru.

Новиков Леонид Григорьевич – Технологический институт (филиал) Национального исследовательского ядерного университета «Московский инженерно-физический институт», Лесной, Свердловской области; канд. техн. наук, доцент; зав. кафедрой «Технические системы контроля и управления»; lgnovik@mail.ru.

Novikov Leonid Grigorievich – Technological Institute (Branch) of National Research Nuclear University "Moscow Engineering Physics Institute", Lesnoy, Sverdlov Region; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department "Technical Systems of Control and Management"; lgnovik@mail.ru.