

УДК 681.5.015

Куваев В.Ю.¹, Николенко А.В.²

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

Рассмотрены особенности определения КПД и коэффициента мощности двигателя в асинхронном электроприводе при периодическом и стохастическом нагружении. Установлено, что переменные нагрузки создают амплитудно-фазовую модуляцию токов и напряжений. Предложена методика определения энергетических показателей асинхронного двигателя в переходных процессах с учетом высших гармонических составляющих.

Постановка проблемы

Для многих асинхронных электроприводов производственных машин и механизмов, в частности горнорудных, строительных, транспортных и других, характерными являются режимы работы с переменными нагрузками, обуславливающими непрерывные электромеханические переходные процессы. Эти процессы сопровождаются существенными колебаниями токов и момента, изменениями параметров самого двигателя, что свидетельствует о сложности анализа электромеханического преобразования энергии в рассматриваемых режимах. Кроме того, при исследовании системы электропривода необходимо учитывать колебания напряжения источника питания, вызываемые изменением нагрузки.

Цель работы

Изучение характера изменения энергетических показателей при стохастических нагрузках для получения соответствующих рекомендаций по выбору установленной мощности и электромагнитных нагрузок асинхронных двигателей.

Результаты исследований

Для расчета потерь и теплового состояния в электрических машинах, работающих в динамических режимах, необходимо знать средние за период энергетические показатели. При периодическом (квазипериодическом) изменении нагрузки в электроприводе возникают модулированные режимы, поэтому за период при определении энергетических показателей целесообразно принять период модуляции.

Встречающиеся на практике режимы стохастических нагрузок в большинстве случаев могут быть сведены к переменнo-периодическим нагрузкам, которые не только модулируют токи и напряжения по величине, но и влияют на их фазы, то есть создают амплитудно-фазовую модуляцию. Этот процесс наглядно иллюстрирует векторная диаграмма (рис. 1). Векторы напряжения \dot{U}_i и тока \dot{I}_i изменяют свою длину и направление, а при периодическом процессе конец вектора описывает замкнутую линию.

Для определения средней (суммарной) мощности за период модуляции представим текущие значения напряжения и тока двигателя уравнениями

$$\dot{U}_i = \dot{U}_{cp} + \dot{U}_{xi}; \quad (1)$$

$$\dot{I}_i = \dot{I}_{cp} + \dot{I}_{xi}, \quad (2)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots$

В этих выражениях средние значения напряжения и тока за период модуляции будут:

¹ Национальная металлургическая академия Украины, ст. преподаватель

² Национальная металлургическая академия Украины, канд. техн. наук, доц.

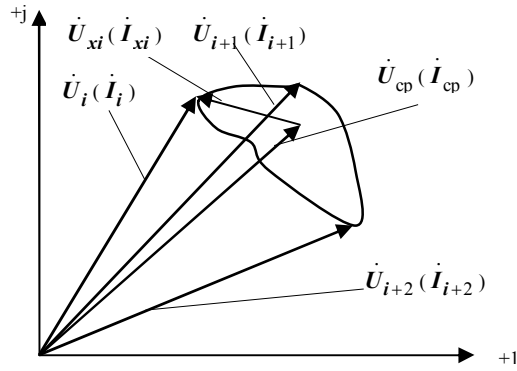


Рис. 1 – Векторные диаграммы напряжений (токов) электродвигателя при периодическом нагружении: $\dot{U}_i(\dot{I}_i)$ – текущее значение напряжения (тока)

$$\dot{U}_{cp} = \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} \dot{U}_i dt ; \quad (3)$$

$$\dot{I}_{cp} = \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} \dot{I}_i dt . \quad (4)$$

На векторной диаграмме (рис. 1) среднее значение напряжения (тока) изображено вектором $\dot{U}_{cp}(\dot{I}_{cp})$, а отклонение напряжения (тока) от средних значений – $\dot{U}_x(\dot{I}_x)$. Среднее значение полной мощности за период модуляции определится выражением

$$S = \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} U_{cp}^* \dot{I}_{cp} dt + U_{cp}^* \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} \dot{I}_x dt + \dot{I}_{cp} \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} U_x^* dt + \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} U_x^* \dot{I}_x dt . \quad (5)$$

Из (5) вытекает, что суммарные активные и реактивные мощности определяются выражениями

$$P = U_{cp} I_{cp} \cos \phi_{cp} + \int_0^{T_M} U_x I_x \cos \phi_x dt , \quad (6)$$

$$Q = U_{cp} I_{cp} \sin \phi_{cp} + \int_0^{T_M} U_x I_x \sin \phi_x dt . \quad (7)$$

Выведенные уравнения, определяющие суммарные значения мощностей, справедливы для переменного-периодических нагрузок электропривода, создающих модуляцию.

Приведенные рассуждения и уравнения (1)-(7) можно полностью распространить на резкопеременные нагрузки, создающие непериодические (стохастические) колебания. При этом под T_M следует понимать период усреднения. В этом случае годографы векторов напряжения и тока (рис. 1) представляют разомкнутые кривые.

Уравнения (1)-(7) выведены в предположении, что напряжение и ток двигателя представлены основными гармониками и позволяют определить мгновенные значения энергетических показателей (КПД и коэффициента мощности) и их значения за период модуляции по известным выражениям.

Определение энергетических показателей асинхронного двигателя в стохастических режимах, которые сопровождаются существенными колебаниями токов и моментов, а также при несинусоидальном питании в случае их работы в автономных системах с полупроводниковыми преобразователями, требует уточнения приведенных формул с учетом [1].

Разложив в гармонический ряд выражения напряжений и токов, мгновенную активную мощность можно определить следующим образом:

$$P(t) = \sum_{k=1}^m (u_1 + u_2 + \dots + u_n)(i_1 + i_2 + \dots + i_n) , \quad (8)$$

где $u_1, u_2, \dots, u_n, i_1, i_2, \dots, i_n$ – мгновенные напряжения и токи соответственно первой, второй и n -й гармоник; m – число фаз машины (модели).

Общее выражение активной мощности для ее среднего значения:

$$P_{cp}(t) = \sum_{k=1}^m \frac{1}{T} \int_t^{t+T} P(t) dt. \quad (9)$$

Из (9) следует, что средняя за период активная мощность равна сумме активных мощностей первой и всех высших гармонических составляющих.

Средний за период коэффициент мощности

$$k_M(t) = \frac{P_{cp}(t)}{\sum_{k=1}^m U_{nk} I_{nk}}, \quad (10)$$

где U_{nk}, I_{nk} – текущие действующие значения n -х гармоник напряжения и тока; они определяются как средние квадратичные значения за период основной гармоники:

$$U_K = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} U_{nk}^2}, \quad (11)$$

$$I_K = \sqrt{\sum_{n=0}^{\infty} I_{nk}^2}, \quad (12)$$

$$\text{где } U_{nk}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u_{nk}^2(t) dt, \quad I_{nk}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i_{nk}^2(t) dt.$$

Для двигателя в переходном режиме при несинусоидальном (модулированном) токе целесообразно говорить о среднем КПД за период как отношении средней механической мощности на валу к активной мощности, потребляемой из сети:

$$\eta_c(t) = \frac{P_{2cp}(t)}{P_{cp}(t)}, \quad (13)$$

$$\text{где } P_{2cp}(t) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} P_2(t) dt = \omega_r \frac{1}{T} \int_t^{t+T} M(t) dt.$$

При исследовании работы асинхронного двигателя в стохастическом режиме случайная нагрузка $M(t)$ представляется математической моделью нагрузочного момента в виде гармонической функции со случайными аргументами, вероятностные характеристики которых адекватно отражают в пределах корреляционной теории свойства случайной функции момента нагрузки двигателя:

$$M(t) = \langle M \rangle + \Delta M \cos(\omega t + \phi), \quad (14)$$

где $\langle M \rangle$ – математическое ожидание момента нагрузки; $\Delta M, \omega, \phi$ – соответственно амплитуда, частота и фаза независимых случайных величин, вероятностные характеристики которых определяются вероятностными характеристиками $M(t)$ [2].

Выводы

Предложена методика расчёта энергетических показателей асинхронного электропривода при стохастической нагрузке, которая представляется в виде полигармонической функции со случайными параметрами. Такой момент нагрузки вызывает амплитудно-фазовую модуляцию напряжений и токов; при этом КПД и коэффициент мощности определяются как средние за период модуляции.

Средние за период КПД и коэффициент мощности – энергетические показатели электрической машины в переходных (стохастических) режимах. Зная эти показатели, можно осуществить расчет установленной мощности двигателя с учетом усложнения теплового режима из-за дополнительных потерь, обеспечить рациональный выбор устройств питания, защиты и ком-

пенсации, правильно определять необходимость регулирования напряжения и частоты в асинхронных электроприводах, работающих при изменяющейся нагрузке.

Сравнительный анализ КПД и коэффициента мощности асинхронного электропривода на базе двигателя 4А80В4У3 показал, что их средние значения при стохастической нагрузке меньше, чем в установившемся режиме, на $0,05 \div 0,10$ и зависят от характера переходного процесса и от параметров машины. Снижение энергетических показателей приводит к ухудшению теплового состояния двигателя и как следствие снижению надежности и долговечности работы электропривода, а также к снижению эффективности использования электроэнергии.

Перечень ссылок

1. *Копылов И.П.* Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов по спец. "Электромеханика". – 2-е изд., перераб. и доп. / *И.П. Копылов*. – М.: Высш. шк., 1994. – 318 с.
2. *Куваев В.Ю.* О необходимости учёта режима нагрузки электропривода при паспортизации асинхронных двигателей после проведения ремонтно-восстановительных работ / *В.Ю. Куваев, А.В. Николенко* // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 74. – С. 117-121.

Рецензент: А.А. Колб,
канд. техн. наук, проф., НГУ

Статья поступила 18.04.2008