

РЕЖИМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ШИМ

Автор: Г.Я. Иванов, д.т.н., А.Ю. Кузнецов, к.т.н.

Описание: В данной работе рассмотрены вопросы оптимального управления частотно–регулируемой асинхронной машиной малой мощности с широтно–импульсной модуляцией (ШИМ) по минимуму основных электромагнитных потерь.

Источник: Научно-технический журнал: «Вестник Новосибирского государственного аграрного университета».– Новосибирский государственный аграрный университет – 2011, Том 3, Выпуск 19, с. 112-116.

Большой практический интерес представляет задача минимизации потерь энергии в переходных процессах асинхронных частотно-регулируемых электроприводов с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). К настоящему времени в теории частотного управления асинхронными двигателями (АД) сформировался строго обоснованный, в рамках принятых допущений, подход к решению задач управления динамическими режимами, в том числе и задачи управления по минимуму потерь энергии.

Цель работы – вопрос оптимального управления частотно-регулируемой асинхронной машиной малой мощности с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) по минимуму основных электромагнитных потерь.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Электромагнитные потери мощности $\Delta P_{y\dot{i}}$ асинхронного двигателя составляют главную долю от общих потерь мощности [1] (около 80–90% в номинальном режиме) ΔP_{Σ} , а механические потери

$$\Delta P_{\text{мех}} = \Delta P_{\text{мех.н}} \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{н}}} \right)^2 \quad (1)$$

образуют малую часть из общих потерь, зависящую от текущего значения скорости двигателя. Модуляционная составляющая электромагнитных $\Delta P_{\text{э.м.}}$

потерь зависит от модуляционной частоты f_i^* и ширины $\Delta I \delta$ пульсаций модуля обобщенного вектора тока статора I_S . В практических условиях получило широкое распространение регулирование асинхронной машины при минимальных удельных электромагнитных потерях

$$X = \frac{\Delta P_{\text{э.м.}}}{|M^*|} = \min \quad (2)$$

Для стационарного режима частотно-управляемой асинхронной машины при питании от преобразователей частоты с ШИМ, используя следующие соотношения [2]:

$$\left. \begin{aligned} M^* &= k \psi_r \cdot I_1 \cdot \sin \varphi \\ \psi_r &= L_m \cdot I_1 \cdot \cos \varphi \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

получим выражения для вычисления среднего значения электромагнитного момента машины в виде

$$M^* = k \cdot L_m \cdot I_1^2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi, \quad (4)$$

что позволит привести уравнение (2) к виду

$$X = \left[\frac{\left(R_s + 0,005 \frac{P_H}{\eta_H} \right) + \kappa^2 \cdot R_r \cdot \sin^2 \varphi + \Delta P_{\tilde{n}\tilde{o}.i.} \cdot \left(L_m^2 \cdot \cos^2 \varphi + \kappa^2 \cdot L_{\sigma r} \cdot \sin^2 \varphi \right) \cdot \omega_1^{1,3} / \psi_m^2}{\kappa \cdot L_m \cdot |\sin \varphi \cdot \cos \varphi|} \right] = \min \quad (5)$$

где Ψ_r – модуль вектора потокосцепления ротора машины;

L_m – индуктивность намагничивания.

Решение уравнения (5) у разных авторов получено различными методами. Мы используем решение для значений абсолютного скольжения и косинуса угла нагрузки соответствующих режиму минимальных основных электромагнитных потерь машины в виде

$$\beta_0 = \pm \frac{1}{T} \left[\frac{Y_1}{X_1} \right]^{1/2} = \pm \frac{1}{T} \left[\frac{R_s + 0,005 \frac{P_H}{\eta_H} + \Delta P_{\tilde{n}\tilde{o}.i.} \cdot L_m^2 \cdot \omega_1^{1,3} / \psi_{mi}^2}{R_s + 0,005 \frac{P_H}{\eta_H} + \kappa^2 \left(R_r + \Delta P_{\tilde{n}\tilde{o}.i.} \cdot L_{\sigma r}^2 \cdot \omega_1^{1,3} / \psi_{mi}^2 \right)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{1}{\left[1 + \frac{Y}{X_1} \right]^{1/2}} \quad (7)$$

где

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= R_s + 0,005 \frac{P_H}{\eta_H} + \kappa^2 \left(R_r + \Delta P_{\tilde{n}\tilde{o}.i.} \cdot L_{\sigma r}^2 \cdot \omega_1^{1,3} / \psi_{mi}^2 \right) \\ Y_1 &= R_s + 0,005 \frac{P_H}{\eta_H} + \kappa^2 \left(R_r + \Delta P_{\tilde{n}\tilde{o}.i.} \cdot L_{\sigma r}^2 \cdot \omega_1^{1,3} / \psi_{mi}^2 \right) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$L_{\sigma r}$ – индуктивность рассеяния ротора машины;

ψ_{mi} – номинальное значение (в номинальном режиме) угла φ нагрузки (определяется в виде угла между векторами основных гармонических составляющих статорного тока \bar{I}_1 и потокосцепления ротора $\bar{\Psi}_r$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Знак абсолютного скольжения β_0 определяется $\frac{1,2}{0,8}$ знаком развиваемого электромагнитного момента, являясь положительным для двигательного режима ($M^* \geq 0$) или отрицательным для генераторного.

Для асинхронных машин малой мощности в отличие от машин средней и большой мощности при управлении с минимальными основными электромагнитными потерями на практике допустима аппроксимация абсолютного скольжения β_0 электродвигателя некоторым неизменным постоянным значением скольжения [3]. На рис. 1 приведены для электродвигателя 4А90L4 характеристики синуса $\sin \varphi_0$, абсолютного скольжения β_0 и удельных основных электромагнитных потерь мощности X_0 в функции частоты ω_1 с частотным управлением с минимальными основными электромагнитными потерями (обозначены цифрой 1). Здесь же приведены для того же электродвигателя одноименные параметры: $\sin \varphi_H, \beta_H$ (обозначены цифрой 2) соответствующие экономичному закону частотного регулирования (т. е. при постоянстве абсолютного скольжения или угла нагрузки, равных их номинальным значениям: $\beta = \beta_H = const$ и $\varphi = \varphi_H = const$).

$\beta, \% \sin \varphi$

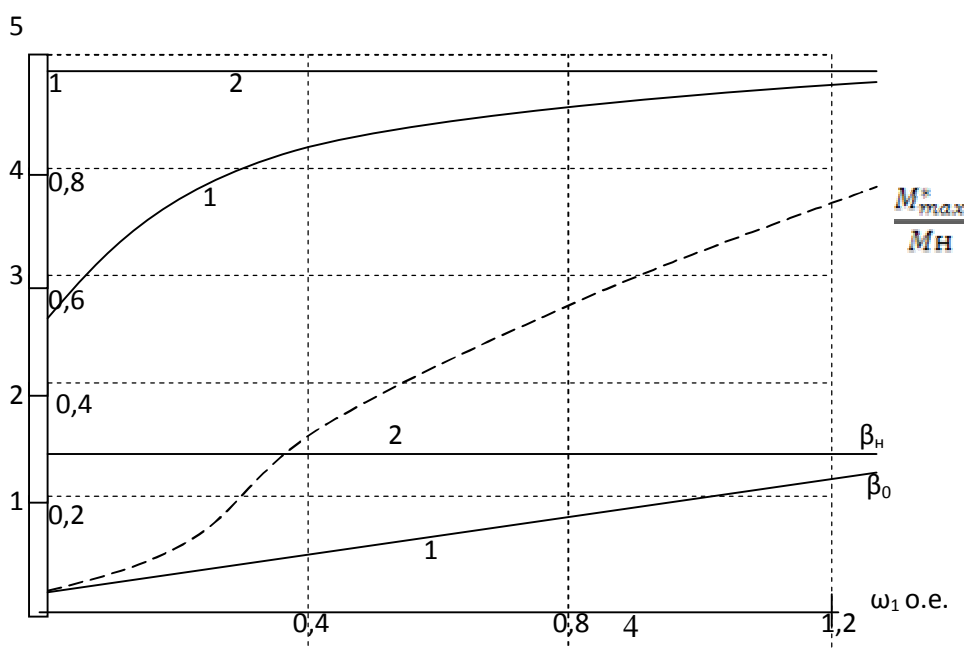


Рис.1. Зависимости параметров режима асинхронной машины абсолютного скольжения β и синуса $\sin \varphi$ угла нагрузки: 1 – с минимальными основными электромагнитными потерями мощности; 2 – для экономичного закона управления.

Если задаться верхней границей изменения модуля потокосцепления ротора $\overline{\psi}_r$ магнитно-ненасыщенной асинхронной машины

$$\psi_r = L_m \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_0 \leq \psi_{ri} \quad , \quad (9)$$

то можно определить диапазон применения электромагнитного момента M^* машины по минимуму основных электромагнитных потерь

$$M^* \leq M_{\max}^* = \frac{\kappa \psi_{ri}^2 |\beta_0|}{R_r} = \frac{\kappa \psi_{ri}^2 |\beta_0 T|}{L_m} = \frac{\kappa \psi_{ri}^2}{L_m} \left[\frac{Y_1}{X_1} \right]^{1/2} \quad , \quad (10)$$

где M_{\max}^* – максимально возможное среднее значение развиваемого электромагнитного момента машины.

Для этого же электродвигателя на рис. 1 пунктирной линией показана зависимость предельно-максимального значения (из условия функционирования без магнитного насыщения машины) электромагнитного момента M_{\max}^* / M_H двигателя в функции ω_1 . При этом из характеристики видно, что указанный двигатель ниже магнитно ненасыщен, а выше данной кривой происходит насыщение главной магнитной цепи двигателя.

Такой подход к расчету основных электромагнитных потерь самым существенным образом влияет на выбор оптимального коэффициента загрузки, который необходимо учитывать в связи с тем, что максимум КПД у АД наступает, когда переменные потери мощности равны постоянным. На рис. 2 приведена расчетная зависимость оптимального коэффициента загрузки от относительной частоты для АД типа 4АМ90L4 мощностью 2,2 кВт.

$K_{3onm}^{o.e.}$

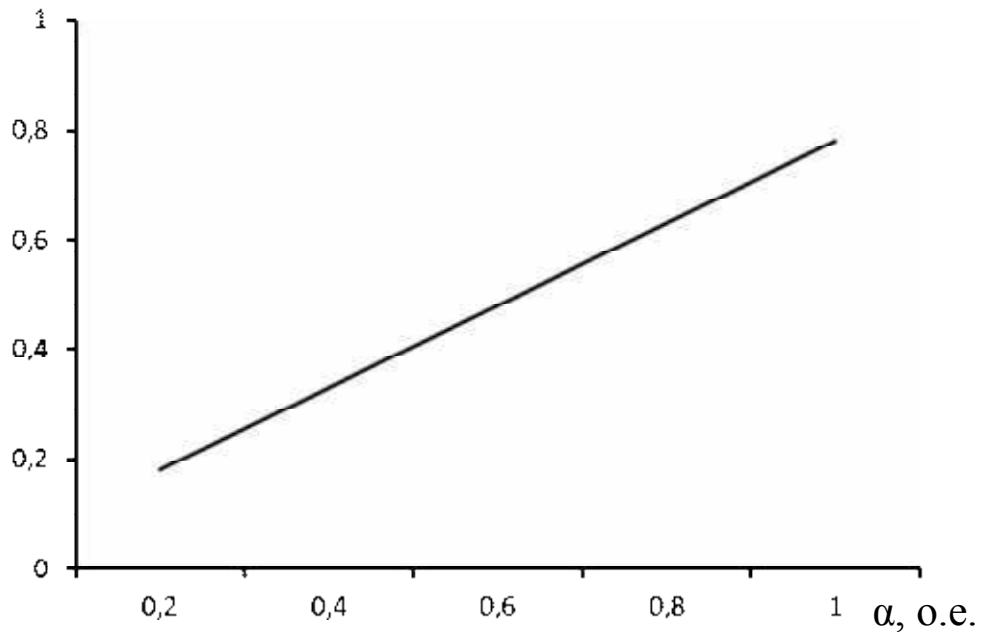


Рис. 2. График изменения оптимального коэффициента загрузки

$$\left(\alpha = \frac{f_1}{f_{1ном}}; M_c = const \right).$$

Расчет проводился для постоянного статического момента и номинального магнитного потока [5]. Анализ графика показывает, что оптимальный коэффициент загрузки однозначно смещается в сторону меньших нагрузок при уменьшении частоты, тем самым уменьшая влияние несинусоидальной формы статорных токов на КПД системы ЭП.

ВЫВОДЫ

1. Характер изменения зависимости $\frac{M_{max}^*}{M_H}$ свидетельствует, что должны быть почти на треть завышены номинальный момент и номинальная мощность двигателя для стационарного режима работы электропривода при номинальной частоте $\omega_1 = 1_{o.e.}$ в частотно-регулируемых по минимуму основных электромагнитных потерь электроприводах.

2. Исследования по рациональной загрузке (60–85% от номинального значения электромагнитного момента или мощности) общепромышленных асинхронных двигателей, исходя из обеспечения их экономичного режима работы проводились многочисленными исследователями, в том числе и В.И. Радиным [1].

3. По мнению авторов, наиболее энергосберегающим (т. е. характеризующимся наименьшими выделяемыми общими потерями мощности в частотно-регулируемой асинхронной машине) является управление по минимуму основных электромагнитных потерь [6]. Такое регулирование по сравнению с экономичным, предложенным М.П. Костенко, обеспечивает снижение общих потерь электродвигателя от долей процента (при частотах ω_1 близких к номинальной) до нескольких раз (при малых частотах ω_1).

4. Во избежание магнитного насыщения асинхронного электродвигателя при управлении по минимуму электромагнитных потерь необходимо, кроме завышения выбранного двигателя по электромагнитному моменту и установленной мощности [7], работать с вентиляторным видом зависимости изменения электромагнитного момента от скорости, так как данное управление характеризуется невысокими значениями диапазонов изменения электромагнитного момента [8]: $M^* \leq \frac{2}{3}M_H$ и скорости: $|\omega| \leq 1_{i.a.}$ асинхронной машины. Кроме того, во избежание магнитного насыщения машины диапазон изменения электромагнитного момента $|M^*|$ еще дополнительно снижается с уменьшением скорости (ω) – в соответствии с кривой, показанной на рис. 1 пунктирной линией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Радин В.И.* Электрические машины / В.И. Радин, Д.Э. Бруснин, А.Е. Зорохович – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.

2. *Шрейнер Р.Т.* Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер. – Екатеринбург: УО РАН, 2000. – 653 с.
3. *Булганов А.А.* Частотное управление асинхронными электродвигателями / А.А. Булганов. – М.: Наука, 1966. – 297 с.
4. *Эпштейн И.И.* Автоматизированный электропривод переменного тока / И.И. Эпштейн. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 192 с.
5. *Волков А.В.* Анализ стационарных режимов асинхронного двигателя при питании от автономного инвертора с широтно-импульсным способом регулирования выходного напряжения / А.В. Волков // Техническая электродинамика. – 1998. – №6. – с. 42–47.
6. *Иванов Г.Я.* Потери мощности асинхронного двигателя при частотном регулировании / Г.Я. Иванов, А.Ю. Кузнецов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего востока. – 2009. – №1. – с. 362–364.
7. *Браславский И.Я.* Асинхронный энергосберегающий электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Академия, 2004. – 256 с.
8. *Соколовский Г.Г.* Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. – М.: Академия, 2006. – 264 с.

UDC: 621.34: 628.18

ENERGY SAVING OPERATION OF ASYNCHRONOUS VARIABLE-FREQUENCY ELECTRIC DRIVE WITH PULSE-WIDTH MODULATION

G.Ya. Ivanov, Doctor of Technical Sc.

A.Yu. Kuznetsov, Candidate of Technique

Novosibirsk State Agrarian University

E-mail: info@mechfac.ru

The article reveals questions of efficient driving variable-frequency asynchronous low power machine with pulse-width modulation by means of getting minimum main electromagnetic losses.

Key words: characteristics of asynchronous electric drive