УДК 621.316.7

К.В. ИВАНОВ студент гр. 5А1Н (НИ ТПУ),
И.В. УСАЧЕВ студент гр. 5А1Н (НИ ТПУ)
Научный руководитель: И.Г. ОДНОКОПЫЛОВ, к.т.н., доцент (НИ ТПУ),
Г.И. ОДНОКОПЫЛОВ к.т.н., доцент (НИ ТПУ)
г. Томск

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ЖИВУЧЕСТИ N-СЕКЦИОННОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Для электроприводов в составе опасных производственных объектов: ядерные, военные, химические, строительные, металлургические, транспортные, в том числе трубопроводный транспорт, целесообразно применение отказоустойчивого управления с обеспечением свойства «живучести». Аварийный выход из строя таких электроприводов может привести к нарушению безопасной эксплуатации оборудования с риском для персонала с большими экономическими потерями.

Важность решения этой проблемы отмечена в постановлении Правительства РФ № 241 «О мерах по обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов на территории Российской Федерации» от 28.03.2001 г.

По ГОСТ 27.002–89 свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов – определяется термином «живучесть».

Известны технических решения для многосекционных трехфазных электроприводов [1], где в случае отказа в одной из секций происходит ее отключение, в случае технического решения [2] возможно восстановление работоспособности для одного отказа в одной секции асинхронного электропривода с обеспечением свойства живучести.

В работе рассмотрено обеспечение управления с повышенной живучестью *n*-секционного трехфазного асинхронного электропривода в случае одиночных или множественных отказов.

В предложенном асинхронном электроприводе с повышенной живучестью используется микроконтроллер, который позволяет выявить отказ в одном из *n*-преобразователей частоты, либо выявить отказ одного из фаз *n*-секционного двигателя. В результате по программе микроконтроллера происходит адаптация структуры электропривода из рабочего трехфазного в аварийный двухфазный режим работы. При этом вектор одного из токов в отказавшей секции смещается на угол $\pi/3$ с сохранением одинаковой амплитуды токов в фазах [3] и в результате обеспечивается сохранение кругового вращающегося поля в магнитном зазоре той секции электрического

двигателя, где произошел отказ, при этом оставшиеся *n*-1 секции электропривода продолжают работать в трехфазном режиме.

При последующих отказах в этой же секции она выбывает из работы, и электропривод функционирует с пониженной активной мощностью, но с обеспечением свойства живучести. В процессе плавного исчерпания рабочего ресурса электропривода – структурного (за счет формирования избыточности в виде *n*-секций вместо одной) и функционального (за счет обеспечения работоспособности каждой из *n*-секций двигателя на двух оставшихся фазах трехфазного двигателя в аварийном режиме) резервов минимальном составе электропривода обеспечивается работа на двух оставшихся фазах одной работоспособной секции при отказавших *n*-1 секциях включительно, что позволяет обеспечить работоспособность как при одиночных, так и при множественных отказах электропривода с обеспечением свойства повышенной живучести.

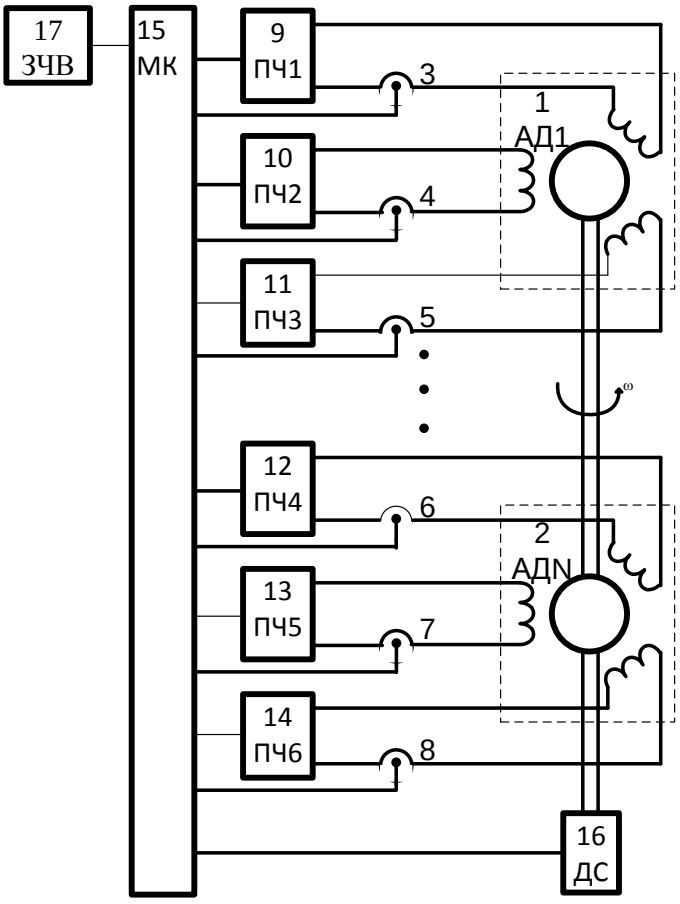

Рис.1. Функциональная схема отказоустойчивого асинхронного электропривода на основе *n*- секционного трехфазного асинхронного двигателя

Отказоустойчивый асинхронный электропривод с повышенной живучестью содержит *n*-асинхронных двигателей 1 (АД 1),…,2(АДN), каждая фаза которых через соответствующие датчики тока 3 (ДТ1), 4(ДТ2), 5

(ДТ3), …, 6 (ДТ4), 7 (ДТ5), 8 (ДТ6) подключена к соответствующему трехфазному преобразователю частоты 9 (ПЧ1), 10 (ПЧ2), 11 (ПЧ3), …, 12 (ПЧ4), 13 (ПЧ5), 14 (ПЧ6). Все преобразователи частоты 9 (ПЧ1), 10 (ПЧ2), 11 (ПЧ3), …, 12 (ПЧ4), 13 (ПЧ5), 14 (ПЧ6) и датчики тока 3 (ДТ1), 4 (ДТ2), 5 (ДТ3), …,6 (ДТ4), 7 (ДТ5), 8 (ДТ6) подключены к микроконтроллеру 15 (МК). На общем валу асинхронных двигателей 1 (АД1),…, 2 (АДN) установлен датчик скорости 16 (ДС), выход которого подключен к микроконтроллеру 15 (МК). Задатчик частоты вращения вала двигателя 17 (ЗЧВ) подключен к микроконтроллеру 15 (МК).

В случае возникновения аварийной ситуации в одной из фаз асинхронного двигателя 1 (АД), или …, или 2 (АД), или в преобразователях частоты 9 (ПЧ1), 10 (ПЧ2), 11 (ПЧ3),…,12 (ПЧ4), 13 (ПЧ5), 14 (ПЧ6) выявляется отказ на основе анализа сигнала текущей ошибки регуляторов тока в микроконтроллере 15(МК). В результате, происходит восстановление работоспособности за счет активизации алгоритма восстановления в микроконтроллере 15(МК) при переключении из рабочего трехфазного в аварийный двухфазный режим работы.

При этом один из двух оставшихся векторов тока смещается на угол $\pi/3$ с сохранением одинаковой амплитуды тока в фазах и в результате, обеспечивается сохранение кругового вращающегося поля в магнитном зазоре асинхронных двигателей 1 (АД), …, 2 (АД), где произошел отказ [2,3]. Для этого в секции электродвигателя, где произошел отказ, корректируют мгновенные значения фазных токов асинхронного двигателя для опережающей фазы вектора тока по выражениям:

$$I_A = I_\omega \cdot \bar{a} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot b);$$
$$I_B = I_\omega \cdot \bar{b} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot c + 2\pi/3);$$
$$I_C = I_\omega \cdot \bar{c} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot a + 4\pi/3);$$

а для отстающей фазы вектора тока:

$$I_A = I_\omega \cdot \bar{a} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot c);$$
$$I_B = I_\omega \cdot \bar{b} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot a + 2\pi/3);$$
$$I_C = I_\omega \cdot \bar{c} \cdot \sin((2^\sigma - 1 - \alpha) \cdot \bar{d} + \alpha \cdot d \pm \pi \cdot b + 4\pi/3),$$

где I_ω – значение амплитуды формируемых фазных токов, А; σ – число двоичных разрядов выходного кода цифрового сигнала, полученного в результате интегрирования сигнала с датчика скорости16 (ДС); d – значение бита, вычисляемого по логическому выражению: $d = a \cup b \cup c$; $\cup$ – логическая операция ИЛИ), если d = 1 – есть отказ в одной из фаз; $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d}$ – инверсные значения битов *a, b, c, d*; α – значение текущего двоичного ко-

да цифрового сигнала, полученного в результате интегрирования сигнала с датчика скорости 16 (ДС).

Предложенное техническое решение в отличие от известных технических решений позволяет обеспечить повышенную живучесть за счет применения *n*-секционного трехфазного асинхронного электропривода и продолжить работу при одиночных и множественных отказах в одной или нескольких фазах электропривода с постепенным исчерпанием рабочего ресурса электропривода вплоть до работы на двух работоспособных фаз одной секции с сохранением кругового вращающегося поля.

Список литературы:

1. Глухов, Д.М. Моделирование многофазных асинхронных двигателей в аварийных режимах: автореферат дисс. … канд. техн. наук / Д.М. Глухов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 18 с.

2. Патент РФ на изобретение № 2460190(RU), H02H 7/09, HO2H 7/12, H02H 7/122. Способ управления и обеспечения живучести трехфазного асинхронного двигателя вращательного или поступательного движения/ Г.И. Однокопылов, И.Г. Однокопылов, Ю.Н. Дементьев, Й. Центнер - № 2011113290; Заявл. 06.04.2011; Опубл.27.08.2012 Бюл. № 24.

3. Юферов, Ф.М. Электрические машины автоматических устройств / Ф.М. Юферов. –М.: Высш. шк., 1988. – 479 с.