

УДК 681.5

# ТОКОВЫЕ АВАРИИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

**Л. М. МАРКАРЯНЦ,**

доктор технических наук,  
профессор, академик МАНЭБ,

**В. А. БЕЗИК,**

кандидат технических наук,  
доцент

ФГБОУ ВО «Брянский

государственный аграрный  
университет»

Т. 8-920-604-49-34,

E-mail: bezikwa@mail.ru

*Рассмотрены виды токовых аварийных режимов электропривода, характер изменений в работе двигателя и изменение токов, а также вызывающие их причины.*

**Ключевые слова:** асинхронный электропривод; токовые аварии; изоляция; защита электродвигателя; фаза.

**А**варии в асинхронном электроприводе наиболее сильно влияют на надежность и качество работы всей системы электрооборудования.

**Токковые аварии асинхронного электродвигателя (АД).** Напряжение на зажимах АД и фазные токи, протекающие по его обмоткам, тесно взаимосвязаны и любые, даже небольшие изменения сетевого напряжения, вызывают значительные изменения фазных токов.

Для эффективной защиты АД необходимо измерять фазные токи как можно точнее. Согласно последним исследованиям, длительная работа двигателя с токовым перегрузом всего лишь на 5 % от номинального сокра-

щает срок его службы в 10 раз. В связи с сильной несинусоидальностью кривой тока, особенно во время пусков, в ней присутствует большое количество гармоник высшего порядка, существенно влияющих на действующее значение тока. Поэтому, если принимать решение о работе АД не по вычисленным действующим значениям тока, а по неким усредненным сигналам или, еще хуже, по пиковым значениям, это может привести к ложным выводам о наличии или отсутствии токового перегруза.

Различают два вида токового перегруза АД: симметричный и несимметричный. Симметричный токовый перегруз, как правило, связан с механическими перегрузками на валу двигателя. Их значение напрямую связано с режимами работы АД и тепловым перегрузом, о которых речь пойдет ниже.

Большая часть токовых аварий АД связана, в первую очередь, с повреждениями внутри самого двигателя,

приводящими к несимметричному токовому перегрузу. Рассмотрим основные виды таких аварий (см. таблицу).

Во всех случаях внутренних аварий электродвигателя наблюдается значительная асимметрия фазных токов, в несколько раз превышающая асимметрию напряжений. Поэтому постоянный контроль токов, соотношение токового перекаса с перекасом напряжений позволяют принимать достаточно достоверные выводы о наличии таких аварий и оперативно отключать двигатель.

В зависимости от характера изменения нагрузки различают четыре основных номинальных режима работы АД: длительный, кратковременный, повторно-кратковременный и смешанный. Не будем подробно останавливаться на описании этих режимов, заметим только, что основная характеристика нагрузочных режимов – тепловая характеристика электродвигателя. Работа АД всегда сопровожда-

**Влияние внутренних повреждений на работу АД**

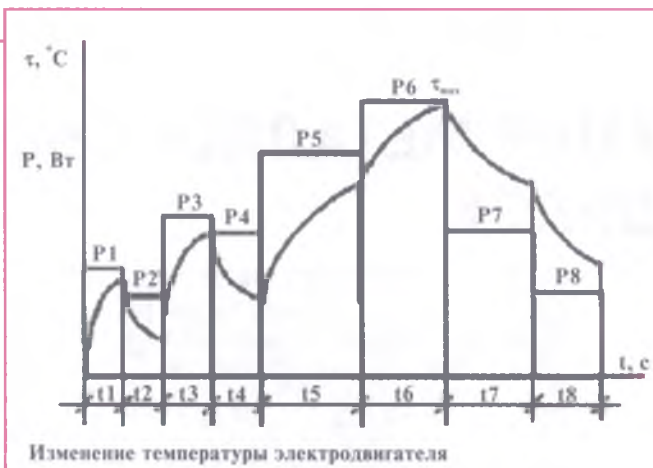
Вид аварии	Изменение токов		Характер изменений в работе двигателя
Обрыв 1 фазы в обмотке статора	Соединение обмотки звездой	Ток в оборванной фазе отсутствует. В двух других $I = 1,5I_n$	Двигатель гудит и не разворачивается даже на холостом ходу. Поле из вращающегося превращается в пульсирующее. В работающем двигателе при нагрузке, равной 1/2 номинальной, рабочие токи увеличатся на 15–20 %, частота снижается незначительно. В случае больших нагрузок двигатель остановится и, если не сработает защита, быстро выйдет из строя
	Соединение обмотки треугольником	Ток в оборванной фазе отсутствует. В двух других значительно больше номинального	Обмотки подключены к сети по схеме открытого треугольника. Токи, протекающие по обмоткам статора, создают вращающее магнитное поле, двигатель хорошо стартует и развивает нормальную скорость. Энергопотребление из сети значительно больше, чем в нормальном режиме. Момент близок к номинальному, но при сильном нагреве двух рабочих обмоток $I_n$ в одном из питающих проводов будет в $\sqrt{3} = 1,7$ раз больше, чем в двух других
Межвитковые замыкания в фазе обмоток статора	$I_n$ , подходящий к поврежденной фазе, возрастает во много раз (его значение определяется числом закороченных витков)		Двигатель начинает необычно гудеть, а если работает под нагрузкой, вращается с пониженной скоростью. Через некоторое время начинает гореть
Междуфазные замыкания обмоток статора	Приводят к протеканию по обмоткам сети токов короткого замыкания, в 10–100 раз превышающих номинальные токи		Обмотки статора быстро нагреваются и, если не сработает защита, перегреваются и сгорают

ется его нагревом, что обусловлено происходящими в нем процессами и потерями энергии. Нормативный срок службы электродвигателя определяется в конечном счете допустимой температурой нагрева его изоляции. В современных двигателях применяется несколько классов изоляции, допустимая температура нагрева которых составляет для класса А – 105 °С, Е – 120 °С, В – 130 °С, F – 155 °С, Н – 180 °С, С – свыше 180 °С. Превышение допустимой температуры ведет к преждевременному разрушению изоляции и существенному сокращению срока службы.

В эксплуатации в основном приходится сталкиваться с режимами, не нормированными ГОСТами. Наиболее характерным является режим с быстроизменяющейся нагрузкой, когда двигатель периодически входит в режим перегрузки, возвращаясь затем на номинальный режим или работая с нагрузкой меньше номинальной. Если машина работает в длительном режиме, но с переменной нагрузкой (P1, P2, P3...), наблюдается неустановившийся тепловой процесс (см. **рис. 1**), так как в разные промежутки времени (t1, t2, t3, t4 и т.д.) в ней возникают различные потери мощности, а следовательно, различные тепловые потери. Для эффективного контроля количества теплоты, накопленного двигателем в процессе работы, необходимо выяснять законы нагрева и охлаждения асинхронного электродвигателя.

В связи с трудностью проведения такого анализа принимаются следующие допущения: двигатель рассматривается как однородное тело, имеющее бесконечно большую теплопроводность и одинаковую температуру во всех своих точках. Теплоемкость двигателя и его коэффициент теплоотдачи не зависят от нагрузки на валу двигателя. Температура двигателя зависит не только от нагрузки, но и температуры окружающей среды. Средняя температура  $t_0$  пропорциональна количеству Q теплоты, накопленному двигателем.

С такими допущениями уравнение теплового баланса



Изменение температуры электродвигателя

$$\Delta Pdt = A\tau dt + C d\tau,$$

где  $\Delta P$ , A, C – потери, теплоотдача в окружающую среду и теплоемкость двигателя; t – время;  $\tau$  – превышение температуры двигателя над окружающей средой,  $\tau = (\tau_0 - \tau_{уст})e^{-1/T_0 + \tau_{уст}}$ ,  $\tau_0$ ,  $\tau_{уст}$  – начальное и установившееся превышения температуры двигателя;  $T_0$  – постоянная времени нагрева.

Псевдотепловые математические модели электродвигателей положены в основу большинства защит АД от теплового перегруза. Постоянный расчет тока  $I_2$  ротора с учетом скорости нагрева и остывания двигателя при как можно большей степени дискретизации измерений дают наиболее полную картину о количестве теплоты, накопленной двигателем, и опасного с точки зрения допустимого нагрева изоляции. При превышении допустимого нагрева для данного класса изоляции происходит так называемое ускоренное «старение» изоляции: снижается механическая прочность, появляется хрупкость, разломы и трещины, что приводит к снижению ее электрической прочности и пробоя.

В процессе эксплуатации АД его изоляция неизбежно «стареет». Основные причины, вызывающие эти процессы: нагревание обмоток рабочими и пусковыми токами, токами короткого замыкания и перегруза, теплотой от посторонних источников; динамическими усилиями, возникающими при взаимодействии проводников с током, коммутационными перенапряжениями. На состояние изоляции большое влияние оказывают также условия окружающей среды: температура и влажность воздуха, загрязненность и запыленность.

Состояние изоляции определяет степень безопасной эксплуатации электроустановок. Электродвигатель

допускается эксплуатировать, если сопротивление его изоляции на корпус не менее 0,5 МОм (для двигателей с питающим напряжением до 1000 В). Вероятность пробоя изоляции возрастает на порядок, если сопротивление изоляции в два раза меньше допустимого. При снижении сопротивления изоляции высока вероятность появления такой тяжелой аварии АД, как пробой

обмотки статора на корпус (короткое замыкание на корпус), опасной не только для самого электродвигателя, но и обслуживающего персонала. По сети начинают протекать токи короткого замыкания, в 10–100 раз превышающие номинальные, а на корпус электроустановки может быть вынесено высокое напряжение, опасное для жизни человека. Не менее важен непрерывный контроль сопротивления изоляции обмоток статора во время работы электродвигателя, так как диэлектрические свойства изоляции, измеренные до включения АД, могут внезапно измениться под воздействием электрического напряжения и температуры. Для этого используется измерение тока утечки на «землю» с помощью дифференциального трансформатора, реагирующего на появление дифференциального (разностного) тока выше некоторой уставки, заданной пользователем.

Очевидно, что применение надежной и эффективной защиты от аварийных режимов работы значительно сократит число и частоту аварийных ситуаций и продлит срок службы АД, сократит расход электроэнергии и эксплуатационные расходы. Но для того чтобы выбрать эту защиту, необходимо знать, как и от чего необходимо защищать АД, а также учитывать специфику процессов, протекающих в нем в случае аварий.

#### Литература

1. Маркарянц, Л.М. Некоторые возможности применения комбинированных устройств защиты электроустановок на базе УЗО / Л.М. Маркарянц, В.А. Безик, И.Э. Александян // Сборник мат. Меж. науч.-практ. конф. – Брянская ГСХА. – 2010. – 229 с.
2. Пат. РФ 95433. Комбинированное устройство защиты электроустановок /

Окончание на стр. 31

**Окончание. Начало на стр. 22–23**

В.А. Безик, Л.М. Маркарянц, И.Э. Александриян. – 15.02.2010.

3. Пат. РФ 2446546. Устройство контроля сопротивления изоляции и сушки обмотки электродвигателя. / Л.М. Маркарянц, В.А. Безик, П.А. Самородский. – 27.03.12.

4. Безик, В.А. Структура средств защиты электроустановок / В.А. Безик, Л.М. Маркарянц // Сб. VI Межд. науч.-техн. конф. – Брянская ГСХА. – 2012. – С. 22–28.

5. Маркарянц, Л.М. Эффективность применения устройств защиты электрооборудования / Л.М. Маркарянц, В.А. Безик, П.А. Самородский // Проблемы энергообеспечения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК. – VIII Межд. науч.-техн. конф. / Под общ. ред. Л.М. Маркарянц. – 2014. – С. 136–140.

6. Белоус, Н.М. Концепция развития животноводства Брянской области / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – С. 59–61.

7. Белоус, Н.М. Стратегии инновационного развития научных исследований Брянской государственной сельскохозяйственной академии / Н.М. Белоус, В.Е. Ториков // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 2. – С. 4–16.

8. Безик В.А., Маркарянц Л.М., Александриян И.Э. Экспериментальные исследования комбинированного устройства защиты / В.А. Безик, Л.М. Маркарянц, И.Э. Александриян // VII Межд. науч.-техн. конф. – Брянская ГСХА. – С. 3–8.

9. Белова, Т.И. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Исследование параметров удаления и очистки воздуха от пыли: учеб. пособие. / Т.И. Белова, В.И. Гаврищук, Е.М. Агашков // Орел: Изд-во ГУ-УНПК, 2013. – 72 с.

10. Белова, Т.И. Средства и способы радиационной и химической защиты: учеб. пособие / Т.И. Белова, С.С. Сухов, Ю.Л. Померанцев. – Брянск: Изд-во БГУ. – 2013. – 220 с.

11. Маркарянц, Л.М. Эффективность применения устройств защиты электрооборудования / Л.М. Маркарянц // Сб. VIII Межд. науч.-техн. конф. – Брянская ГСХА. – 2014. – С. 136–140.

*The article describes the types of current emergency operation of the actuator, the nature of the changes in the engine and changing currents, as well as their underlying causes.*

**Keywords:** Asynchronous electric drive; current accidents; insulation; motor protection; phase.