

Лиховская В.Д.(студ), Домнин А.В.(студ), Прокшин А.Н.

Март 2021

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

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.

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.

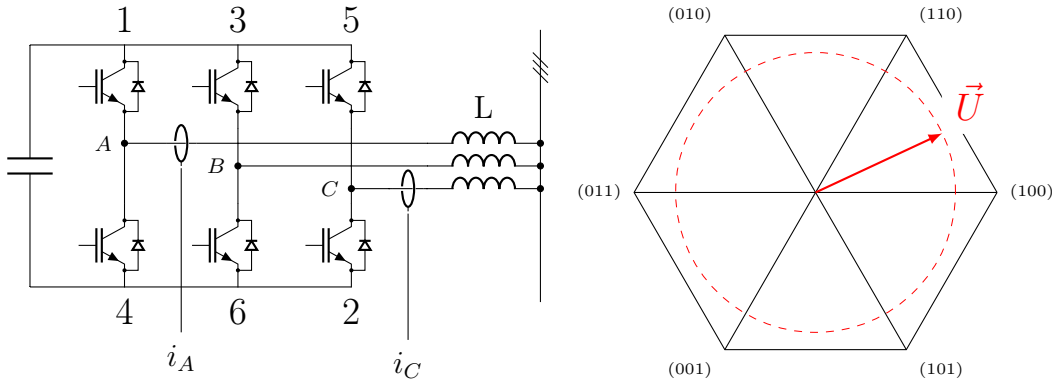


Рис. 1: схема инвертора напряжения ведомого сетью и изображающий вектор напряжения инвертора

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  $\vec{i} \cdot \vec{u} = const$ . 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]:

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

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

$$\vec{i} = i^A \vec{e}_A + i^C \vec{e}_C$$

где  $i^A, i^C$  – контравариантные координаты (индексы вверху) есть коэффициенты линейного разложения вектора  $\vec{i}$  по векторам  $\vec{e}_A$  и  $\vec{e}_C$ .

Перпендикулярные проекции вектора  $i_A, i_C$  называются ковариантными координатами (индексы внизу). 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 сверху) 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.

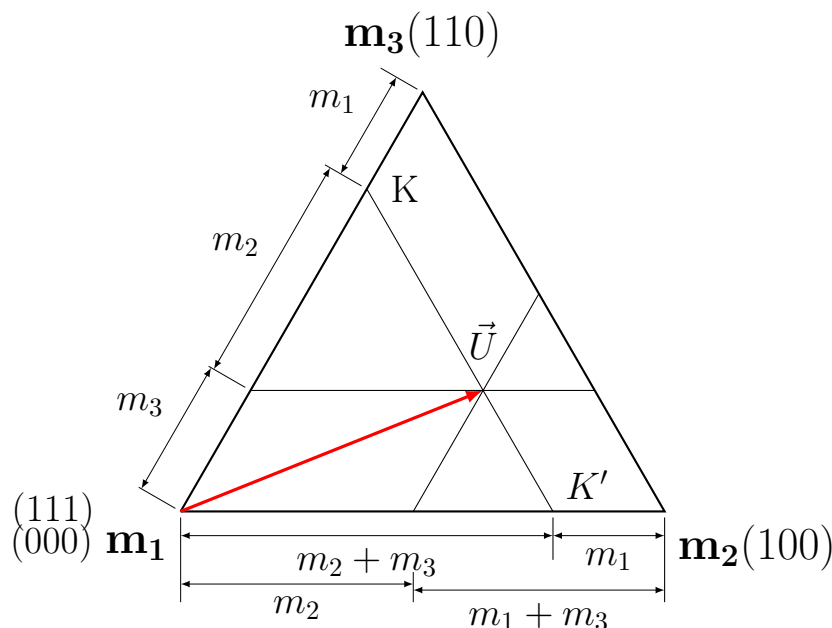


Рис. 2: Изображающий вектор напряжения в первом сегменте

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:

$m_1 \times |\text{расстояние от } m_1 \text{ до } KK'| = (m_2 + m_3) \times |\text{расстояние от } m_2 m_3 \text{ до } KK'|$   
 –изображающий вектор есть центр тяжести «весов» базовых векторов;  
 –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 [5], 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 со осциллограммой от стандартной последовательности (рис. 3).

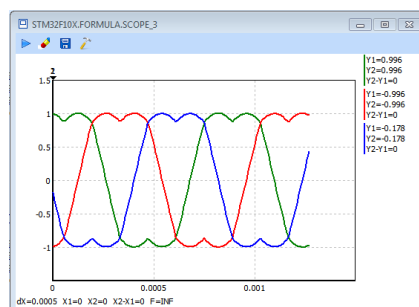


Рис. 3: осциллограмма уставок  $T_a, T_b, T_c$  от блока в котором не использовались переходы к декартовой системе

Решены следующие задачи:

- предоставлена возможность пройти лабораторные удаленно;
- использовано российское программное обеспечение МехБиос и в ряде демонстраций российский микроконтроллер K1921VT01;
- упрощено управление электрической машиной в котором отсутствуют лишние переходы в декартову систему 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] Мехбиос [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.mechatronica-pro.com/ru/catalog/software-0>
- [4] Микроконтроллер K192101VT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://niiet.ru/product/>
- [5] С-код блока преобразования фазных токов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://github.com/trot-t/RemoteLabs>