

Создание лабораторных работ по дисциплине «Цифровая и микропроцессорная техника в управлении» с использованием российского программного обеспечения «MexBIOS Development Studio 6.21»

А. В. Домнин¹, В. Д. Лиховская²

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹aleksa-domnin@yandex.ru, ²varvara250387@bk.ru

А. Н. Прокшин

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
taybola@gmail.com

Аннотация. Приведен метод обработки измерений фазных токов 3-х фазной электрической машины в косоугольной системе координат, позволяющий сократить объем вычислений для управления электрической машины. Рассмотрение ковариантных (измеряемых) значений мгновенного фазного тока и контравариантных значений напряжения позволяет не переводить вычисления в декартову систему и обратно. Физические величины являются суммой произведений ковариантных и контравариантных координат. Система управления по обратной связи в данной работе отсутствует. В работе описан пример создания лабораторных работ для студентов с реальным микроконтроллером в период дистанционного обучения. Показано преимущество использования российского программного обеспечения и микроконтроллеров.

Ключевые слова: измерение фазных токов, ковариантные координаты, контравариантные координаты

В период дистанционного обучения представлялось важным организовать лабораторные работы с реальными микроконтроллерами и системами управления электрическими машинами. Микроконтроллер выбран с реализацией ШИМ на аппаратном уровне stm32f103c8t6. Данные микроконтроллеры имеют российский аналог фирмы Миландр. В ряде демонстраций использовался российский микроконтроллер K1921VT01 ([4]).

Программное обеспечение выбрано с максимально простой установкой и возможностью работы с данным микроконтроллером. Такое программное обеспечение с бесплатной лицензией, достаточной для моделирования работы системы управления электрическими машинами выпускается российской фирмой Мехатроника-Про [3].

Объект управления – инвертор напряжения, выполненный по мостовой схеме, ведомый 3-х фазной сетью подключенный без нулевого провода (рис. 1). Управление IGBT-транзисторами производится векторной широтно-импульсной модуляцией. Рассматриваем установившийся

режим без переходных процессов. Предполагаем также, что переток активной и реактивной мощности через дроссель L таковы, что изображающий вектор напряжения \vec{u} коллинеарен изображающему вектору \vec{i} и таким образом задан поток мощности через инвертор $\vec{i} \cdot \vec{u} = \text{const}$. Частота вращения изображающих векторов синхронизирована с частотой сети. Также предполагаем, что IGBT-модули имеют датчики, измеряющие мгновенные значения изменяемого фазного тока. В симметричной трехфазной системе изображающий вектор тока формируется из трех фазных токов по формуле Парка–Горева [1], [2]:

$$\vec{i} = \frac{2}{3} (\vec{i}_A \cdot \vec{e}_A + \vec{i}_B \cdot \vec{e}_B + \vec{i}_C \cdot \vec{e}_C) \quad (1)$$

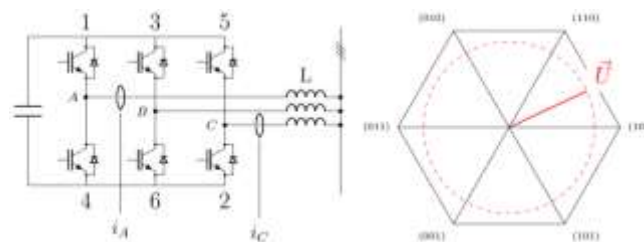


Рис. 1. Схема инвертора ведомого сетью и изображающий вектор напряжения инвертора

где $\vec{e}_A, \vec{e}_B, \vec{e}_C$ – единичные вектора в направлении фаз. i_A, i_B, i_C – измеренные мгновенные значения фазных токов. Мгновенные значения это перпендикулярные проекции изображающего вектора тока на оси фаз. Для симметричной системы формула 1 может быть получена из сложения векторных равенств для изображающего вектора в трех косоугольных системах координат. В системе координат, образованных фазами A и C

$$\vec{i} = i^A \cdot \vec{e}_A + i^C \cdot \vec{e}_C \quad (1)$$

где i^A, i^C – контравариантные координаты (индексы вверх) есть коэффициенты линейного разложения вектора \vec{i} по векторам \vec{e}_A, \vec{e}_C . Перпендикулярные проекции вектора i_A, i_C называются ковариантными координатами (индексы вниз)

зу). Заметим, что измеряются только перпендикулярные проекции вектора \vec{i} , Мощность в инверторе можно вычислить по формуле

$$p = i_A \cdot u^A + i_C \cdot u^C \quad (2)$$

Контравариантные координаты (индексы вверх) можно получить с помощью математического разложения вектора, а также с помощью системы управления. Физическая величина формируется из ко- и контра- вариантных проекций векторов, из измеренных и создаваемых системой управления значений. На рис. 2 величины m_i пропорциональны контравариантным координатам и, соответственно, пропорциональны u^i . Длина стороны треугольника нормирована на 1. Центр тяжести лежит на прямой KK' и по правилу рычага Архимеда:

$$\begin{aligned} &|m_1 \times \text{расстояние от } m_1 \text{ до } KK'| = \\ &= (m_1 + m_3) \times \text{расстояние от } m_1 \cdot m_3 \text{ до } KK' | \end{aligned}$$

- изображающий вектор есть центр тяжести весов базовых векторов;

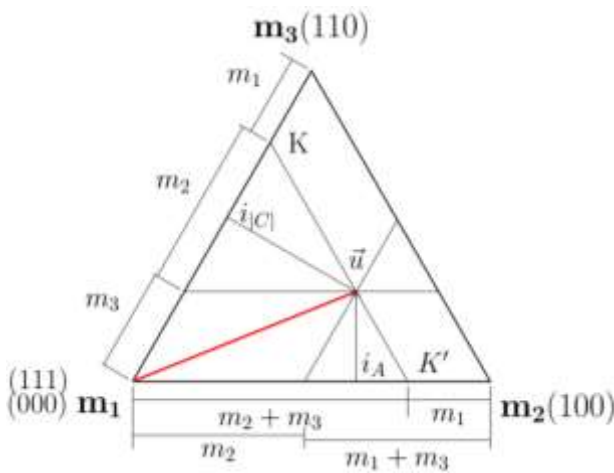


Рис. 2. Рис. 2: Изображающий вектор напряжения в первом сегменте

- изображающий вектор есть векторная сумма базовых векторов с учетом весов, т.е. контравариантных координат вектора:

$$\begin{cases} m_2 = \frac{4}{3} \left(i_A - \frac{|i_C|}{2} \right) \\ m_3 = \frac{4}{3} \left(|i_C| - \frac{i_A}{2} \right) \\ 1 = m_1 + m_2 + m_3 \end{cases}$$

Затем были вычислены уставки ШИМ: T_a, T_b, T_c . И, окончательно, был создан блок, который заменял стандартную последовательность векторного управления (преобразование Кларка, Парка–Горева, обратное преобразование Парка–Горева, и обратное преобразование Кларка). При этом в созданном блоке не использовались переходы к

декартовой системе. На выходе блока получили осциллограмму уставок T_a, T_b, T_c совпадающую с осциллограммой от стандартной последовательности (рис. 3).

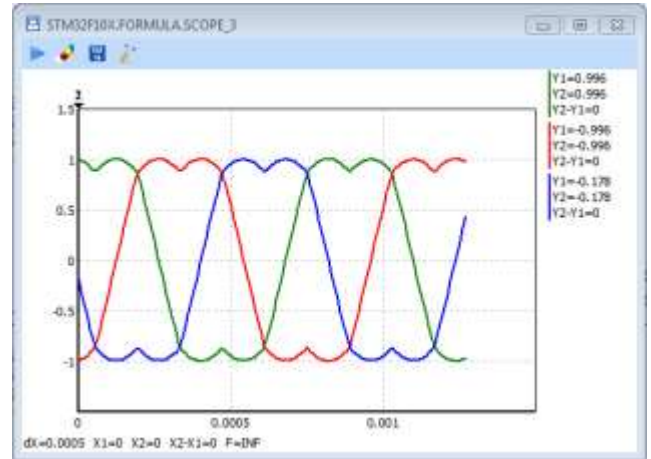


Рис. 3. Осциллограмма уставок T_a, T_b, T_c от блока в котором не использовались переходы к декартовой системе

Решены следующие задачи

- предоставлена возможность пройти лабораторные работы удаленно;
- использовано российское программное обеспечение «MexBIOS Development Studio 6.21» и в ряде демонстраций российский микроконтроллер K1921BK01T;
- упрощено управление электрической машиной, в котором отсутствуют лишние переходы в декартову систему d, q и обратно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Горев А.А. Переходные процессы синхронной машины. М.-Л., Гос. энергетическое изд., 1950. 551 с.
- [2] Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: Учебник для студ. высш.учеб.заведений. М.: «Академия», 2007. 272 с.
- [3] MexBIOS Development Studio 6.21//Мехатроника-про [Электронный ресурс] URL: <https://www.mechatronica-pro.com/ru/catalog/software/mexbiosdevelopmentstudio> (дата обращения:11.03.2021)
- [4] K1921BK01T 32-разрядный микроконтроллер для систем управления электроприводом//АО «НИИЭТ» [Электронный ресурс] URL: <https://niiet.ru/product/%d0%ba1921%d0%b2%d0%ba01%d1%821/> (дата обращения:11.03.2021).
- [5] Исходный код блока обработки фазных токов/[репозиторий системы контроля версий ПрокшинаА.Н.] [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/trot-t/RemoteLabs> (дата обращения:11.03.2021).