

УДК 621.314.5:621.3.017

П. Д. Гаврилов, Е. А Лир

## ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ МОДУЛЯ ШИМ DSP56F80x

Реализация частотного управления асинхронным электродвигателем (АД), как правило, сопровождается использованием одного из методов широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Энергетические характеристики электропривода, получаемые при этом, во многом определяются особенностями алгоритма, реализующего тот или иной метод.

На современном уровне развития микропроцессорной техники проблема формирования 3-х фазного напряжения методом ШИМ перестала быть актуальной. Связано это с тем, что многие производители выпускают DSP-контроллеры, в которые уже встроены программно-аппаратный модуль, позволяющий реализовать различные ал-

горитмы ШИМ [1 – 3]. При этом разработчику систем управления электроприводами предлагаются библиотеки готовых программных блоков. Фактически, процесс разработки программного обеспечения DSP-контроллера можно свести до формирования проекта системы управления на основе имеющихся библиотек. Однако, на наш взгляд, в случаях, когда требуется подробный анализ свойств и характеристик проектируемого электропривода, предварительно необходимо детально разобраться с особенностями как устройства модуля ШИМ конкретного DSP-контроллера, который предполагается использовать в системе управления, так и с алгоритмом, реализующий тот или иной вариант ШИМ.

Среди фирм, представленных на рынке DSP-контроллеров, ориентированных на применение в электроприводах, наиболее яркими представителями являются Texas Instruments, Motorola и Analog Device. В представленной статье рассматриваются результаты детального анализа особенностей модуля ШИМ, реализованного в семействе DSP-контроллеров фирмы Motorola DSP56F80x.

Большое число имеющихся в распоряжении настраиваемых параметров этого модуля позволяет использовать его для управления большинством типов двигателей. Структурная схема модуля приведена на рис. 1.

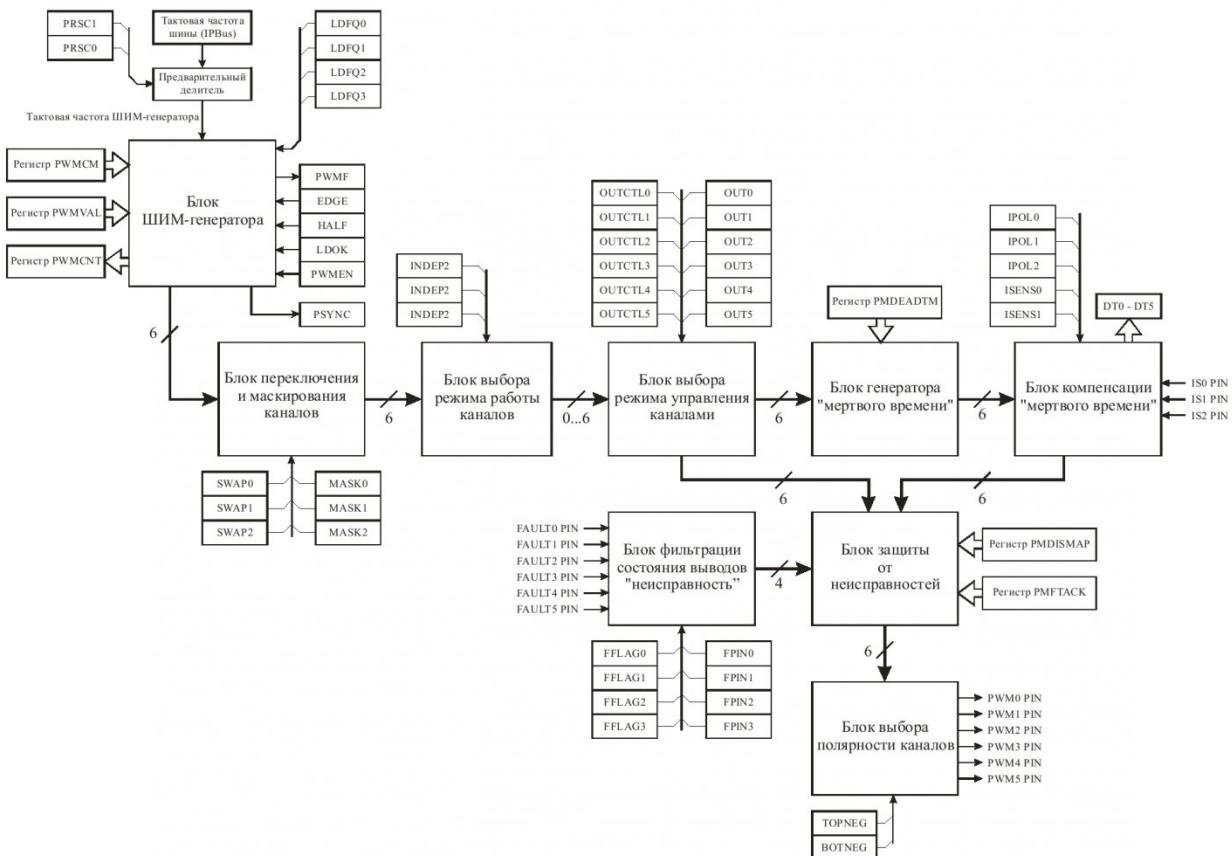


Рис. 1 . Структурная схема модуля ШИМ

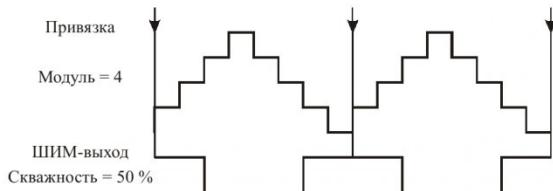


Рис. 2. Режим выравнивания «по центру»

Для работы модуля ШИМ задействованы следующие выходы DSP-контроллера:

- PWM0 ÷ PWM5 – выходные сигналы ШИМ;
- ISA0 ÷ ISA2 – входные сигналы направления фазных токов инвертора, используемых для коррекции искажения, обусловленного введением «мертвого» времени;
- FAULT0 ÷ FAULT2 – входные сигналы, определяющие состояние неисправности.

Данный модуль ШИМ может работать в двух режимах управления ШИМ-выводами (настраивается в блоке выбора режима управления каналами – см. рис. 1). В первом режиме, по сути, заложена идеология аналоговых систем управления с поправкой на расширенные возможности программной настройки используемых аппаратных средств (счетчиков, регистров, мультиплексоров и т.д.). Во втором режиме управление осуществляется программно, что делает его удобным в использовании при реализации векторных законов частотного регулирования на основе вектора обобщенного напряжения [5].

При работе модуля ШИМ в первом из указанных режимов формирование сигналов управления ШИМ-выводами осуществляется в блоке ШИМ-генератора (рис. 1), основу которого составляет 15-битный реверсивный счетчик (в действительности используется лишь 14 бит, состояние 15-го не изменяется). Значения этого счетчика записываются в регистр PMCNT. 6 выходных сигналов на выходе ШИМ-генератора предназначены для управления

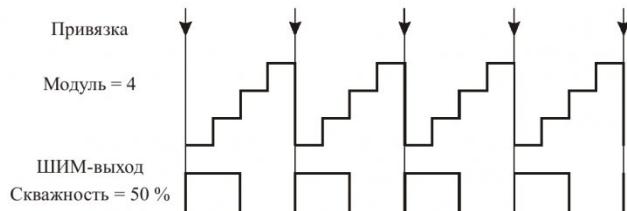


Рис.3. Режим выравнивания «по краю»

состояниями ключевых элементов инвертора. Рассмотрим каким образом они формируются.

Работа ШИМ-генератора определяется рядом настроек:

- режимом инициализации;
- значением тактовой частоты;
- режимом выравнивания;
- значением периода (модуля) несущей частоты ШИМ-сигнала;
- значением скважности выходных сигналов;
- режимом управления процессом перезагрузки ШИМ-генератора.

Режим инициализации позволяет включать/отключать ШИМ-генератор без снятия питания DSP-контроллера.

Частота, с которой осуществляется приращение значения

счетчика (тактовая частота ШИМ-генератора)  $f_{\text{ШИМ}}^T$  определяет дискретность изменения периода и скважности и выражается следующим образом:

$$f_{\text{ШИМ}}^T = \frac{f_{\text{IPBus}}}{k_{\text{ПД}}},$$

где  $f_{\text{IP Bus}}$  – это  $\frac{1}{2}$  рабочей частоты DSP-контроллера;  $k_{\text{ПД}}$  – значение коэффициента предварительного делителя. При выборе значения тактовой частоты необходимо учитывать разрядность ШИМ-генератора.

От выбранного режима выравнивания зависит реверсивность счетчика ШИМ-генератора (рис. 2, 3).

Период (модуль) несущей частоты ШИМ  $T_{\text{ШИМ}}$ , выраженный в периодах тактовой



Рис. 4 . Определение периода несущей частоты ШИМ при выравнивании «по центру»

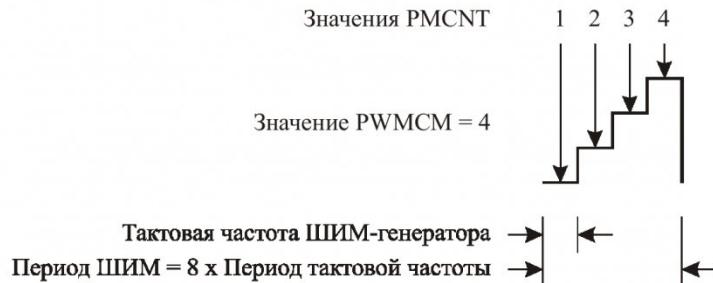


Рис. 5 . Определение периода несущей частоты ШИМ при выравнивании «по краю»

частоты ШИМ-генератора ( $T_{\text{ШИМ}}^T$ ), задается значением одного из регистров – PWMCM (рис. 1). Кроме того, он зависит от режима выравнивания, что продемонстрировано на рис. 4 и 5.

Соответственно, если ШИМ-генератор работает с выравниванием по центру:  $T_{\text{ШИМ}} = \text{PWMCM} \cdot T_{\text{ШИМ}}^T \cdot 2$ , если же выбран режим выравнивания «по краю»:

$$T_{\text{ШИМ}} = \text{PWMCM} \cdot T_{\text{ШИМ}}^T \cdot$$

Величина скважности, также выраженная в периодах тактовой частоты ШИМ-генератора, задается значением, записанным в регистр PWMVAL (рис. 1). При этом скважность определяется следующим образом:

$$\gamma = \frac{\text{PWMVAL}}{\text{PWMCM}} \cdot 100\%.$$

Понятно, что для формирования ШИМ-модулем синусоидального сигнала, значения регистра PWMVAL должно изменяться по синусоидальному закону. Но обеспечивается это уже программно, за счет внешней процедуры.

Режим управления процессом перезагрузки определяет частоту и условия осуществления операции перезагрузки ШИМ-генератора, то есть процесса обновления его настроек. Другими словами, выбирая тот или иной режим перезагрузки, мы определяем постоянную времени в контуре регулирования.

Сформированные выходные сигналы ШИМ-генератора проходят дальнейшую обработку. Так в блоке переключения и маскирования каналов имеется возможность поменять местами парные каналы или, при желании, отключить любое сочетание каналов путем установки маски неактивных каналов (рис. 6).

Как уже говорилось выше, рассматриваемый модуль ШИМ

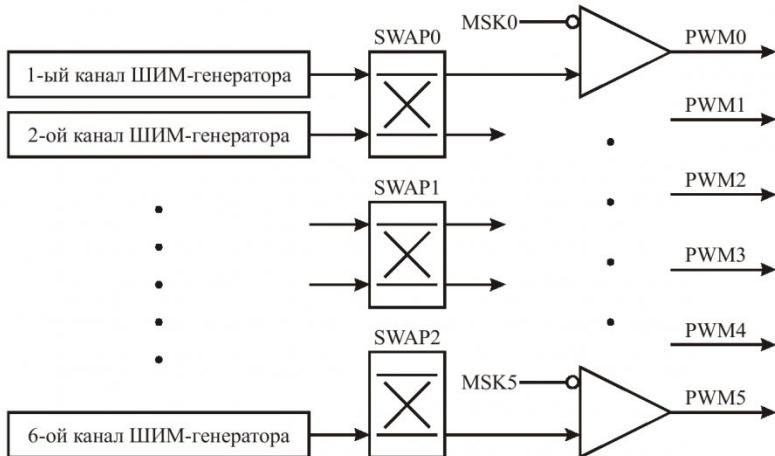


Рис. 6 . Структура блока переключения и маскирования каналов ШИМ

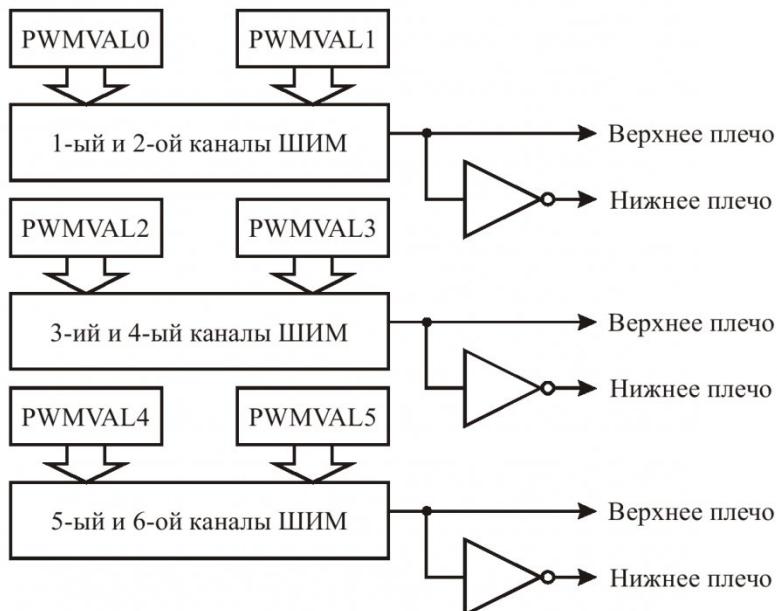


Рис. 7 . Подключение ШИМ выводов в комплементарном режиме работы каналов

позволяет использовать его для управления различными типами электродвигателей. Поэтому в нем имеется возможность выбора режима работы каналов – независимый или комплементарный, которая реализована в одноименном блоке (рис. 1). Способ подключения ШИМ-выводов в комплементарном режиме работы каналов показан на рис. 7.

Далее сигналы поступают в блок выбора режима управления и, если выбран первый режим, проходят без изменений дальнейшую обработку. Если выбран второй режим управле-

ния, то сигналы ШИМ-генератора подменяются сигналами внешней процедуры, реализующей программное управление ШИМ-выводами.

В комплементарном режиме работы каналов, который и используется для задач частотного регулирования АД, независимо от режима управления каналами, появляются три дополнительные функции:

- введение «мертвого» времени;
- раздельная корректировка ширины импульса верхнего и нижнего плеча для компенсации «мертвого» времени;

- раздельное управление полярностью верхнего и нижнего плеч.

Генератор «мертвого» времени автоматически вставляет программно выбираемые задержки на запуск каждого канала парных ШИМ-выводов.

Длительность этих задержек, выраженная в периодах тактовой частоты ШИМ-генератора, задается значением регистра PMDEADTM. Для исключения протекания сквозного тока, при выборе значения этого регистра необходимо руководствоваться выражением:

$$PMDEADTM = k_3 \cdot \frac{t_{OFF}}{T_{ШИМ}},$$

где  $t_{OFF}$  – время отключения силового ключевого элемента инвертора;  $k_3$  – коэффициент запаса, величина которого должна учитывать возможное увеличение времени отключения.

На рис. 8 приведены диаграммы счетчика ШИМ-генератора и ШИМ-выводов при отсутствии и при наличии «мертвого» времени.

Из диаграмм, представленных на рисунке видно, что из-за введения «мертвого» времени в конечном итоге происходит уменьшение среднего значения напряжения, подаваемого на обмотку статора АД.

Для исключения этого эффекта в модуле ШИМ имеется блок компенсации «мертвого» времени, который обеспечивает увеличение или уменьшение

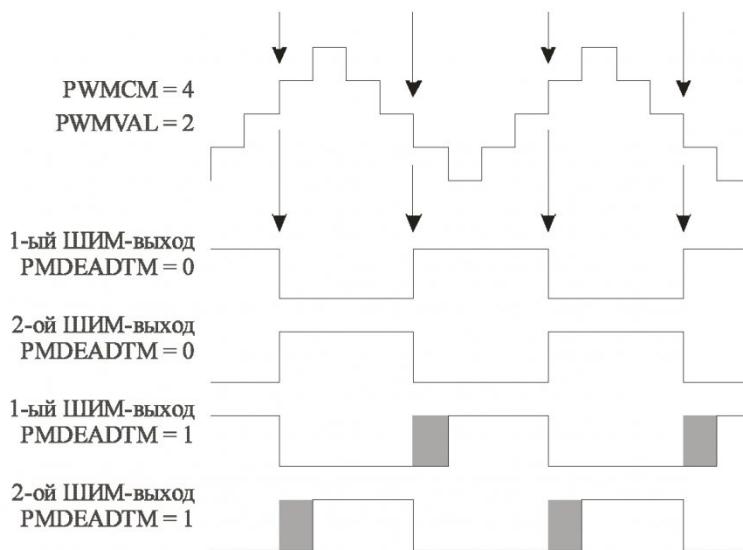


Рис. 8 . «Мертвое» время (режим выравнивания «по центру»)

значения соответствующего регистра PWMVAL на основе определения направления тока. Настройки блока компенсации позволяют выбрать ручной или автоматический режим компенсации.

При этом имеется два подрежима автоматического режима.

Первый подрежим, при котором определение направление тока осуществляется в течение «мертвого» времени, используется в тех случаях, когда скважность не принимает граничных значений (0 и 100 %).

Второй подрежим, где в зависимости от режима выравнивания направление тока осуществляется либо на полупериоде ШИМ (режим выравнивания «по центру»), либо в конце пе-

риода (режим выравнивания «по краю»), может использоваться при любых значениях скважности, но при этом необходима дополнительная внешняя схема определения направления тока.

Если нет неисправностей, сигналы проходят в блок выбора полярности каналов и поступают на выводы DSP-контроллера.

Как видно из вышесказанного, модуль ШИМ обладает обширным набором настроек, выбор которых должен осуществляться исключительно обдуманно и обоснованно, с сопоставлением получаемых при этом показателей энергоэффективности и качества регулирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.ti.com>.
2. <http://www.freescale.com>.
3. <http://www.analog.com/processors/processors/ADSP>.
4. DSP56F801/803/805/807, 16-bit Digital Signal Processor, User's Manual. <http://www.freescale.com>.
5. Изосимов Д.Б., Рыбкин С.Е., Швецов С.В. Симплексные алгоритмы управления трехфазным автономным инвертором напряжения с ШИМ // Электротехника, 1993, №12.

□ Авторы статьи:

Гаврилов  
Петр Данилович  
- канд. техн. наук, доц. каф.  
электропривода и автоматизации

Лир  
Евгений Александрович  
- аспирант каф. электропривода и автоматизации