

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Гусаров А.А.

Донецкий национальный технический университет

Influence of the power quality on the heat state of the three-phase induction motors with squirrel-cage rotor has been analyzed. The ways to improve induction motors' characteristics by means of application of series and parallel active electrical filters are shown.

Key words: power quality, the three-phase induction motors, squirrel-cage rotor, heat state, active electrical filter.

Ежегодно на долю электродвигателей приходится 30 – 35% общего числа повреждения электрооборудования. Наиболее часто, в 80 – 85% случаях, неисправной оказывается обмотка двигателя. Повреждение двигателей вызывается перегрузками по току. Увеличение тока в обмотках асинхронного двигателя (АД) вызывает перегрев – дополнительное превышение температуры элементов конструкции АД по сравнению с рабочим режимом.

Наиболее часто перегрев обмоток АД возникает при заторможенном роторе (заклинивание), обрыве фазы статора, от качества электроэнергии.

Качество электроэнергии определяется ГОСТ 13109-97 и ГОСТ23875-88, основными показателями качества электроэнергии являются отклонение напряжения, отклонение частоты, коэффициенты несинусоидальности, обратной и нулевой последовательности напряжений [1].

Отклонения напряжения и частоты, несимметрия и несинусоидальность напряжения вызывают снижение вращающего момента АД, увеличение потребляемого ими тока и их времени разгона, повышенный нагрев обмоток. Так, при отклонениях напряжения U и частоты f пусковой и максимальный моменты АД изменяются пропорционально U^2 и $1/f^2$; синхронная частота вращения – пропорционально f ; скольжение – пропорционально $1/U^2$. Значения основных параметров АД в долях от их номинальных значений при отклонении напряжения и частоты приведены в табл.1 [1].

Таблица 1 – Значения основных параметров АД при отклонении напряжения и частоты

Параметры	Значения параметров АД при значениях			
	напряжения		частоты	
	0,9	1,1	0,95	1,05
Пусковой и номинальный момент	0,81	1,21	1,05	0,95
Синхронная частота вращения	1	1	0,95	1,05
Асинхронная частота вращения при номинальной нагрузке	0,985	1,01	0,95	1,05
Ток при номинальной нагрузке	1,11	0,93	1,02	0,98
Пусковой ток	0,9	1,1	1,05	0,95
Превышение температуры при номинальной нагрузке	1,07	0,96	1,02	0,98
Скольжение	1,01	0,99	1	1
Коэффициенты полезного действия при номинальной нагрузке	0,98	1,01	0,99	1,01
Cos φ при номинальной нагрузке	1,01	0,97	0,99	1,01

Если коэффициент обратной последовательности K_{2U} и нулевой последовательности K_{0U} изменились от - 1 до + 4%, то кратность пускового момента АД снижается на 5,4 – 6,5 %; если коэффициент несинусоидальности $K_{НС}$ изменился от -1 до + 20%, то снижение пускового и максимального моментов составит соответственно 2,5 – 3,8 и 3,5 – 4,2% [2].

При особо неблагоприятном сочетании отклонений рассматриваемых параметров определяющих качество энергии ($\Delta U=10\%$; $\Delta f=2\%$; $K_{2U}=1\%$; $K_{НС}=20\%$) КПД снижается на 2,3%; $\cos\varphi$ – на 8 – 10%; максимальный момент на 32%, пусковой момент на 33%. У многополосных АД кратность пускового момента может снизиться до значения 1,1 и они перестают запускаться.

Одним из распространенных режимов, вызывающих перегрузку двигателя является несимметрия первичного напряжения. Значения коэффициента несимметрии при обрыве линейного провода достигают 28% [3], что значительно превышает значения установленные ГОСТ 13109-97 [9].

Несимметрия напряжений приводит к увеличению потерь и потребления активной мощности, возникновению вибрации у вращающихся машин, дополнительному нагреву двигателей, снижению его производительности и ускоренному старению изоляции [4, 5, 6], к сокращению срока службы изоляции (двигателя). Срок службы изоляции сокращается в 2 раза при длительном повышении температуры изоляции класса нагревостойкости А – на каждые 10,8⁰С; Е – на 10⁰С; В – на 9,9⁰С; F – на 8,9⁰С; Н – на 8,6⁰С.

При пуске и работе АД его обмотка интенсивно нагревается, при этом температура увеличивается со скоростью, пропорциональной квадрату плотности тока для обмоток [7].

- а) из медной проволоки $\Delta U=\Delta^2/200$;
 - б) из алюминиевой проволоки $\Delta U=\Delta^2/86$;
 - в) литых алюминиевых $\Delta U=\Delta^2/62$;
- где Δ – плотность тока, А/см².

В предельном случае скорость роста температуры в обмотке статора составляет 7 – 10⁰С/с, а в короткозамкнутой обмотке ротора – 15 – 30⁰С/с. При этом алюминиевая обмотка ротора нагревается по экспоненте до температуры плавления 660⁰С за несколько минут, ротор расплавляется. У АД со всыпной обмоткой статора в результате термического удара происходит пробой и витковое замыкание с обугливанием изоляции, переходящее в замыкание на корпус; при этом температура обмотки ротора может не успеть достичь точки плавления алюминия.

Отклонение напряжения для сети напряжением до 1000 В допускается нормально до $\pm 5\%$ и максимально до $\pm 10\%$; отклонение частоты – нормально до $\pm 0,2$ Гц; и максимально до $\pm 0,4$ Гц. Коэффициенты K_{2U} и K_{0U} должны быть нормально не более 2% и максимально до 4%. Коэффициент несинусоидальности $K_{НС}$ в сетях напряжением до 1000 В эти значения составляют соответственно 5 и 10%, а напряжением 6000 В – 4 и 8%. В тоже время, значения несимметрии токов нагрузки не регламентируется, хотя именно несимметрия токов нагрузки является одной из основных причин появления несимметрии напряжений.

В литературе [8] рассмотрены требования какие должны быть предъявлены к нагрузке для обеспечения электромагнитной совместимости по симметрии напряжений. Приведены условия отвечающие электромагнитной совместимости при $K_{2U}=2\%$ и 4%; когда $U_1=U_{НОМ}$ и с учетом отклонения напряжения δU при неизменном значении тока нагрузки. При значениях напряжения $U_1 < U_{НОМ}$ допустимые пределы изменения тока обратной последовательности сужаются, при увеличении $U_1 > U_{НОМ}$ пределы изменения тока обратной последовательности расширяются.

Установлено, что при заданных значениях токов прямой и обратной последовательностей максимальное значение фазного тока $I_{фmax}$ достигается при $\psi = \frac{2\pi}{3}$, т.е. когда направление I_1 и I_2 для одной из фаз совпадает (ψ - угол между векторами токов прямой I_1 и обратной последовательности I_2).

Минимальное значение фазного тока $I_{фmin}$ достигается при угле сдвига между векторами тока прямой и обратной последовательности

$$\psi = \frac{\pi}{3} + \frac{2\pi}{3}n, \text{ где } n - \text{целое число.}$$

Исследования [10, 11, 12], направленные на изучение влияния напряжений обратной последовательности на эксплуатационные характеристики асинхронного двигателя, позволяют получить распределение токов и температур в элементах конструкции АД для любых значений фазы и амплитуды напряжения обратной последовательности. А также определить изменение нагрузки при несимметрии питающего напряжения, позволяющей избежать перегрева обмоток. При $U_{ОБР}=0,05U_{1Н}$ с изменением фазы ψ токи в фазах изменяются в широких пределах от (0,82÷1,19) $I_{1Н}$, а при $U_{ОБР}=0,20U_{1Н}$ – в пределах (0,35÷1,8) $I_{1Н}$. Превышение температур фаз обмотки статор А, В, С при $K_{2U}=20\%$ равны 510⁰С, 480⁰С, 285⁰С соответственно.

Таким образом, несимметрия напряжения на зажимах двигателя и отказе тепловой защиты приведет к пробое изоляции, машина выходит из строя.

Несимметрия напряжения и отклонение напряжения от номинальной величины могут быть устранены применением регулятора качества электроэнергии на основе последовательного и параллельного активных фильтров [13]. Регулятор качества электроэнергии обеспечивает высокое качество фильтрации высших гармоник тока нагрузки и стабилизацию напряжения при воздействии возмущающих факторов как со стороны сети, так и со стороны нагрузки.

В системах автономного энергоснабжения асинхронных двигателей широко используется инвертор напряжения (АИН) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Для обеспечения коэффициента гармоник выходного напряжения, регламентированного стандартами, необходимо применение выходного фильтра [14]. АИН с ШИМ плюс выходной фильтр представляют собой следящую систему, построенную по принципу подчиненного регулирования. Система обеспечивает стабилизацию выходного напряжения инвертора, позволяет организовать токоограничение при перегрузках или коротких замыканиях в нагрузке. Наличие отрицательной обратной связи по току увеличивает выходное сопротивление инвертора, что приводит к демпфированию колебательных процессов в Г-образном фильтре как при нагрузке, так и при отключении ее.

Выводы.

1. При несимметрии приложенного напряжения возникает необходимость к снижению нагрузки на валу двигателя от 8% до 13% номинальной нагрузки.
2. Несимметрия напряжений и отклонение параметров сети и нагрузки от номинальных условий вызывает перегрев и выход двигателя из строя.
3. Продление срока службы двигателей, которое обеспечивается не только его соответствующей эксплуатацией, но и его диагностированием и средствами тепловой защиты. В защиту, построенную по принципу непосредственного измерения температуры обмоток вводить обратные связи по току.
4. Стабилизацию напряжения на уровне номинального, компенсацию уровня несимметрии напряжения можно достичь применением регулятора качества электроэнергии.
5. В системах автономного питания асинхронных двигателей от инвертора напряжения с широкоимпульсной модуляцией обеспечение качества электроэнергии, регламентированного ГОСТ 13109-97, можно осуществить следящей системой подчиненного регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Захарченко П.И., Ширнин И.Г., Ванев Б.Н., Гостищев. Обеспечение надежности асинхронных двигателей. – УкрНИИВЭ. – Донецк, 1998. – 324с.
- 2 Захарова З.А. Исследование совместного влияния показателей качества электроэнергии на технические характеристики асинхронного двигателя.// Электромеханика. 1990. №8 – с.16 – 19.
- 3 Шевченко О.А., Якимшина В.В., Пинчук О.Г. О пожарной опасности асинхронных двигателей, эксплуатирующихся на промышленных предприятиях// Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Електротехніка і енергетика” Випуск 67. – Донецьк: Дон НТУ. 2003, с.65-68.
- 4 Шидловский А.К., Кузнецов В.Г., Повышение качества энергии в электрических сетях. – Київ: Наук. Думка, 1985. –268с.
- 5 Шидловский А.К., Кузнецов В.Г., Николаенко В.Г. Оптимизация несимметричных режимов систем электроснабжения. - Київ: Наук. Думка, 1987. –176с.
- 6 Шполянський О.Г. Оценка влияния несимметрии и несинусоидальности на потери активной мощности и снижения срока службы электрооборудования// Праці Інституту Електродинаміки НАН України. –2007. №1, ч.2 (16) с.52-53.
- 7 Сергеев П.С. и др. Проектирование электрических машин. Изд-е 3-е, переработанное и доп. М., «Энергия», 1969. –632с.
- 8 Кузнецов В.Г., Шполянський О.Г. Оценка возможности подключения несимметричной нагрузки к электрической сети по значению тока обратной последовательности. –Київ: Технічна електродинаміка, Серія “Силовая електроніка та енергоефективність” 2007, ч.1., с.80-83.
- 9 ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Киев,: Госстандарт Украины. 1999. –30с.
- 10 Федоров М.М., Пинчук О.Г. Влияние напряжения обратной последовательности на эксплуатационные характеристики асинхронного двигателя.// Наукові праці Дон НТУ “Електротехніка і енергетика” Випуск 67. – 2003. с.61-64.
- 11 Гусаров А.А., Гусаров А.А., Ковалев Е.Б. Анализ современных систем температурной диагностики асинхронных двигателей.// Наук. праці Дон НТУ, серія “Електротехніка і енергетика” Випуск -7 (128), Донецьк, Дон НТУ. 200 . –с.174-177.
- 12 Ковалев Е.Б., М.Аль-Фаваир, Невзлин Б.И. Характеристики температурной защиты электродвигателей от быстро нарастающих перегрузок// Праці ЛВ МАІ, №2 (9) – 2004. с.7-14.
- 13 Розанов Ю.К., Рябчинский М.В., Сазанов В.В., Смирнов М.И. Регулятор качества электроэнергии на основе активных фильтров. – Київ, Технічна електродинаміка, Тематичний випуск “Силовая електроніка та енергоефективність”// 2007. ч.1. с.23-28.
- 14 Переверзев А.В., Семенов В.В., Стрункин Г.Н. Выбор параметров выходного фильтра для автономного инвертора напряжения с ШИМ и двухконтурной системой авторегулирования. – Київ: Технічна електродинаміка. Тем. випуск “Силовая електроніка та енергоефективність”. 2007. ч.1. с.29-32.

Рекомендовано д.т.н. Карасем С.В.