

12. Казанцев Ю.М., Лекарев А.Ф. Формирование управления по балансу необходимой и накопленной в системе энергии // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 5. С. 17 – 20.

13. Aristov A.V., Nagorniy V.O., Gavrilov A.M. Voltage converter with the controlled energy balance for the electric drive with the pulsation motion mode // Control and Communications (SIBCON), 2015 International Siberian Conference on.

АВАРИЙНЫЙ ДВУХФАЗНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Е.С. Больных, Г.И. Однокопылов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

Существуют такие опасные объекты как: военные, ядерные, строительные, химические и многие другие. На таких предприятиях существует проблема, которая заключается в том, что необходимо обеспечить живучесть функционирования технических объектов, важной частью их является вентильный электропривод (ВД). Обеспечение отказоустойчивого управления ВД предполагает его работу в аварийном двухфазном режиме работы.

Представляет интерес рассмотрение алгоритмического восстановления работоспособности трехфазного ВД на основе микроконтроллерной системы управления. Для решения этой задачи необходимо обеспечить выбор и обоснование угла нагрузки в аварийном двухфазном режиме работы.

При разработке математической модели приняты следующие допущения: магнитная цепь двигателя принимается ненасыщенной, потери в стали и механические потери пренебрежимо малы, распределение МДС и индукции синусоидальное, высшие гармоники отсутствуют, воздушный зазор равномерен, механические связи двигателя и нагрузки абсолютно жесткие.

На рис. 1 приведена схема замещения синхронного двигателя при обрыве фазы "В", которой в установившемся режиме соответствуют уравнения в комплексной форме (1) на основе которых была разработана расчетная модель (2) в тригонометрической форме:

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{I}_A \cdot r + j \cdot \dot{I}_A \cdot X_S + j \cdot \dot{I}_A \cdot X_A - j \cdot \dot{I}_C \cdot X_M - \dot{E}_A; \\ \dot{U}_C &= \dot{I}_C \cdot r + j \cdot \dot{I}_C \cdot X_S + j \cdot \dot{I}_C \cdot X_A - j \cdot \dot{I}_A \cdot X_M - \dot{E}_C. \end{aligned} \quad (1)$$

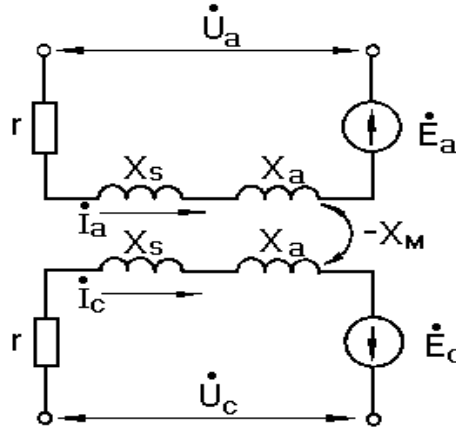


Рис. 1. Схема замещения синхронного двигателя при обрыве фазы "В"

В трехфазном режиме ВД угол нагрузки задается углом θ и электромагнитный момент имеет максимум при максимуме активной мощности для углов $\theta_A = \theta_B = \theta_C = \pi/2$. В двухфазном режиме ВД углы θ_A и θ_C различны, т.к. различны в общем случае вектора фазных напряжений $\dot{U}_A$ и $\dot{U}_C$ по амплитуде, а их фазовые сдвиги φ_A и φ_C относительно векторов тока могут иметь разные знаки. Поэтому построение системы управления ВД в двухфазном режиме с использованием углов θ_A и θ_C в качестве параметров, определяющих максимум момента нецелесообразно, так как это приведет к неоправданному усложнению системы управления электроприводом. Что подтверждает скоростная характеристика ВД в аварийном двухфазном режиме (которая может быть получена, через соотношения, вытекающие из векторной диаграммы, построенной по уравнениям (1)), имеющая вид:

$$n = - \frac{60 \langle U_C \cdot \cos \theta_C - U_A \cdot \cos \theta_A + I \cdot r \cdot [\cos \psi_A - \cos(\pi/6 - \psi_A)] \rangle}{pI \langle (L_A + L_C) \cdot [\cos(\psi_A + \pi/6) + \sin \psi_A] - 2M \cdot \cos(\psi_A - \pi/6) \rangle}.$$

Выбор и оптимизация значения угла нагрузки в аварийном двухфазном режиме могут быть выполнены на основе статической модели расчета суммарных активной и реактивной мощностей ВД:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_A = I_{AM} \sin(\omega t + \pi + \psi_A) r + I_{AM} \sin\left(\omega t + \frac{3\pi}{2} + \psi_A\right) (L_A + L_s) \omega + \\ \quad \text{sign}(\varphi_C) I_{CM} \sin\left(\omega t + \frac{5\pi}{6} + \psi_A\right) \omega L_M + E_{AM} \sin(\omega t + \pi); \\ U_C = I_{CM} \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3} + \psi_A\right) r + I_{CM} \sin\left(\omega t + \frac{11\pi}{6} + \psi_A\right) (L_A + L_s) \omega + \\ \quad \text{sign}(\varphi_A) I_{AM} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2} + \psi_A\right) \omega L_M + \sin\left(\omega t + \frac{5\pi}{3}\right); \\ \quad \text{sign}(\varphi) = 1, \text{ если } \varphi \geq 0; \text{sign}(\varphi) = -1, \text{ если } \varphi < 0 \\ P_\Sigma = \frac{1}{2} (U_{AM} I_{AM} \cos \varphi_A + U_{CM} I_{CM} \cos \varphi_C); \\ Q_\Sigma = \frac{1}{2} (I_{AM} I_{AM} \sin \varphi_A + I_{CM} I_{CM} \sin \varphi_C), \end{array} \right. \quad (2)$$

где I_{AM}, I_{CM} – амплитудные значения векторов фазных токов равной амплитуды (А), E_{AM}, E_{CM} – амплитудные значения векторов фазных ЭДС равной

амплитуды (В), P_{Σ} – суммарная активная мощность (Вт), Q_{Σ} – суммарная реактивная мощность (Вар). В результате расчета получены следующие функциональные зависимости для СД ДСТ-0,18: $P_{\Sigma}(I, \psi)$, $P_{\Sigma}(n, \psi)$, $Q_{\Sigma}(I, \psi)$, $Q_{\Sigma}(n, \psi)$ представленные на рис. 2 а, б.

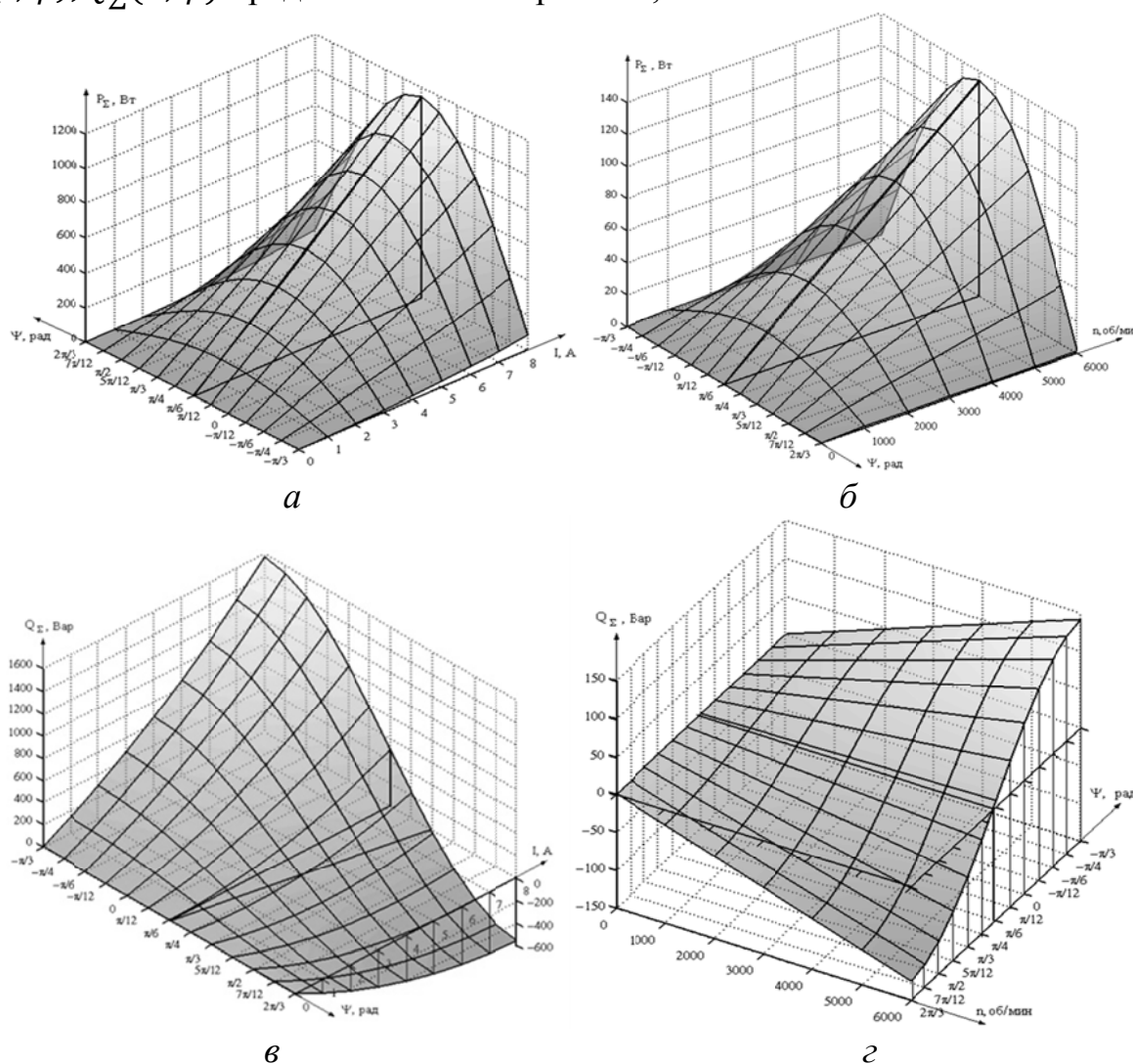


Рис. 2. Зависимости суммарных мощностей ВД в аварийном двухфазном режиме: а – $P_{\Sigma}(I, \psi)$, б – $P_{\Sigma}(n, \psi)$, в – $Q_{\Sigma}(I, \psi)$, г – $Q_{\Sigma}(n, \psi)$

Как видно из рис. 2 а, б угол ψ может быть сопоставлен с углом θ , определяющим максимум момента в трехфазном режиме, по форме зависимости и диапазону изменения угла π радиан.

Для определения допустимых значений величины и знака погрешности задания угла ψ можно рассмотреть зависимость суммарной реактивной мощности от частоты вращения, тока и угла ψ на рис. 2 в, г. Зависимость $Q_{\Sigma}(I, \psi)$ построена при условии $n=n_{\max}=6000(\text{об/мин})$. Зависимость $Q_{\Sigma}(n, \psi)$ построена при: $I=1\text{А}$. Для значений угла ψ в диапазоне $\pi/6 \dots \pi/3$ радиан функция пересекает нулевую плоскость. Спад активной мощности для зависимостей $P_{\Sigma}(n, \psi)$, (I, ψ) при изменении значения угла ψ_A в диапазоне $\psi_A = \pi/6 \dots \pi/4$ радиан не превышает 5%. В силу этого в аварийном двухфазном

режиме максимум активной при минимуме реактивной мощности ВД может быть определен в функции угла ψ_A в диапазоне значений угла $\psi_A = \pi/6 \dots \pi/4$. Зона предпочтительных рабочих параметров лежит в диапазоне $\psi_A \pm \delta\psi_A$, где $\delta\psi_A$ – погрешность задания угла ψ_A . С целью минимизации реактивной мощности необходимо выполнение условия: $\delta\psi_A < 0,1 \psi_A$ и погрешность задания должна формироваться со знаком плюс. На рис. 3 приведены временные диаграммы переходных процессов в аварийном двухфазном режиме трехфазного ВД выполненного по схеме с развязанными фазами [2, 3] и полученные на основе экспериментальной испытательной установки [4] с алгоритмами восстановления работоспособности вентильного двигателя [5, 6].

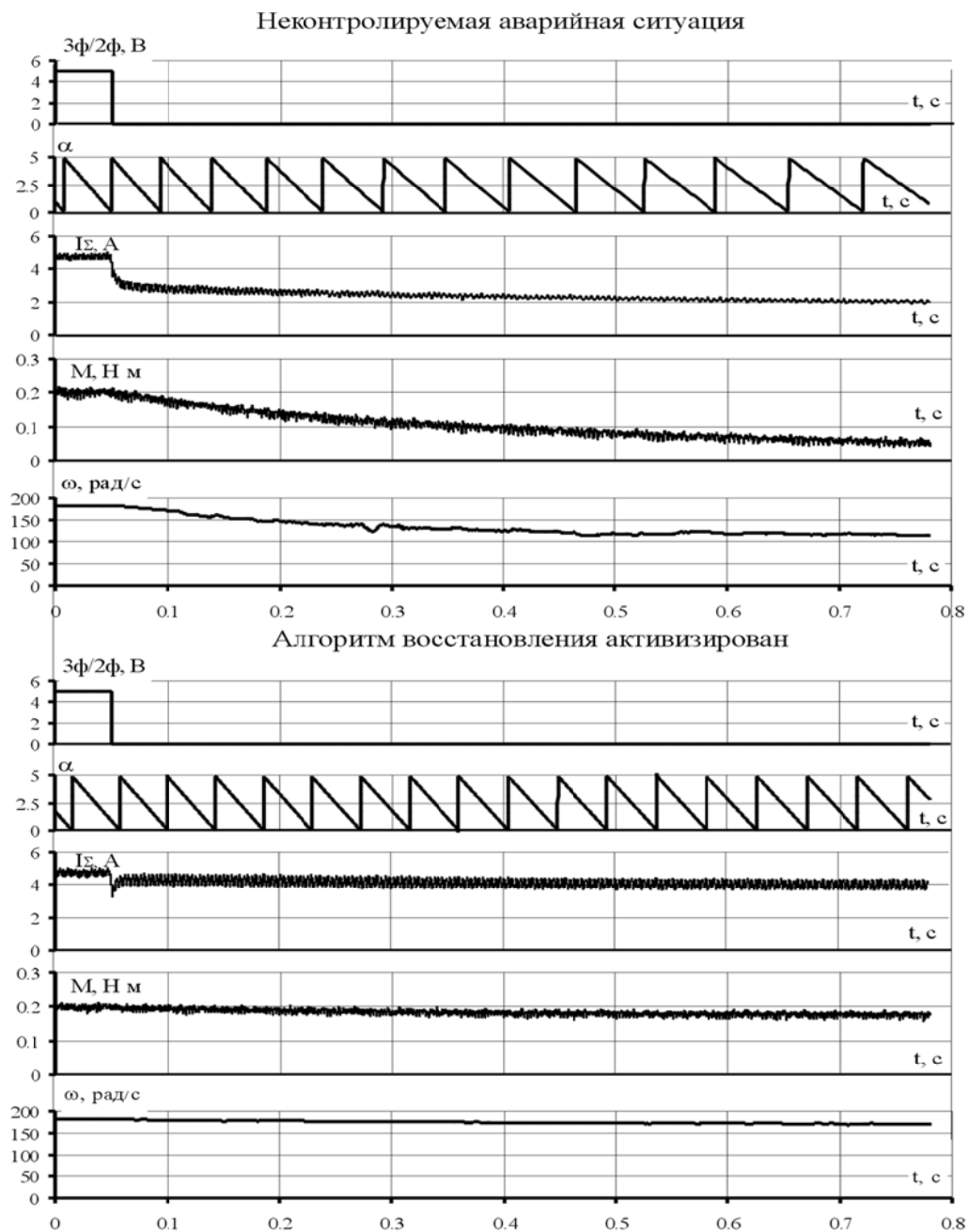


Рис. 3. Временные диаграммы переходных процессов в аварийном двухфазном режиме трехфазного ВД

На рис. 3 видно, что при неконтролируемой аварийной ситуации момент двигателя с номинальной нагрузкой стремится к нулю и двигатель останавливается, при активизации алгоритма восстановления, включающего угол нагрузки $\psi_A = \pi/6$, двигатель имеет кратковременный провал электромагнитного момента, что видно по диаграмме суммарного потребляемого тока I_Σ , двигатель продолжает работу с обеспечением свойства живучести при обрыве фазы.

Выводы

1. В двухфазном режиме работы трехфазного ВД использование углов между обратными векторами ЭДС и векторами напряжений фаз в качестве параметров, определяющих максимум момента, приводит к усложнению системы управления ввиду их различия и зависимости от режима работы.

2. Получено на математической модели и экспериментально установлено, что использование угла между обратными векторами Э.Д.С. и вектором тока фазы одной из двух фаз в двухфазном режиме ВД позволяет получить максимум активной мощности, максимум момента для значений углов $\psi = \pi/6$, при этом активные мощности фаз равны, а максимум активной мощности не зависит от рабочей частоты и величины фазного тока.

3. Суммарная реактивная мощность в двухфазном режиме трехфазного ВД может принимать как положительные, так и отрицательные значения в функциях рабочей частоты, тока. При $\psi = \pi/6$ суммарная реактивная мощность ВД минимальна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников И.Е. Теория вентильных электрических двигателей. – Л.: Наука, 1985. – 164 с.

2. Патент на ПМ №59905 (RU), H02K 29/06, H02P 6/00. Вентильный электропривод со свойством живучести/ Г.И. Однокопылов, К.В.Образцов. – №2006128881; Заявл.08.08.2006; Оpubл.27.12.2006 г. Бюл.№36.

3. Патент РФ на изобретение № 2447561(RU), H02P 7/09. Вентильный электропривод с обеспечением свойства живучести/ Г.И. Однокопылов, Ю.Н.Дементьев, И.Г. Однокопылов, К.В.Образцов – №2011112102; Заявл. 30.03.2011; Оpubл.10.04.2012 Бюл. № 10.

4. Патент РФ на ПМ № 136184(RU), G01R 31/02. Установка для исследований аварийных режимов работы вентильного двигателя/ Г.И. Однокопылов, И.А.Розаев, А.Д.Брагин. -№2013138092; Заявл.14.08.2013; Оpubл.27.12.2013 Бюл. № 36.

5. Патент на изобретение №2311721 (RU), H02P 6/12, H02P 6/16, H02K 29/06. Способ обеспечения живучести трёхфазного вентильного двигателя /Г.И. Однокопылов, К.В. Образцов, – № 2006128538; заявл. 04.08.2006 г.; опубл. 27.11.2007г. Бюл. №33.

6. Патент РФ на изобретение № 2435291, H02P 6/12, H02P 6/16. Способ обеспечения живучести трёхфазного вентильного двигателя на основе

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ В НЕПОЛНОФАЗНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Л.Я. Насибова, И.А. Розаев, Г.И. Однокопылов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

Современные тенденции развития полупроводниковой техники дали толчок в развитии давно известных систем электроприводов в новых сферах применения. Одним из таких электроприводов является вентильно-индукторный электропривод. На сегодняшний день он становится все более популярен благодаря простоте, высоким энергетическим показателям и большому диапазону регулирования. Такой электропривод благодаря особенностям конструкции и простоте реализации управления может найти применение во многих сферах промышленности, таких как военная, медицинская, космическая и другие, где предъявляются высокие требования по отказоустойчивости рабочего механизма.

Целью настоящей статьи является исследование вентильно-индукторного электропривода и формирование математической модели вентильно-индукторного электродвигателя для исследования его в неполнофазном режиме работы. В основу математической модели вентильно-индукторного двигателя положены уравнения электрических контуров, составленные для каждой из фаз. Приняты допущения, что магнитные системы каждой фазы идентичны друг другу, гистерезис и вихревые токи в магнитопроводе не учитываются, а активные сопротивления фаз равны [1, 2].

На рис. 1 приведена схема замещения фазы.

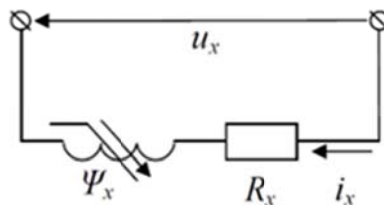


Рис. 1. Схема замещения фазы ВИД:

U_x – напряжение; i_x – ток; R_x – омическое сопротивление; Ψ_x – потокосцепление.

В этом случае каждая фаза ВИД описывается уравнением электромагнитного равновесия, согласно второму закону Кирхгофа. Уравнение электрического равновесия двигателя: