



Частотный преобразователь VOSMIKRUT



U/f – скалярное управление АД

Краткое описание принципов модуляции

Существует множество более сложных алгоритмов и решений по вопросу управления асинхронными двигателями, использующих контроллеры с аппаратными ШИМ модулями. Однако в данном устройстве использован



простой распространённый PIC микроконтроллер, который выполняет основную функцию – генератор скалярной трёхфазной пространственно-векторной ШИМ. Разные варианты программ позволяют вращать как стандартные двигатели на 50Гц, так и специальные на 200-400Гц.

Выходной синус создается посредством программного перебора констант (интервалов времени) и соответствующих переключений транзисторов инвертора. Окружность (один оборот поля) программно разбита на 18 направлений (оно же ШИМ импульсов) вектора напряжения (V_{ref}). (Если посмотрите самые новые исходные файлы, вы легко найдёте там эти направления). Т.к. вектор поля двигателя в движении всегда догоняет вектор напряжения (индуктивная нагрузка), то его 18 направлений вполне достаточно, чтоб 4квт-ный мотор крутился на 1Гц, даже при ограничении по разрядности части этих направлений без особых вибраций ротора.

Направление задаётся определённым поочередным переключением стоек фаз по синусоидальным (и не по синусоидальным) отсчётным интервалам со сдвигом в 120 градусов. Получаются синусоидальные линейные вектора напряжений на выходе.

Переключения – это 8 стандартных комбинаций транзисторов (векторов), 6 активных и 2 нулевых + мертвое время при множестве переходов между ними = всего 26 вариантов и ещё несколько для обратного вращения, некоторые повторяются и меняются местами (в итоге более 30, в исходных файлах это таблицы переключения прямого и обратного вращения).

Активный вектор – когда обмотки двигателя подключаются транзисторами к напряжению DC звена.

Нулевой вектор – когда обмотки двигателя закорочены инвертором и напряжение равно 0 (но ток обмоток двигателя при этом протекает через транзисторы и обратные диоды). Всегда активны 3 транзистора (кроме мёртвого времени). В качестве пояснения см. рисунки и таблицу ниже.

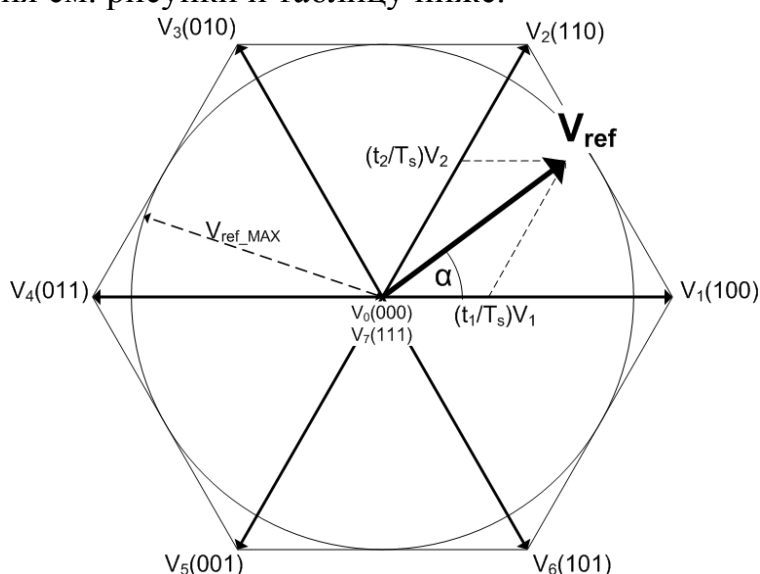


Рис. 1 – Направления шести базовых векторов.

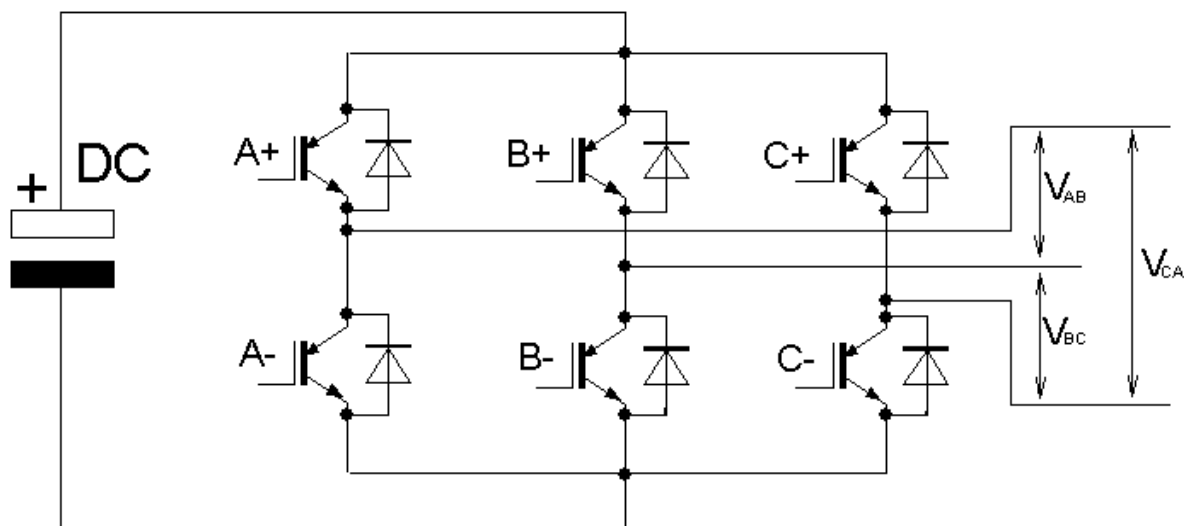


Рис. 2 – Схема трёхфазного инвертора и формируемые им вектора напряжений.

Базовый вектор	A+	B+	C+	A-	B-	C-	VAB	VBC	VCA	
V0 = {000}	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВКЛ	0	0	0	нулевой вектор
V1 = {100}	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВКЛ	+VDC	0	-VDC	активный вектор
V2 = {110}	ВКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	0	+VDC	-VDC	активный вектор
V3 = {010}	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	-VDC	+VDC	0	активный вектор
V4 = {011}	ВЫКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	-VDC	0	+VDC	активный вектор
V5 = {001}	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	0	-VDC	+VDC	активный вектор
V6 = {101}	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	+VDC	-VDC	0	активный вектор
V7 = {111}	ВКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	0	0	0	нулевой вектор

Таблица 1 – Комбинации включения транзисторов при создании базовых векторов напряжений.

По-другому, с точки зрения векторности, в каждом направлении обрабатывается нужная длительность активных и нулевых базовых векторов для получения нужного результирующего вектора V_{ref} (см. рис.1). Их соотношение определяет его амплитуду (напряжение), а общая длительность прохождения направлений частоту ШИМ и выходную частоту. Генерация одного направления вектора V_{ref} повторяется в зависимости от множителя, чтоб получить низкую частоту вращения.



<DC-AC> VOSMIKRUT SOFT

Имеется всего 9 ступеней построения одной полуволны, которые получаются из 7 входных задающих интервалы времени констант и множителя. Минимизация при построении программы привела к такому минимальному числу входных данных, чтоб ничего не пересчитывать и расположить всё в таблицах. Три числа определяют длительность активных линейных векторов, а четыре остальных длительность нулевых. Множитель подгоняет диапазон выходной частоты. Разрядность чисел - 1 байт(.255).

Программа построена так, что просто перебирает нужные интервалы, а в прерывании в любой момент времени, не зависящий от текущего положения вектора, быстро сменяет исходные данные, считывая новые из таблиц, налету плавно меняя частоту вращения и напряжение, практически без скачков.

На подходе к номинальной частоте и максимальному выходному напряжению, длительность нулевых векторов снижается и в обновлённых векторных программах их коммутация пропускается (фаза переводится в полупассивное состояние), тем самым увеличивая длительность активного вектора (повышая выходное напряжение) и уменьшая частоту ШИМ, помехи и коммутационные потери на ключах.

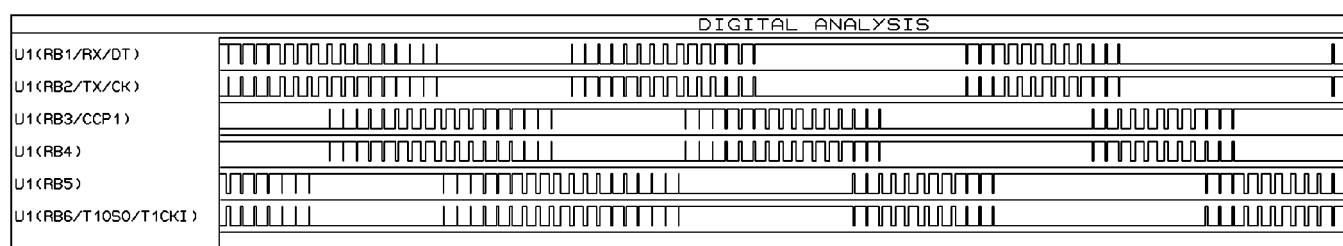


Рис. 3 Диаграмма шести выходных ШИМ сигналов с микроконтроллера при разгоне.

На рис. 3 представлен фрагмент перехода с частоты 48,5Гц на 49Гц с пропуском 3 нулевых векторов и построение вектора V_{ref} при этом большей амплитуды через активные базовые вектора. Также наглядно видно снижение частоты коммутации ключей за счёт более длительного времени открытия или закрытия транзисторов.

Далее для сравнения ниже представлены осциллограммы затворов при максимальном выходном напряжении и частоте 50Гц.



Рис. 4 - Синус ШИМ с 0 векторами

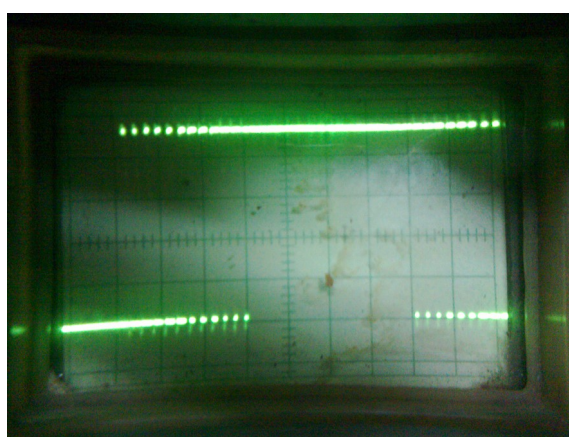


Рис. 5 - Векторный режим ШИМ



А так выглядит разница результирующей полуволны ШИМ на обмотке двигателя при максимальном выходном напряжении и частоте 50Гц.

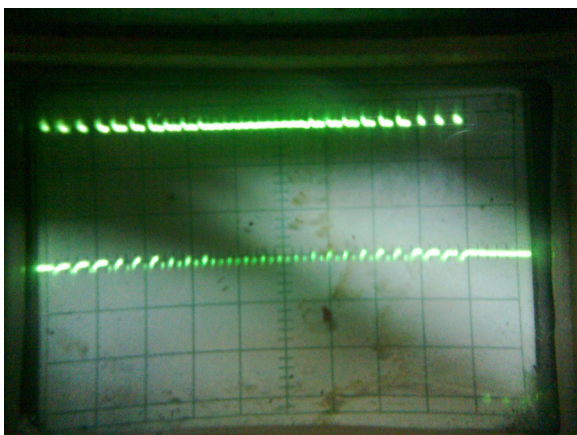


Рис. 6 – Выходное напряжение при синус ШИМ с гармониками.

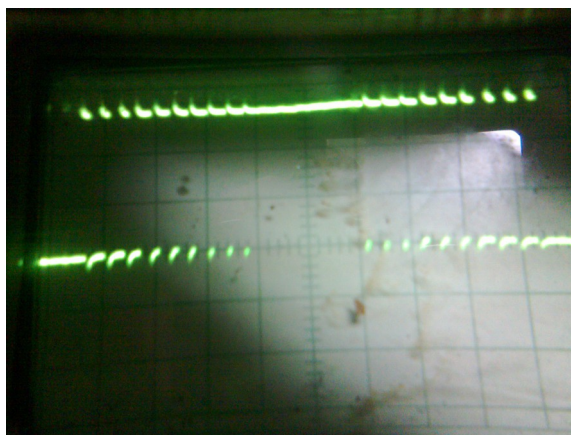


Рис. 7 – Выходное напряжение при векторной модуляции

На рис. 8 представлена форма выходного тока при векторной модуляции при тех же условиях и на 50Гц.

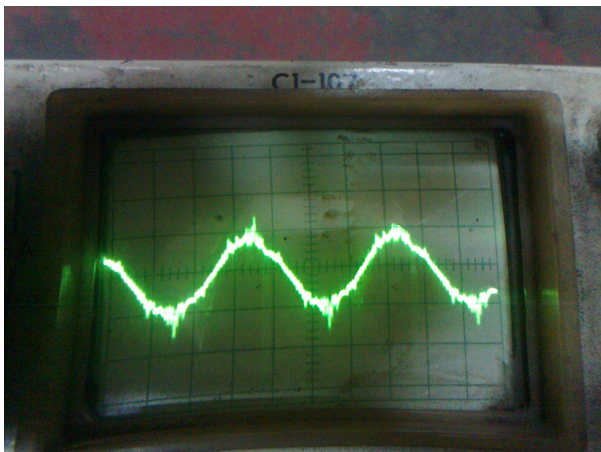


Рис. 8 – Форма тока фазы двигателя.

В качестве нагрузки при снятии осциллограмм использовался 4кВт двигатель АИР100S2У3.

На низких частотах, зависимость U/f имеет небольшой подъем, оптимальный для работы двигателя средней мощностью около 4 кВт без потери момента.

