Ле Дык Тиеп, Нгуен Ван Чонг
Московский Авиационный Институт
Москва, Россия

doi: 10.18411/lj-28-02-2017-1-07
idsp 000001:lj-28-02-2017-1-07

Улучшенный алгоритм векторной ШИМ для регулирования частоты вращения вала асинхронного двигателя

Аннотация

В статье предложен алгоритм формирования напряжения на обмотках асинхронного двигателя (АД) в режиме векторной ШИМ при регулировании частоты вращения асинхронного двигателя. Предложено использовать в алгоритме формировать дополнительные векторы для алгоритма векторной ШИМ, как способ управления сквозных токов. Приведены результаты имитационного моделирования предложенного алгоритма векторной ШИМ, которые показали её работоспособность. Приведено способ регулирования частоты вращения асинхронного двигателя, показано что разработанный алгоритм с использованием промежуточных векторов позволил исключить сквозные токи первого рода в инверторе при управления двигателем и уменьшать его колебание скорости, момент и тока статора средством увеличения количества формируемых векторов в каждом секторе.

Ключевые слова: векторная широтно-импульсная модуляция, электропривода синхронного двигателя, трехфазный инвертор, силовой транзисторный ключ.

Содержание

Широтно-импульсная модуляция применяется в преобразовательной технике, как способ формирования импульсного напряжения и регулирования его параметров. Известно большое число различных методов ШИМ, к достоинствам которых следует отнести обеспечение широкого линейного диапазона модуляции; снижение потерь на переключение силовых ключей транзисторов; улучшение спектрального состава и простоту реализации. Один из способов реализации ШИМ при управлении асинхронного двигателя – формирование изображающего вектора напряжения статора. Этот метод применяется в подавляющем большинстве систем с пространственно-векторным формированием ШИМ.

Рис. 1 Структура подключения трехфазного инвертора к АД

Для управления шестью ключами существуют $2^6 = 64$ состояния, из которых рабочими является ограниченное число [5, 6, 7, 8]. Обозначим их состояния символами V_{xu} и V_x .

Где:

- $V_x (x = 0, 1..7)$ – базовые векторы;
- V_{xu} – остальные рабочие состояния ключей инвертора; где x – является десятичным значением двоичных кодов ключей S1S3S5, u – является десятичным значением двоичных кодов ключей S2S4S6. При традиционном векторном формировании ШИМ [1, 2, 3] используются 8 состояния ключей инвертора, которые описываются 8-ю векторами $V_0, V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$. При формировании более одного вектора в секторе (рассмотрим для примера сектор, ограниченный векторами (V_4, V_6)) порядок следования базовых векторов следующий:

$$(V_0 \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_7 \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_0) \Rightarrow (V_0 \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_7 \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_0)$$

В секторе (V_4, V_6) имеют 6 переключений: ($V_0 \Rightarrow V_4$), ($V_4 \Rightarrow V_6$), ($V_6 \Rightarrow V_7$), ($V_7 \Rightarrow V_6$), ($V_6 \Rightarrow V_4$), ($V_4 \Rightarrow V_0$). В [9, 12] было показано, что все эти переключения приводят к возникновению сквозного тока и для исключения сквозного тока в переходах ($V_4 \Rightarrow V_6$), ($V_6 \Rightarrow V_4$) предположено использовать дополнительные промежуточные векторы $V_{41}, V_{42}, V_{21}, V_{24}, V_{12}, V_{14}$.

Таблица 1

Состояния ключей для формирования дополнительных определенных векторов

Состояние ключей $S_1 S_3 S_5$ $S_2 S_4 S_6$	Схема нагрузки	Направление тока	Магнитные векторы	Фазные напряжения		
				U_a	U_b	U_c
0 0 1 0 1 0				0	$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{2}U_{dc}$
0 0 1 1 0 0				$-\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$\frac{1}{2}U_{dc}$
0 1 0 0 0 1				0	$\frac{1}{2}U_{dc}$	$-\frac{1}{2}U_{dc}$
0 1 0 1 0 0				$-\frac{1}{2}U_{dc}$	$\frac{1}{2}U_{dc}$	0
1 0 0 0 0 1				$\frac{1}{2}U_{dc}$	0	$-\frac{1}{2}U_{dc}$

$\begin{matrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix}$				$\frac{1}{2}U_{\alpha}$	$-\frac{1}{2}U_{\alpha}$	0
--	---	---	--	-------------------------	--------------------------	-----

Рис. 2 Результирующие векторы в неподвижной системе координат

Для регулирования частоты вращения вала АД предложен перспективный алгоритм с следующим порядком следования базовых векторов при формировании любого вектора напряжения в секторах (V4, V6), (V6, V2), (V2, V3), (V3, V1), (V1, V5), (V5, V4) будет:

- + $V_0 \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_{41} \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_{41} \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_0$;
- + $V_0 \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_{21} \Rightarrow V_2 \Rightarrow V_{21} \Rightarrow V_6 \Rightarrow V_0$;
- + $V_0 \Rightarrow V_2 \Rightarrow V_{24} \Rightarrow V_3 \Rightarrow V_{24} \Rightarrow V_2 \Rightarrow V_0$;
- + $V_0 \Rightarrow V_3 \Rightarrow V_{14} \Rightarrow V_1 \Rightarrow V_{14} \Rightarrow V_3 \Rightarrow V_0$;
- + $V_0 \Rightarrow V_1 \Rightarrow V_{12} \Rightarrow V_5 \Rightarrow V_{12} \Rightarrow V_1 \Rightarrow V_0$;
- + $V_0 \Rightarrow V_5 \Rightarrow V_{42} \Rightarrow V_4 \Rightarrow V_{42} \Rightarrow V_5 \Rightarrow V_0$.

Так длительность существования промежуточных векторов крайне мало сравнению с базовыми векторами, и их влиянием на направление и модуль формируемых векторов можно пренебречь. Соответствующая временная диаграмма переключения силовых ключей при формировании вектора в секторе (V4, V6) дана на рис.3. В остальных секторах формирование будет аналогичным.

Рис.3 Временная диаграмма переключения силовых ключей при формировании вектора в секторе (V4, V6)

Для регулирования частоты вращения вала АД приводим по закону, например $\frac{U}{f} = const$. При уменьшения амплитуды колебания тока статора, скорости ротора и момента АД количество формируемых векторов в каждом секторе как правило велико. Число формируемых векторов в секторе будем обозначать n . Например формирование трех векторов в секторе (V_4, V_6) то $n = 3$, который приведен на рис. 4. Для исследования влияния параметра n на качество электропривода асинхронного двигателя в режиме векторной ШИМ используем имитационную программированную модель на Matlab, которая приведена на рис. 5.

Рис. 4 Формирование трех векторов

Рис. 5 Схема моделирования асинхронным двигателем в режиме векторной ШИМ в Matlab Simulink

Где:

- блок: PWM1vector – Блок программирования формирования одного вектора в каждом секторе;
- блок PWM20vector – Блок программирования формирования 20 векторов в каждом секторе;

Результаты моделирования сведены в табл.2, 3.

Таблица 2

Результатов оценивания качества электропривода при $n = 1$ и частоты работы двигателя изменяются 60, 50, 15, 5, 1:

f		60	15	5	1
$n = 1$	ω , (rad)	187, 0.01	46, 15	15, 48	2.46, 7.54
	ΔM (H.M)	12	258	259	97
	ΔI (A)	15.8	51.8	89.9	17

Таблица 3

Результатов оценивания качества электропривода при $n = 20$ и частоты работы двигателя изменяются 60, 50, 15, 5, 1:

f		60	15	5	1
$n = 20$	ω , (rad)	187, 0	46, 0.4	15, 1.1	2.46, 1.04
	ΔM (H.M)	6	17	19	28
	ΔI (A)	0.625	1.84	2.6	4.5

Где: $\Delta \omega = \omega_{SPW} - \omega_{Sin}$, $\Delta M = M_{SPW} - M_{Sin}$, $\Delta I = I_{SPW} - I_{Sin}$

В качестве примера приведены графики при $f = 3, n = 20$, рис. 6, 7.

Рис. 6 Скорость ротора и электромагнитный момент двигателя при $f = 3, n = 20$

Рис. 7 Ток статора двигателя при $f = 3, n = 20$

Вывод

Результаты моделирования регулирования частоты вращения показывают что колебание скорости, тока статора, электромагнитного момента двигателя уменьшится при большем количестве формируемых векторов в каждом секторе чем при традиционном. Таким образом, использование векторной ШИМ по предложенному алгоритму при времени существования промежуточных векторов существенно меньше относительно времени существования базовых векторов позволяет не только обеспечить все хорошие характеристики традиционного способа векторной ШИМ, но и устранить многие недостатки традиционного способа.

Литература

1. Борзов Д.Б., Титов В.С. Вопросы проектирования и динамической реконфигурации топологии систем логического управления в системах высокой готовности: монография / Юго-Зап. гос. ун-т. –Курск, 2015. –282 с.
2. Данильченко Н.В., Макеев С.Н. Масштабируемый мультипроцессор для цифровой обработки сигналов // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2012: сб. тр. /под общ. ред. акад. РАН А.Л.Стемпковского. – М.: ИППМ РАН, 2012. – С. 495–500.