

новной модуль который будет базироваться на основе частотного преобразователя, и его компонентами будут служить самые разнообразные модули, начиная с того что возможно создать совершенно разные модули защиты, модули индикации, так же модули обратной связи, модули связи нескольких частотных преобразователей между собой создавая таким образом систему в которой «Ведущим» элементом будет персональный компьютер оператора а «Ведомым» все соединенные между собой и компьютером частотные преобразователи, это позволит видеть в реальном времени ситуацию в реакторах а так же управлять всей системой и каждым частотным преобразователем в частности. Такая система будет подключать модули по шинной технологии тем самым упростит работу по монтажу и наладке системы. Где каждый модуль будет содержать в себе простейший контроллер (в зависимости от нужд данного модуля). Важной частью данного проекта будет служить программное обеспечение этой системы оно будет представлять из себя так же блочно-модульную систему, в которой по умолчанию будут включены коды для работы со всеми известными модулями, но эти блоки кода будут пропускаться процессором при пустой шине модуля, то есть при отсутствии подключения этого модуля. Это даст системе большую гибкость и удобство в подключении. Самым сложным и важным звеном будет модуль связи с ПК, так как он при подключении будет являться ведущим для всех подключенных к нему преобразователей частоты, и позволит обеспечить двунаправленную шинную связь как к преобразователю частоты так и к ПК.

Научный руководитель: А.А. Варенов, к.т.н., професоор КГЭУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В НЕПОЛНОФАЗНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Е.П. Сенькив¹, А.Д. Брагин²

^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, ¹группа 5Г2А

Асинхронные машины сегодня составляют большую часть электрических машин. В основном они применяются в качестве электродвигателей и являются основными преобразователями электрической энергии в механическую. Запуск возможен только в случае соединения обмоток «звездой» с подключением нулевого провода. Если нагрузка не позволит двигателю запуститься и развить номинальные

обороты, то из-за увеличения тока в обмотках и уменьшения охлаждения он выйдет из строя через несколько минут.

Исследование аварийных состояний асинхронного двигателя в составе исполнительных электроприводов опасных производственных объектов предполагает рассмотрение работы двигателя в неполнофазных режимах работы. Обеспечение отказоустойчивого управления со свойством живучести асинхронного электропривода предполагает разработку алгоритмов восстановления работоспособности с полным или частичным восстановлением работоспособности с круговым вращающимся полем.

При разборе двухфазного режима работы трехфазного асинхронного двигателя выделяются два различных режима:

- работа в аварийном режиме с эллиптическим полем в нерегулируемом электроприводе;
- работа в аварийном режиме с алгоритмическим формированием кругового вращающегося поля в частотно-регулируемом электроприводе [1].

При рассмотрении аварийного двухфазного режима работы двигателя с эллиптическим полем в воздушном зазоре его можно разделить на поля прямой и обратной последовательности, используя метод симметричных составляющих. Обобщенная модель электрической машины учитывает лишь поле прямой последовательности. Имеется два варианта представления модели асинхронного двигателя, работающего с эллиптическим полем - модель обобщенной электрической машины с двумя статорами и двумя роторами, модель обобщенной электрической машины с двумя статорами и одним ротором [2]. Первая модель в отличие от второй модели проста в описании, но не дает точные результаты моделирования переходных процессов.

В связи с вышеперечисленными особенностями математического описания обобщенной электрической машины с эллиптическим полем для формирования математической модели выбрана модель с двумя статорами и двумя роторами.

При исследовании несимметричных машин с учетом пространственных гармоник или при наличии несинусоидальных питающих напряжений приводить машину к двухфазной неравномерно, так как поля в зазоре двухфазной и многофазной машин в этих условиях отличаются друг от друга [2]. Так как асинхронный двигатель при обрыве одной из фаз питающей сети является несимметричным – в качестве математической модели может быть принята обобщенная электрическая машина в трехфазной системе координат.

При составлении уравнений и рассмотрении переходных процессов асинхронных машин использованы общепринятые допущения и ограничения, связанные с понятием «идеализированная машина»: машина не насыщена, потерями в стали пренебрегаем; фазные обмотки симметричны и сдвинуты на угол 120 электрических градусов; намагничивающие силы обмоток и магнитные поля распределены синусоидально, вдоль окружности воздушного зазора; воздушный зазор равномерен; ротор симметричен. Реальная распределенная обмотка заменяется сосредоточенной, оси фаз которой сдвинуты на фазный угол, а намагничивающая сила ее равна намагничивающей силе реальной обмотки.

В качестве основы были взяты уравнения модели асинхронного двигателя в заторможенной системе координат [3]. Для упрощения расчетов уравнения для полей прямой и обратной последовательности представлены отдельными системами.

При определении напряжений, подаваемых на обмотки машин, отвечающих за поля прямой и обратной последовательности, учитывалось, что при постоянном питающем напряжении $U_1=U_A=U_B=U_C=\text{const}$ напряжения прямой и обратной последовательности зависят от скольжения [2].

Приведем представленные выше уравнения к нормальной форме Коши. Для случая развязанных фаз, уравнения полей прямой последовательности:

$$\begin{aligned}\frac{d\Psi_{1A}}{dt} &= U_{1A} - R_s \cdot i_{1A}; \\ \frac{d\Psi_{1B}}{dt} &= U_{1B} - R_s \cdot i_{1B}; \\ \frac{d\Psi_{1C}}{dt} &= U_{1C} - R_s \cdot i_{1C}; \\ \frac{d\Psi_{1a}}{dt} &= -R_s \cdot i_{1a} - \frac{(\Psi_{1b} - \Psi_{1c}) \cdot p \cdot \omega}{\sqrt{3}}; \\ \frac{d\Psi_{1b}}{dt} &= -R_s \cdot i_{1b} - \frac{(\Psi_{1c} - \Psi_{1a}) \cdot p \cdot \omega}{\sqrt{3}}; \\ \frac{d\Psi_{1c}}{dt} &= -R_s \cdot i_{1c} - \frac{(\Psi_{1a} - \Psi_{1b}) \cdot p \cdot \omega}{\sqrt{3}};\end{aligned}$$

Для случая связанных фаз:

$$\begin{aligned}\frac{d\Psi_{1AB}}{dt} &= U_{1AB} - R_s \cdot i_{1AB}; \\ \frac{d\Psi_{1BC}}{dt} &= U_{1BC} - R_s \cdot i_{1BC};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{d\Psi_{1CA}}{dt} &= U_{1CA} - R_s \cdot i_{1CA}; \\ \frac{d\Psi_{1ab}}{dt} &= -R_s \cdot i_{1ab} - \frac{(\Psi_{1bc} - \Psi_{1ca}) \cdot p \cdot \omega}{\sqrt{3}}; \\ \frac{d\Psi_{1bc}}{dt} &= -R_s \cdot i_{1bc} - \frac{(\Psi_{1ca} - \Psi_{1ab}) \cdot p \cdot \omega}{\sqrt{3}}; \\ \frac{d\Psi_{1ca}}{dt} &= -R_s \cdot i_{1ca} - \frac{(\Psi_{1ab} - \Psi_{1bc}) \cdot p \cdot \omega}{\sqrt{3}};\end{aligned}$$

Выражения для полей обратной последовательности будут иметь аналогичный вид.

Электромагнитные моменты M_1 и M_2 , создаваемые полями прямой и обратной последовательности, определяются по следующим выражениям:

$$M_1 = p \frac{\sqrt{3}}{2} L_m [(i_{A1} i_{c1} + i_{B1} i_{a1} + i_{C1} i_{b1}) - (i_{A1} i_{b1} + i_{B1} i_{c1} + i_{C1} i_{a1})];$$

$$M_2 = p \frac{\sqrt{3}}{2} L_m [(i_{A2} i_{c2} + i_{B2} i_{a2} + i_{C2} i_{b2}) - (i_{A2} i_{b2} + i_{B2} i_{c2} + i_{C2} i_{a2})]$$

Уравнение движения электропривода, учитывающее моменты прямой и обратной последовательности:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (M_1 - M_2 - M_c);$$

Расчет модели проводился в среде Matlab Simulink. Адекватность предложенной математической модели была проверена путем сравнения расчетных и экспериментальных данных полученных при помощи автоматизированного испытательного стенда рис. 1. Результаты сравнения переходных процессов, рассчитанных на модели и полученных экспериментально, приведены на рис. 2-3.

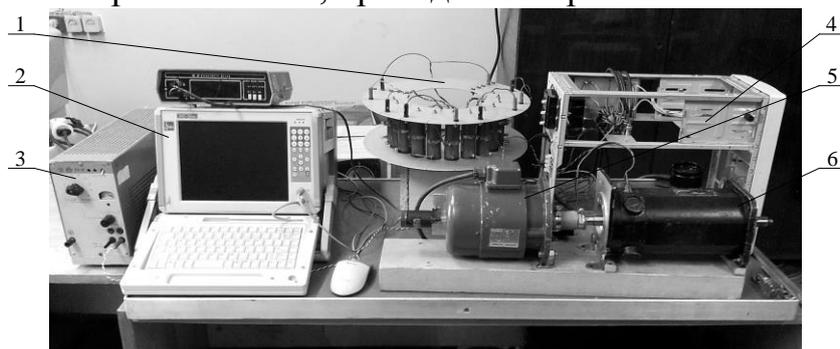


Рис. 1. Автоматизированный испытательный стенд для исследования аварийных и неполнофазных режимов работы асинхронного двигателя: 1- резистивная нагрузка; 2- компьютерная измерительная система МИС-300; 3- источник питания; 4- блок формирования аварийных ре-

жимов работы; 5- асинхронный двигатель АИР63А2; 6- машина постоянного тока серии 1ПИ 12.11

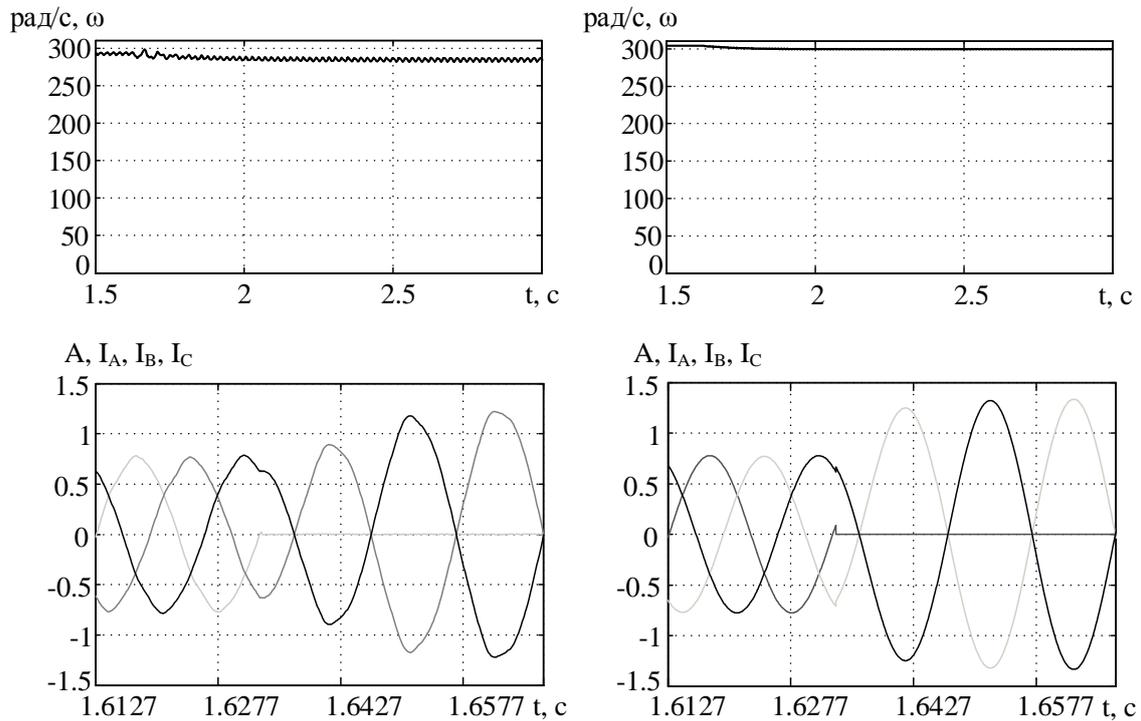


Рис. 2. переходные процессы в аварийном двухфазном режиме работы для связанных фаз

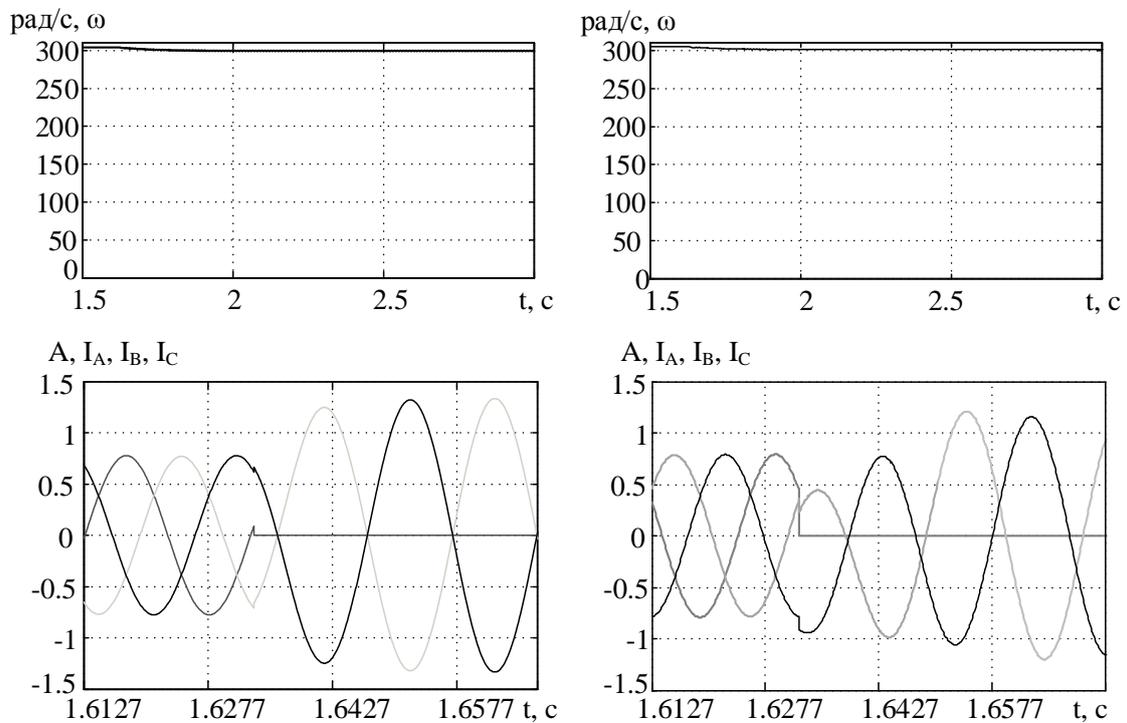


Рис. 3. переходные процессы в аварийном двухфазном режиме работы для развязанных фаз

Данная математическая модель позволяет исследовать асинхронный электродвигатель в аварийном двухфазном режиме работы с учетом поля обратной последовательности, а также в двухфазном режиме работы с алгоритмическим поддержанием кругового вращающегося поля, когда поле обратной последовательности в воздушном зазоре отсутствует.

Выводы

1. Разработана математическая модель асинхронного двигателя для исследования неполно-фазного, аварийного режима работы с учетом воздействия полей прямой и обратной последовательности для схем подключения двигателя со связанными и развязанными фазами.
2. Амплитуда тока статора двигателя в эксперименте для подключения по схеме со связанными фазами при переходе из рабочего трехфазного в аварийный двухфазный режим больше в 1.1 раза по сравнению со случаем подключения по схеме с развязанными фазами. Падение частоты вращения относительно трехфазного режима составило 1,5% для двигателя с подключением по схеме со связанными фазами и 0.8% для двигателя с подключением по схеме с развязанными фазами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Однокопылов Г.И., Однокопылов И.Г. Обеспечение живучести электродвигателей переменного тока: Монография. –Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 187 с.
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2001. – 327 с.
3. Иванов–Смоленский А.В. Электрические машины. В 2-х т. Том 1: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 652 с.

Научные руководители: Г.И. Однокопылов, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ; Д.В. Толпаров ассистент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.