

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ ТРЕХФАЗНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Е.С. Больных¹, Г.И. Однокопылов²
^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, ¹группа 5Г2А

Есть множество опасных объектов такие 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 (4) в тригонометрической форме:

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

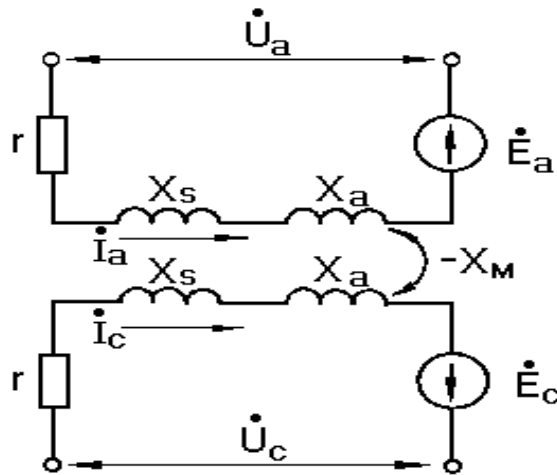


Рис. 1. Схема замещения синхронного двигателя при обрыве фазы "В"

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:

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

С учетом $\theta_A = \psi_A + \varphi_A$, $\theta_C = \psi_A + \varphi_C - \frac{\pi}{3}$, выражение (2) для произвольного ψ_A принимает вид

$$n = - \frac{60 \langle U_C \cdot \cos(\psi_A + \varphi_C - \pi/3) - U_A \cdot \cos(\psi_A + \varphi_A) + I \cdot r \cdot [\cos \psi_A - \cos(\pi/3 - \psi_A)] \rangle}{pI \langle (L_A + L_C) \cdot [\cos(\psi_A + \pi/3) + \sin \psi_A] - 2M \cdot \cos(\psi_A - \pi/3) \rangle} ;$$

выражение (2) для $\psi_A = \pi/6$:

$$n = - \frac{60 [U_C \cdot \cos(\varphi_C - \pi/6) - U_A \cdot \cos(\varphi_A + \pi/6)]}{pI(L_A + L_C - 2M)} , \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \varphi_A &= \arctg \frac{1/2 \cdot E_0 - I\omega(L_A + L_C - 1/2 \cdot M)}{\sqrt{3}/2 \cdot E_0 + I(r + \sqrt{3}/2 \cdot \omega M)} ; \\ \text{где} \\ \varphi_C &= \arctg \frac{1/2 \cdot E_0 + I\omega(L_A + L_C - 1/2 \cdot M)}{\sqrt{3}/2 \cdot E_0 + I(r - \sqrt{3}/2 \cdot \omega M)} . \end{aligned}$$

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

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

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 (Вт), Q_Σ – суммарная реактивная (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.

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 $n = n_{max} = 6000$ (об/мин). Зависимость $Q_\Sigma(n, \psi)$ построена при: $I = 1$ А. Для значений угла ψ в диапазоне $\pi/6 \dots \pi/3$ радиан функция пересекает нулевую плоскость. Спад активной мощности для зависимостей $P_\Sigma(n, \psi)$, $P_\Sigma(I, \psi)$ 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 опреде-

лен 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.

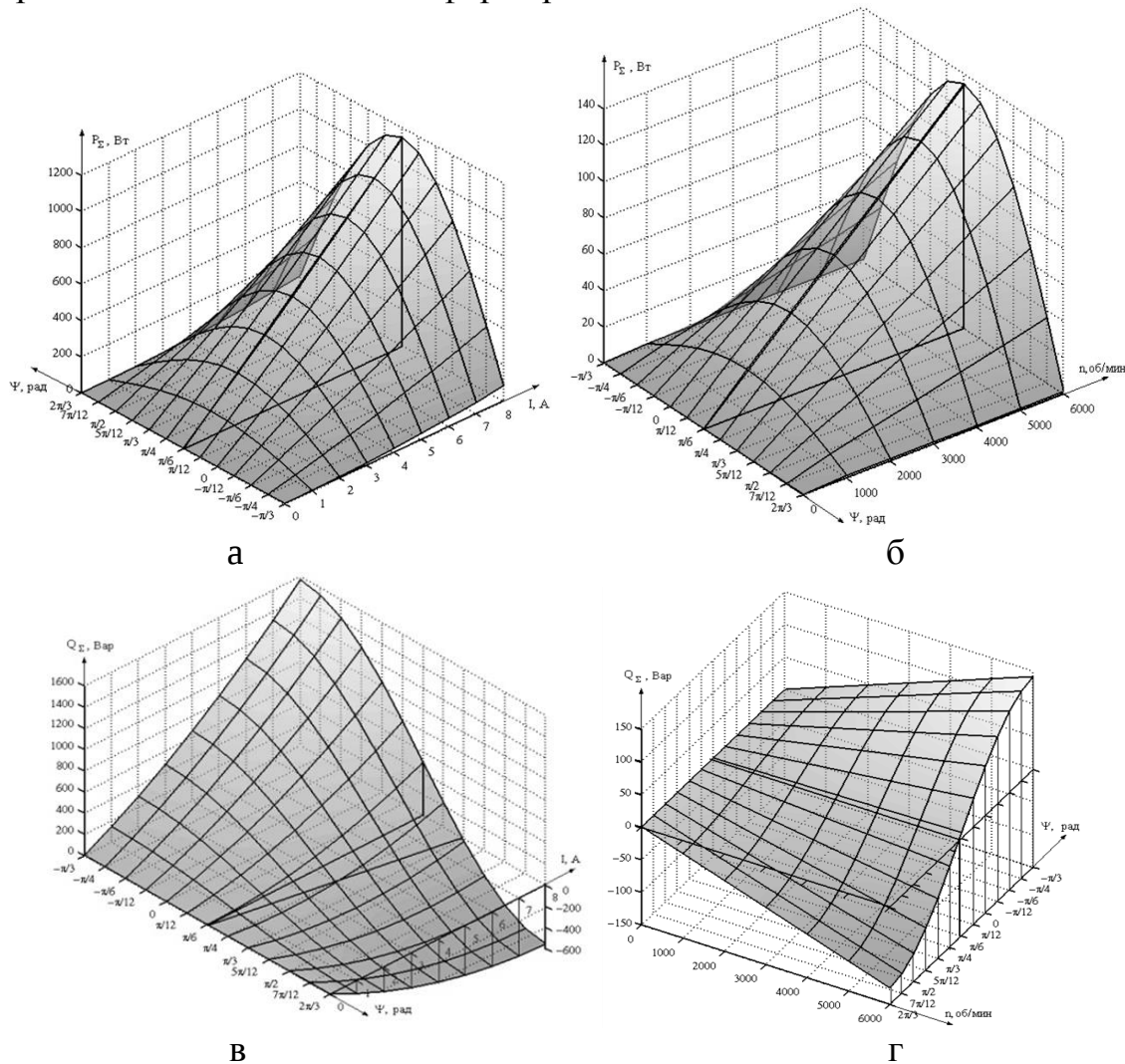


Рис. 2. Зависимости суммарной активной и реактивной мощности ВД в аварийном двухфазном режиме: а - $P_{\Sigma}(I, \psi)$, б - $P_{\Sigma}(n, \psi)$, в - $Q_{\Sigma}(I, \psi)$, г - $Q_{\Sigma}(n, \psi)$

На рис. 3 приведены временные диаграммы переходных процессов в аварийном двухфазном режиме трехфазного ВД выполненного по схеме с развязанными фазами [1, 2] и полученные на основе экспериментальной испытательной установки [3] с алгоритмами восстановления работоспособности вентильного двигателя [4, 5].

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.

Неконтролируемая аварийная ситуация

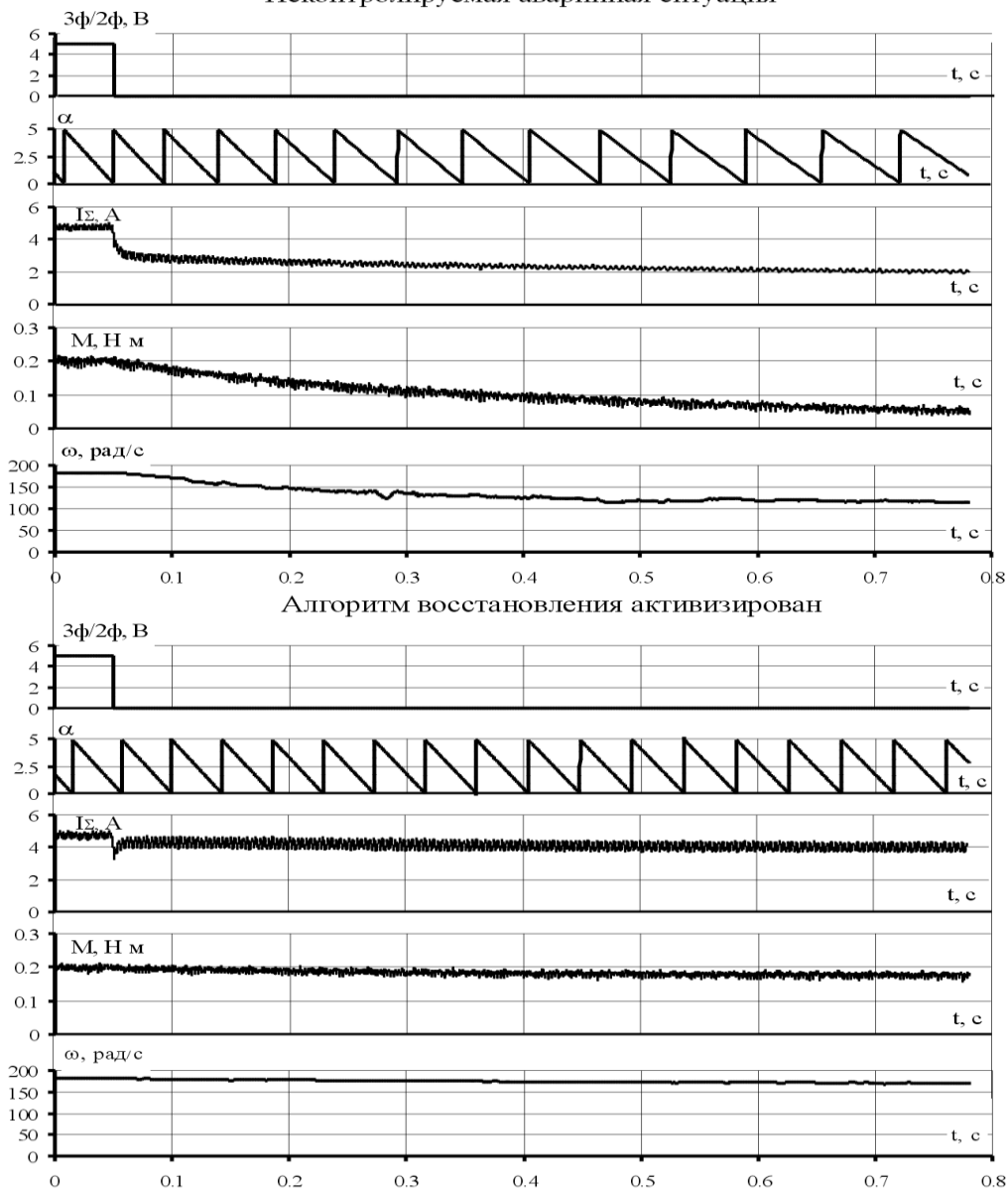


Рис. 3. Временные диаграммы переходных процессов в аварийном двухфазном режиме трехфазного ВД

Выводы по работе:

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.

ЛИТЕРАТУРА:

1. 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.
2. 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.
3. 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.

Научные руководители: Г.И. Однокопылов, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ; к.т.н., А.С. Воронина старший преподаватель каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНВЕРТОРНЫХ СВАРОЧНЫХ АППАРАТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ

С.А. Коваль

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5Г2Б

На современных предприятиях ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ ТОМСК» необходимо обеспечить надежные и качественные швы при