

*Ю.Г. Качан, д-р техн. наук, В.Б. Траппер, А.О. Кардиян
(Украина, Запорожье, Запорожская государственная инженерная академия)*

ОБ ОЦЕНКЕ СУММАРНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ОТ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НЕКАЧЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Как известно, в настоящее время более 60% всей вырабатываемой в мире электроэнергии потребляется электродвигателями. Наибольшее распространение получили электроприводы с двигателями постоянного тока и асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором (АД). Причем около половины вырабатываемой в мире электроэнергии потребляется АД. Указанные соотношения справедливы и для Украины.

Электромеханическое оборудование, используемое в электроприводах, предназначено для работы в условиях симметрии и синусоидальности питающего напряжения, отсутствия его колебаний и постоянства частоты. При отклонении указанных показателей качества электроэнергии от нормируемых стандартом [1] значений, нормальная работа электрооборудования либо вообще не возможна, либо может быть обеспечена только при значительном снижении нагрузки. Ранее проведенные исследования позволяют сделать вывод, что работа электромеханических преобразователей в условиях некачественной электроэнергии приводит к снижению работоспособности и надежности АД. Однако результаты этих исследований не содержат главного – экономической оценки получаемых при этом потерь.

Сейчас на многих предприятиях возникла ситуация, когда в условиях существующих цен и тарифов экономически целесообразнее не приводить потребляемую электроэнергию к требованиям ГОСТов. Вызванные некачественной электроэнергией потери, по предварительной оценке, существенно меньше необходимых затрат на приведение ее к требуемому качеству [2]. И может оказаться, что будет выгоднее чаще менять электродвигатели, чем устанавливать необходимые блоки силовой электроники.

На основании проведенного анализа были систематизированы факторы, влияющие на эффективность работы АД при питании некачественной электроэнергией (рис.1). Рассматриваются следующие факторы, приводящие к экономическому ущербу: сокращение срока службы и надежности АД, потери активной мощности, изменение производительности АД (технологический ущерб), уменьшение КПД. Наиболее значимые факторы снижения надежности, а, следовательно, и срока службы АД – несимметрия и несинусоидальность питающего напряжения. Надежность АД в значительной степени определяется состоянием их обмоток, которое в свою очередь обуславливается старением изоляции [3]. Среди различных факторов, определяющих последнее, является нагрев обмотки. В связи с этим, ГОСТом 183-74 нормируются значения предельно допустимой температуры изоляционного материала.

Ущерб при снижении надежности, обусловленный несимметрией и несинусоидальностью, можно рассчитать по формуле [4,5]:

$$Y_{над} = (11,6 + 0,009T)^2 \cdot k_{Г} \cdot P_{ном} \cdot k_3 \cdot c_w, \quad (1)$$

где T – продолжительность работы АД, ч; $k_{Г}$ – вероятность застать АД в работоспособном состоянии; k_3 – коэффициент загрузки; c_w – стоимость 1 кВт электроэнергии, грн/кВт-ч.

Определить ущерб от относительного сокращения срока службы изоляции АД можно с помощью зависимости [6]

$$Y_{ср.сл} = (20,09 + 0,016T)^2 \cdot \frac{C_{дв}}{1 - \frac{m_v}{b}}, \quad (2)$$



Рис.1. Структура и факторы, влияющие на экономический ущерб, вызванный работой АД в условиях его питания некачественной электроэнергией

где $C_{дв}$ – стоимость двигателя, грн; m_v – математическое ожидание снижения срока службы изоляции АД при пониженном качестве электроэнергии; b – по-

стоянная, которая зависит от срока службы изоляции АД при номинальной температуре.

Рассмотрим ущерб от потерь активной мощности. В условиях пониженного качества электроэнергии дополнительные потери активной мощности обуславливаются повышенным нагревом обмоток АД. Такой ущерб может быть вызван: несимметрией напряжения, несинусоидальными токами, а также изменением частоты питающего напряжения. Ущерб от каждого из вышеперечисленных факторов рассчитывают по отдельности [5]:

- ущерб, вызванный несимметрией напряжения:

$$Y_{нсм} = k_{АД} \cdot P_{ном} \cdot K_{нсм,U}^2 \cdot (18,02 + 0,0145T)^2 \cdot c_w, \quad (3)$$

где $k_{АД}$ – поправочный коэффициент, зависящий от мощности АД; $K_{нсм,U}$ – коэффициент несимметрии питающего напряжения;

- ущерб, вызванный несинусоидальными токами:

$$Y_{нс} = (20,1 + 0,016T)^2 \cdot c_w \cdot \sum_{n=3}^N I_n^2 (R_{1n} + R'_{2n}), \quad (4)$$

где I_n – действующее значение тока n -й гармоники; R_{1n}, R'_{2n} – активное сопротивление статора и приведенное активное сопротивление ротора с учетом поверхностного эффекта на частоте n -й гармоники;

- ущерб, вызванный изменением частоты питающего напряжения и его колебаниями:

$$Y_f = (DP_{f,ст} + DP_{f,м}) \cdot (11,6 + 0,009T)^2 \cdot c_w, \quad (5)$$

где $DP_{f,ст} = DP_{ст,ном} (0,61 + 0,39k_f) / k_f$ – изменение потерь в стали АД при изменении частоты; $DP_{f,м} \cong DP_{м,ном} \cdot M_c k_f^2$ – изменение потерь в меди (обмотках) АД при изменении частоты.

Здесь $DP_{ст,ном} = \left[d_2 \frac{f}{100} + d_{в,м} \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] \cdot \left(\frac{B}{1000} \right)^2$ – удельные потери активной мощности в стали АД при $f_{ном}$; B – магнитная индукция в сердечнике АД, Тл; d_2 и $d_{в,м}$ – удельные потери в стали на гистерезис и вихревые токи; $k_f = \frac{f}{f_{ном}}$ – относительный коэффициент изменения частоты; $DP_{м,ном}$ – потери в обмотках статора и ротора АД при $f=f_{ном}$; M_c – момент сопротивления АД. Для двигателей с постоянным моментом на валу последний равен его электромагнитному моменту и определяется из выражения:

$$M_c = \frac{k_3^2 - k_{uo}^2}{1 - k_{uo}^2}, \quad (6)$$

где $k_3 = I_1 / I_{1ном}$ – относительный коэффициент загрузки по току; $k_{uo} = I_0 / I_{ном}$ – кратность тока ХХ в долях номинального значения тока статора.

Ущерб, вызванный уменьшением производительности АД (технологический ущерб) [7]:

$$Y_{ПМ} = (P_{ном} - P) \cdot a \cdot (11,6 + 0,009T)^2, \quad (7)$$

где a – стоимость единицы выпускаемой продукции, грн; $P_{ном}, P$ – среднее значение производительности при потреблении качественной и некачественной электроэнергии соответственно, отн. ед.

Следующим фактором, который уменьшается при потреблении некачественной электроэнергии, является КПД АД. Этот ущерб можно определить по формуле [8]:

$$Y_{КПД} = \left(\frac{P_{ном}}{\eta_{из}} - \frac{P_{ном}}{\eta_{ном}} \right) \cdot (11,6 + 0,009T)^2 \cdot c_w, \quad (8)$$

где $\eta_{из}, \eta_{ном}$ – КПД при потреблении некачественной электроэнергии и соответствующий ГОСТируемым показателям.

Используя вышеприведенные зависимости в качестве вычислительных блоков расчетного алгоритма и подставляя в них текущие значения показателей качества, можно рассчитать экономический ущерб от питания АД некачественной электроэнергией за определенный период времени работы (час, месяц, год) и проследить динамику изменения ущерба в зависимости от значений показателей качества электроэнергии. Если полученные таким образом результаты сравнить с финансовыми затратами, необходимыми на обеспечение качества электроэнергии, то можно сделать вывод о целесообразности таких действий. Данное сравнение и решит вопрос: что выгоднее, доводить показатели качества до нормы или производить внеплановую замену электродвигателя.

Список литературы

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – ИПК. Изд-во стандартов. – 1998.
2. Качан Ю.Г., Николенко А.В., Кузнецов В.В., Траппер В.Б.. О технико – экономической целесообразности работы асинхронных двигателей в сетях с некачественной электроэнергией // Гірн. електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2008. – Вип. 80. – С. 58-62.
3. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
4. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Горпинич А.В. Влияние качества электроэнергии на надежность асинхронных двигателей. – М. Энергоатомиздат, 2004.
4. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2т. Т. 1. Электроснабжение / Под общ.ред. А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.

5. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Горпинич А.В. Сокращение срока службы и снижение надежности электрооборудования при пониженном качестве электроэнергии. – М. Энергоатомиздат, 2006.
6. Луговой А.В., Черный А.П. Вопросы практического энергосбережения промышленных предприятий // Вісник КДПУ. – 1998. Випуск1(4). – С. 73-77.
7. Вербовий А.П., Вербовий П.Ф., Щокін А.Р. Асинхронні двигуни з покращеними ККД. – М.: –Енергоатомвид, 2008.