

*В.А. Василенко (студ.), А.В. Вербова (студ.), А.Г. Илюшин (студ.),
А.И. Маслов (студ.), А.Н. Прокшин, Н.И. Татаринцев, Д.И. Халявин (студ.)*

Создание лабораторных работ по дисциплинам «Микроконтроллеры» и «Цифровая и микропроцессорная техника в управлении»

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

Abstract: Established opportunity for students to engage in field oriented control of 3-phase induction motor with microcontrollers. Open-loop field oriented control Park-Gorev transformation has been extremely simplified. By using covariance and contravariance coordinates of vectors of electrical variables there is not necessity to involve decart system d,q. at all.

keywords: electric machine system, covariance and contravariance coordinates of vectors.

В настоящее время в системах управления электрическими машинами, электроприводами, электрическими сетями переменного и постоянного тока все чаще применяется микропроцессорная техника.

Для получения студентами навыков работы с микропроцессорными системами было решено создать лабораторные установки. Для упрощения подхода к системе управления в лабораторных работах использованы контравариантные и ковариантные координаты в косоугольной системе координат.

Выбрано свободное программное обеспечение. Чтобы дать возможность студентам выполнять самостоятельную работу на домашних компьютерах решено использовать комплект оборудования с наименьшей стоимостью 1. На микроконтроллер записывалась программа-загрузчик ([3], [4]), которая при старте принимает прошивку через USB, а затем передает ей управление.

оборудование	стоимость единицы
микроконтроллер stm32f103c8t6	150-200 рублей
двухцветный светодиод, резистор 1кОм, провода	100 рублей

Таблица 1: Стоимость оборудования в расчете на одно лабораторное место

Объект управления – трехфазный асинхронный двигатель УАД-12. Питание двигателя осуществляется автономным инвертором напряжения выполненным по мостовой схеме на IGBT-транзисторах. Управление IGBT-транзисторами производится векторной широтно-импульсной модуляцией. Не

предполагается наличие обратной связи с двигателем. Схема автономного инвертора и изображающего вектора напряжения \vec{U} представлена на рис. 1.

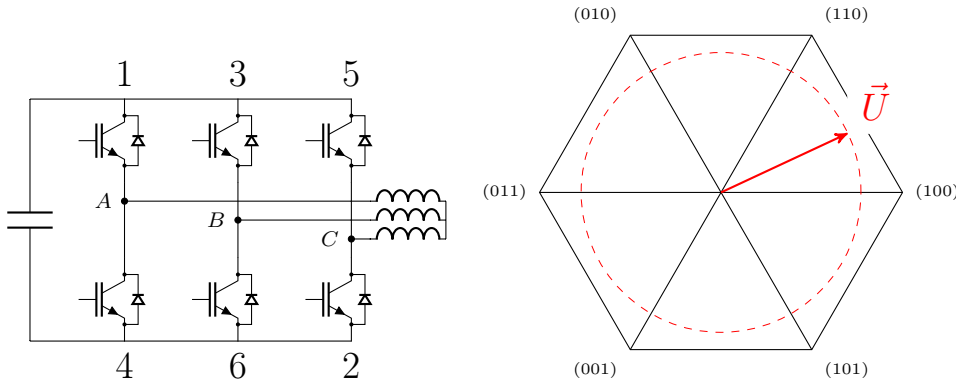


Рис. 1: схема автономного инвертора напряжения и изображающий вектор

В симметричной трехфазной системе изображающий вектор напряжения формируется из напряжений трех фаз по формуле Парка-Горева ([1], [2]):

$$\vec{U} = \frac{2}{3} (U_A \vec{e}_A + U_B \vec{e}_B + U_C \vec{e}_c) \quad (1)$$

где \vec{e}_A , \vec{e}_B , \vec{e}_c – единичные вектора в направлении фаз. U_A , U_B , U_C – мгновенные напряжения, измеренные в каждой фазе. Мгновенные значения это перпендикулярные проекции изображающего вектора 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 А и В:

$$\vec{U} = U^A \vec{e}_A + U^B \vec{e}_B$$

где U^A , U^B – контравариантные координаты (индексы вверху) есть коэффициенты линейного разложения вектора \vec{U} по векторам \vec{e}_A и \vec{e}_B . Перпендикулярные проекции вектора U_A , U_B называются ковариантными координатами (индексы внизу). В системе координат, образованных фазами В и С: $\vec{U} = U^B \vec{e}_B + U^C \vec{e}_C$

Если сложить координаты U^B в этих двух системах

$$U_{\text{в системе фаз АВ}}^B \cdot \vec{e}_B + U_{\text{в системе фаз ВС}}^B \cdot \vec{e}_B = 2U_B \cdot \vec{e}_B$$

Таким образом при сложении проекций векторов в координатных системах

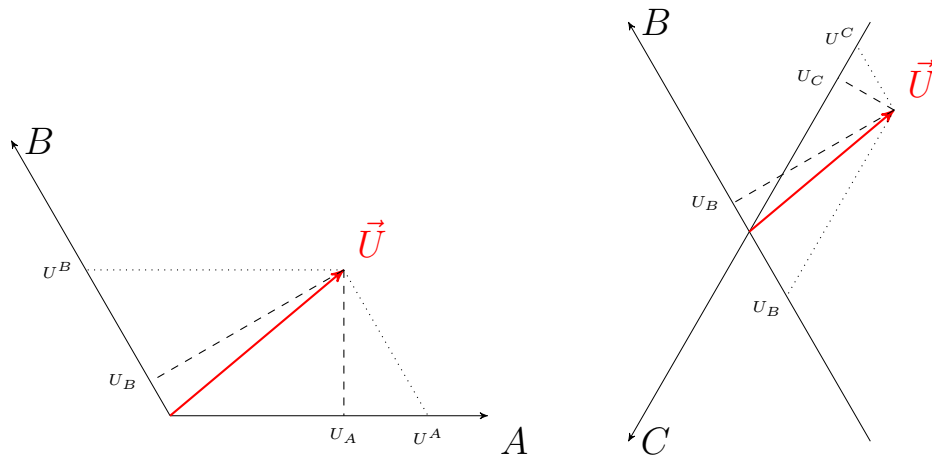


Рис. 2: Изображающий вектор в системах координат в фазах АВ и фазах ВС

АВ, ВС и СА получаем формулу (1).

Микроконтроллер управляет силовыми ключами дискретно. Состояния ключей полумостов представлены в виде базовых векторов напряжения на рис. 1. В обозначениях базовых векторов позиция символа обозначает фазу (АВС). Значение 1 соответствует тому что потенциал соответствующей фазы полумоста равен напряжению звена постоянного тока (примем это напряжение равным 1), а значение 0 соответствует нулевому потенциалу.

Произвольный изображающий вектор напряжения есть линейная комбинация базовых векторов. Конец изображающего вектора лежит в центре тяжести базовых векторов, имеющих вес равный относительным продолжительностям m_i нахождения системы в данном базовом векторе (рис. 3).

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.

Если известны перпендикулярные составляющие на оси фаз U_A, U_B, U_C нет необходимости переходить к декартовым осям d, q :

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

При программировании вызовы функций заменены где это возможно мак-

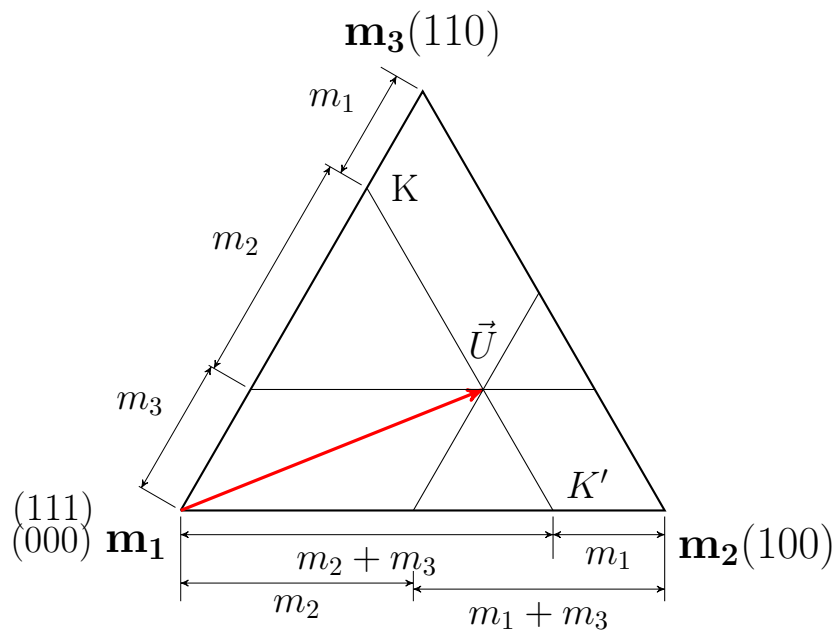


Рис. 3: Изображающий вектор напряжения в первом сегменте

росами для избежания на простых операциях раскрутки стека ([5], [6]).

Решены следующие задачи:

- созданы 15 учебных лабораторных мест;
- 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] Заливка прошивки в STM32 через USB <https://habr.com/post/403007/>
- [4] Программа-загрузчик github.com/rogerclarkmelbourne/Arduino_STM32
- [5] Мехбиос <http://www.mechatronica-pro.com/ru/catalog/software-0>
- [6] <https://www.ti.com/tool/CONTROLSUITE>