

## МЕТОД ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫМ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ РАЗОМКНУТОЙ ФАЗЕ

Даньярова Асия Саматовна

*d\_b@bk.ru*

Магистрант специальности «Транспорт, транспортная техника и технологии»

ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Косыбаев Ж.З.

**Аннотация.** Большинство электрических машин, таких как асинхронные двигатели, могут моделироваться эквивалентной двухфазной моделью машины (прямое квадратичное моделирование). Трехфазный асинхронный двигатель с одной из открытых фаз статора (неисправный трехфазный асинхронный двигатель) также может моделироваться эквивалентной двухфазной машиной. При условии, если для этой неисправной машины используется традиционный метод векторного управления для сбалансированных трехфазных асинхронных двигателей. Но этот метод приводит к значительным колебаниям скорости и крутящего момента.

В этой статье представлена, не использованная ранее, методика векторного управления неисправными трехфазными асинхронными двигателями, основанная на роторно-ориентированном управлении (РОУ). Работоспособность предложенного способа оценивалась с помощью программного обеспечения MATLAB. Результаты показывают, что он достигает значительных улучшений в уменьшении колебаний откликов скорости и крутящего момента.

**Ключевые слова:** адаптивное управление, неисправность открытой фазы; колебания скорости и крутящего момента; трехфазные асинхронные двигатели; векторный контроль.

**Введение.** В настоящее время для получения высоких динамических характеристик в системах привода широко применяется адаптивное управление асинхронными электродвигателями. Применение обычной стратегии управления, такого как адаптивное управление, к неисправному трехфазному асинхронному электродвигателю (трехфазная машина при разомкнутой фазе) приведет к незначительным колебаниям скорости и крутящего момента на выходе [1-4]. В [1-4] показано, что с помощью матриц преобразования структура уравнения адаптивного управления для неисправного трехфазного асинхронного электродвигателя может быть преобразована в аналогичную структуру для сбалансированного асинхронного двигателя. Однако в процессе расчета уравнений адаптивного управления обратные условия уравнений напряжения статора не учитывались [2,3]. Предложенный в [4] способ векторного управления неисправными асинхронными электродвигателями также крайне зависит от регулирования тока пропорционально-интегрального регулятора.

Основной вклад настоящего исследования заключается в разработке более точного метода векторного управления на основе роторно-ориентированном управлении (РОУ) для асинхронных двигателей, который также может быть принят для асинхронных двигателей при разомкнутой фазе.

Работоспособность предложенного метода была оценена и проверена с использованием программного обеспечения MATLAB.

### 1. Математическое моделирование

Как показано в [3], структура неисправного уравнения асинхронного двигателя похожа на структуру сбалансированного уравнения асинхронного двигателя. В таблице 1

приведены различия между моделями сбалансированного и неисправного асинхронного двигателя.

Таблица №1

Сравнения моделей сбалансированного и неисправного асинхронного двигателя

Сбалансированный асинхронный двигатель	Неисправный асинхронный двигатель
Взаимная индукция квадратной оси $M_{qs} = M = \frac{3}{2} * L_{ms}$	Взаимная индукция квадратной оси $M_{qs} = \frac{\sqrt{3}}{2} * L_{ms}$
Самоиндукция квадратной оси $L_{qs} = L_s = L_{is} + \frac{3}{2} * L_{ms}$	Самоиндукция квадратной оси $L_{qs} = L_{is} + \frac{1}{2} * L_{ms}$

Неисправное уравнение статора асинхронного двигателя может быть преобразовано в несбалансированное прямое квадратное уравнение статора с использованием нормированной матрицы преобразования, полученное в [3]:

$$[T_s^{fault}] = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

В роторно-ориентированном управлении уравнения машины преобразуются в вращающуюся систему отсчета. Преобразование выполняется с использованием известной вращательной матрицы преобразования, заданной (2) [6]:

$$[T_s^e] = \begin{bmatrix} \cos \theta_e & \sin \theta_e \\ -\sin \theta_e & \cos \theta_e \end{bmatrix} \quad (2)$$

где  $\theta_e$  – угол между неподвижной системой отсчета и вращающейся системы отсчета.

Применяя (2) к уравнениям статора неисправного трехфазного асинхронного двигателя и уравнениям напряжения ротора во вращающейся системе отсчета, можно получить как прямую, так и обратную составляющую [4]. Обратные значения производятся по причине различных индуктивностей в неисправных уравнениях асинхронных двигателей. Управление неисправным асинхронным двигателем возможно, если использовать передний или обратный компонент отдельно. Но это приведет к более сложной системе управления.

Проблема решается путем введения двух вращательных преобразований. Используя эти вращательные преобразования, структура уравнения роторно-ориентированного управления неисправным асинхронным двигателем становится похожей на уравнение сбалансированного асинхронного двигателя.

## 2. Уравнения предложенного векторного управления для неисправных АД

Основная идея использования этих преобразований достигается из упрощенного устойчивого состояния эквивалентной схемы однофазного асинхронного двигателя, как показано на рисунке 1. Все параметры на рисунке 1 определены в [5] и (3).

$$Z_F = \frac{Z_d}{Z_{im} + 2Z_b + Z_d}; \quad Z_B = \frac{Z_d}{Z_{im} + 2Z_f + Z_d};$$

$$Z' = \frac{Z_{im} + 2Z_f + Z_d - Z_F Z_d}{1 - Z_F Z_B}; \quad V' = \frac{Z_F (Z_{im} + 2Z_b + Z_d - Z_B Z_d)}{1 - Z_F Z_B} I_b; \quad (3)$$

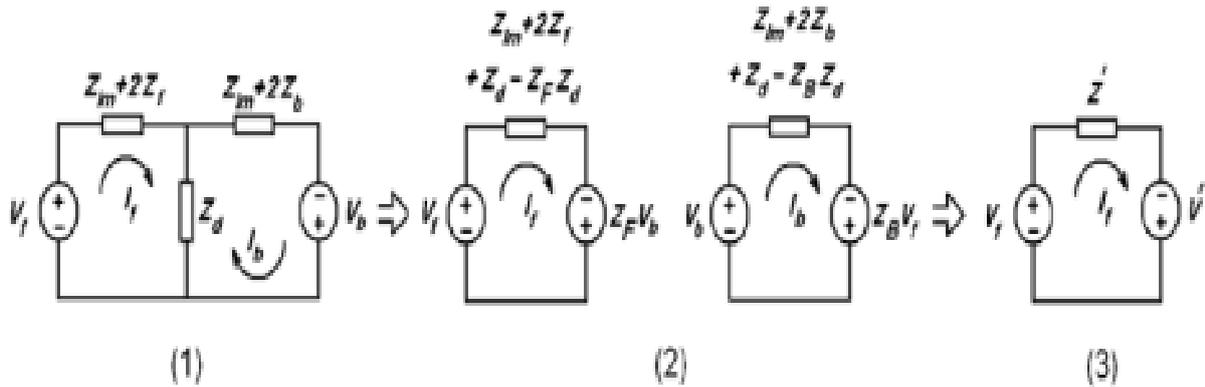


Рисунок 1- Эквивалентная схема однофазного асинхронного двигателя

Рисунки 1 (1) и 1 (2) показывают, что можно изменить эквивалентную схему однофазного АД в две сбалансированные цепи, которые представляют собой прямую и обратную цепи [5]. Таким образом, можно представить схему эквивалентного баланса (рисунок 1 (3)).

Уравнения прямого и обратного напряжения и тока могут быть представлены следующими уравнениями [5]:

$$V_f = \frac{1}{2} \left( V_m - j \frac{v_a}{a} \right), \quad V_b = \frac{1}{2} \left( V_m - j \frac{v_a}{a} \right), \quad I_f = \frac{1}{2} (I_m - jaI_a), \quad I_b = \frac{1}{2} (I_m - jaI_a) \quad (4)$$

Уравнение (4) является матрицей преобразования. Она преобразовывает переменные несбалансированного режима в сбалансированный (например, устойчивое состояние эквивалентной схемы однофазного асинхронного двигателя к рисунку 1 (3)). Преобразование переменных несбалансированного набора в сбалансированный набор на основании матрицы преобразования получается следующим образом [3].

$$\begin{bmatrix} v_{ds}^e \\ v_{qs}^e \end{bmatrix} = [T_{vs}^e] \begin{bmatrix} v_{ds}^s \\ v_{qs}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{M_{qs}}{M_{ds}} \cos \theta_e & \sin \theta_e \\ -\frac{M_{qs}}{M_{ds}} \sin \theta_e & \cos \theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ds}^s \\ v_{qs}^s \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} i_{ds}^e \\ i_{qs}^e \end{bmatrix} = [T_{is}^e] \begin{bmatrix} i_{ds}^s \\ i_{qs}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{M_{ds}}{M_{qs}} \cos \theta_e & \sin \theta_e \\ -\frac{M_{ds}}{M_{qs}} \sin \theta_e & \cos \theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds}^s \\ i_{qs}^s \end{bmatrix} \quad (6)$$

#### 4. Результаты моделирования и сравнения

Для обеспечения эффективности предлагаемой системы привода, проводилась имитация системы с использованием программного обеспечения MATLAB. Имитированный двигатель был снабжен с помощью трехшагового инвертора источника напряжения (ИИН) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Алгоритм Рунге-Кутта был использован для решения динамические уравнения неисправного трехфазного асинхронного двигателя.

Моделированные трехфазные данные асинхронного двигателя были следующими: напряжение – 125 В;  $f = 50$  Гц; количество полюсов – 4; мощность – 475 Вт;  $r_s =$

20.6 Ом;  $r_r = 19,5$  Ом;  $L_{ls} = L_{lr} 0,0814$  H;  $L_{lr} = 0,851$  H;  $J = 0,0038$  кг / м<sup>2</sup>. Опорная скорость в имитации была установлена на 400 об / мин, и крутящий момент нагрузки варьировались следующим образом: от  $t = 0$  с до  $t = 0,4$  с,  $T_1 = 0$  Нм; от  $t = 0,4$  с до  $t = 3$  с,  $T_1 = 1$  Нм и от  $t = 3$  с до  $t = 7$  с,  $T_1 = 1,5$  Нм.

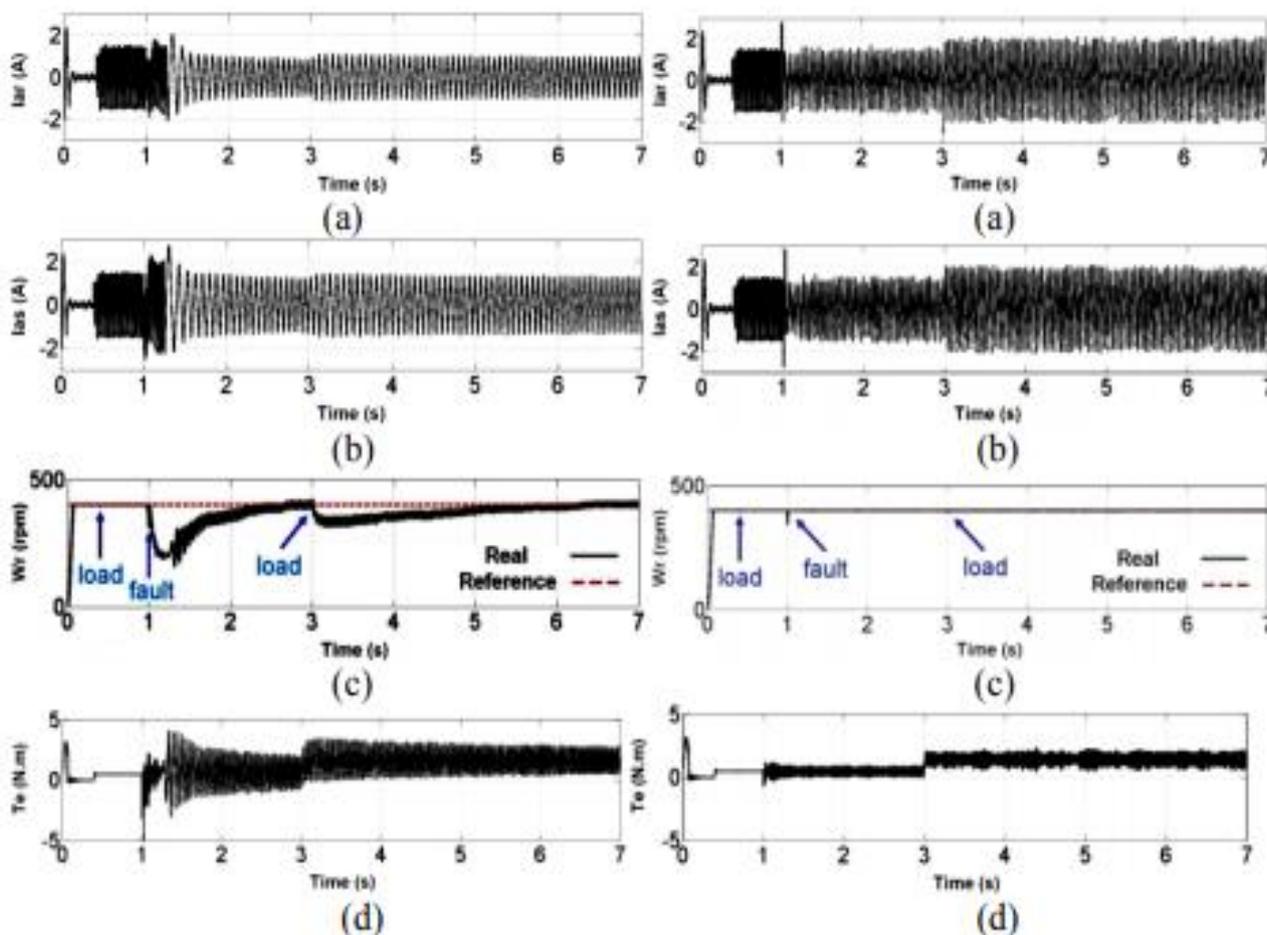


Рисунок 2 - Результаты моделирования обычного(слева) и модифицированного(справа) управления: (a) ток по оси а ротора, (b) ток по оси а статора, (c) скорость, (d) крутящий момент.

На рисунке 2 показано, что обычное векторное управление не может правильно контролировать неисправный асинхронный двигатель. Также на рисунке 2 можно заметить значительные колебания в электромагнитном моменте и в скорости движения. Во время использования обычного котроллера, скорость колебаний в установившемся режиме после приложения нагрузки  $\sim 12$  об / мин при скорости ротора 400 об / мин, тогда как при использовании в модифицированном контроллере скорость колебаний была значительно снижена до  $\sim 0,8$  об / мин).

Результаты показывают, что модифицированное роторно-ориентированное управление значительно уменьшило колебания крутящего момента с улучшением отклика скорости двигателя.

### Заключение

В данной работе предлагается метод векторного управления для неисправного трехфазного асинхронного двигателя. Также можно отметить, что метод основан на роторно-ориентированном управлении несбалансированного двухфазного асинхронного электродвигателя. Техника использует две новые матрицы преобразования, которые

преобразуют уравнения роторно-ориентированного управления несбалансированного двухфазного двигателя в уравнения, которые имеют ту же структуру, что и сбалансированные трехфазные асинхронные двигатели. Этот метод может быть использован не только для векторного контроля неисправных асинхронных двигателей, но также подходит для управления однофазным асинхронным двигателем.

#### **Список использованных источников**

- [1] Jannati, M., Monadi, A., Idris, N.R.N., Aziz, M.J.A. & Faudzi, A.A.M., Vector Control of Faulty Three-Phase Induction Motor with an Adaptive Sliding Mode Control, *Prz Elektrotech*, 89(12), pp. 116-120, 2013.
- [2] Jannati, M. & Fallah, E., Modeling and Vector Control of Unbalanced Induction Motors (Faulty Three Phase or Single Phase Induction Motors), In *Power Electronic & Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC)*, 2010 1st , pp. 208-211, 2010.
- [3] Jannati, M., Idris, N.R.N. & Salam, Z., A New Method for Modeling and Vector Control of Unbalanced Induction Motors, In *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2012 IEEE, pp. 3625-3632, 2012.
- [4] Jannati, M., Idris, N.R.N. & Aziz, M.J.A., A New Method for RFOC of Induction Motor Under Open-Phase Fault, In *Industrial Electronics Society, IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE*, pp. 2530- 2535, 2013.
- [5] Fitzgerald, A.E., Kingsley, C. & Umans S.D., *Electric Machinery*, McGraw-Hill, New York, 2003.
- [6] Vas, P., *Vector Control of AC Machines*, Oxford science publication, Oxford, 1990.