УДК 621.313.001

А.Р.МУГАЛИМОВА
Магнитогорский государственный технический университет

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ КОМПЕНСИРОВАННЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Традиционный асинхронный двигатель имеет электрический КПД $\eta = 0{,}85 \div 0{,}94$, коэффициент мощности $\cos\varphi = 0{,}7 \div 0{,}85$, энергетический КПД $\eta_{эн} = \eta \cdot \cos\varphi = 0{,}6 \div 0{,}8$. Предлагаемый энергосберегающий компенсированный асинхронный двигатель обладает более высокими энергетическими показателями: $\eta_н = 0{,}85 \div 0{,}94$, $\cos\varphi_н = 1{,}0$, $\eta_{эн} = \eta_н \cos\varphi_н = 0{,}85 \div 0{,}94$.

Conventional induction motors have the electric efficiency of $\eta_n = 0{,}85 \div 0{,}94$, $\cos\varphi_n = 0{,}7 \div 0{,}85$ and the energy efficiency of $\eta_{en} = \eta_n \cos\varphi_n = 0{,}6 \div 0{,}8$. The proposed power saving compensated induction motors is characterized with higher energy indices of $\eta_n = 0{,}85 \div 0{,}94$, $\cos\varphi_n = 1{,}0$, $\eta_{en} = \eta_n \cos\varphi_n = 0{,}85 \div 0{,}94$.

Традиционные асинхронные двигатели (ТАД) – самые распространенные электрические машины. Они используются для электропривода различных рабочих машин, механизмов и агрегатов во всех областях производства уже более 100 лет и ежегодно потребляют до 70 % вырабатываемой электроэнергии.

Вместе с тем ТАД, преобразуя электрическую энергию в механическую, потребляют из электрической сети реактивную мощность индуктивного характера, сравнимую по величине с активной мощностью и преобразуемую в механическую мощность. Поэтому ТАД обладает сравнительно невысоким коэффициентом мощности $\cos\varphi = 0{,}7 \div 0{,}85$. Энергосберегающие свойства ТАД оцениваются так называемым энергетическим КПД $\eta_{эн} = \eta\cos\varphi = 0{,}6 \div 0{,}8$. Потери электрической энергии в электрических сетях составляют 17-22 %, в том числе 13-18 % в электросетях напряжением до 1000 В. Непроизводительные потери электрической энергии всегда ведут к снижению энергоэффективности и конкурентоспособности.

В настоящее время для повышения энергетического КПД электропотребителей используется известная концепция, заключающаяся в применении компенсирующих установок, подключаемых параллельно к электропотребителям. Однако этот подход экономически эффективен для электропотребителей 6/10 кВ и менее эффективен или не эффективен для электропотребителей напряжением до 1000 В.

В данном проекте разрабатываются энергосберегающие индивидуально компенсированные асинхронные двигатели, содержащие на статоре две трехфазные обмотки, одна из которых, рабочая, подключается к электросети, а другая, компенсационная, подключается на конденсаторную батарею [3].

Обратимся к известной Т-образной схеме замещения для одной фазы ТАД (рис.1), где $x_к$ – сопротивление внешнего компенсирующего устройства, подключенного параллельно двигателю; другие, принятые на рис.1, обозначения общеизвестны [2]. Из анализа характера элементов схемы ТАД видно, что он является активно-индуктивным преобразователем электрической энергии. Эквивалентное комплексное сопротивление ТАД

$$Z_э = Z_1 + \frac{Z_m Z_2'}{Z_m + Z_2'} = R_э + jX_э,$$

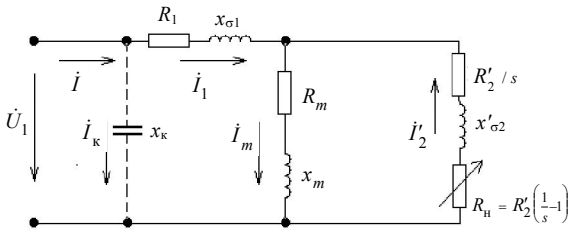


Рис.1. Т-образная схема замещения ТАД

где $Z_1 = R_1 + jx_{\sigma 1}$; $Z_m = R_m + jx_m$; $Z'_2 = (R'_2/s + R_н) + jx'_{\sigma 2}$; $R_э$ – эквивалентное активное сопротивление; $X_э$ – эквивалентное реактивное сопротивление индуктивного характера.

Следовательно, ток $\dot{I}_1$, потребляемый двигателем из электрической сети, всегда будет иметь реактивную и активную составляющие. Он всегда будет отставать по фазе от напряжения на угол φ и всегда cosφ < 1,0. При этом энергетический КПД будет всегда меньше электрического КПД, т.е. $\eta_{эн} = \eta\cos\varphi < \eta$. Внешнее компенсирующее устройство $x_к$, подключенное параллельно двигателю, позволяет компенсировать реактивную составляющую тока $\dot{I}$, протекающего в питающей линии (кабеле), уменьшить электрические потери в ней, но не компенсирует реактивной составляющей тока $\dot{I}_1$, протекающего в обмотке статора. Следовательно, все энергетические показатели ТАД остаются прежними.

Идея увеличения значения энергетического КПД заключается во введении в электромагнитную систему ТАД дополнительного электромагнитного контура, по которому протекал бы ток емкостного характера. Таким электромагнитным контуром может быть дополнительная трехфазная обмотка с сопротивлением емкостного характера. Дополнительная обмотка, называемая компенсационной, размещается в пазах статора. На упрощенной электромагнитной схеме (рис.2) для одной фазы энергосберегающего асинхронного двигателя (ЭАД) с заторможенным ротором (при скольжении ротора s = 1,0) $R_{3н}$, $L_{3н}$, $C_{3н}$ – соответственно активное сопротивление, индуктивность и емкость нагрузки, подключаемой к выходам компенсационной обмотки.

Электромагнитная схема преобразуется в эквивалентную Т-образную схему замещения ЭАД (рис.3), где R'_3 и $x'_{\sigma 3}$ – активное и реактивное сопротивления компенсационной обмотки, приведенные к рабочей обмотке статора; x'_{3c} – емкостное сопротивление компенсирующего конденсатора, приведенное к рабочей обмотке; $Z'_3 = R'_3 + j(x'_{\sigma 3} - x'_{3c})$.

Эквивалентное комплексное сопротивление схемы замещения ЭАД

$$Z_э = Z_1 + \frac{Z_m Z'_2 Z'_3}{Z_m Z'_2 + Z_m Z'_3 + Z'_2 Z'_3} = R_э + jX_э .$$

Из анализа схемы замещения и его эквивалентного сопротивления следует, что при $X_э = 0$ реактивная составляющая тока $I_{1р} = 0$. Ток, потребляемый из электросети, будет иметь только активную составляющую: $I_1 = I_{1а}$. Сдвиг фаз тока I_1 и напряже-

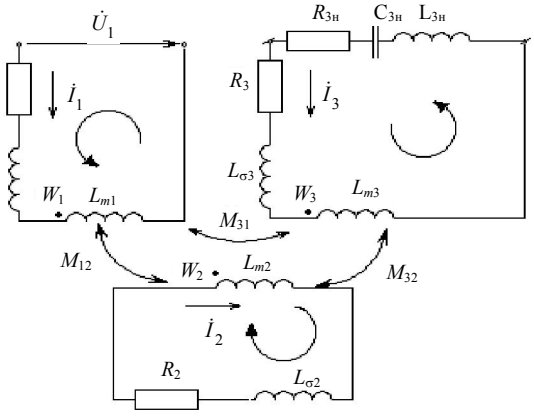


Рис.2. Электромагнитная схема одной фазы ЭАД

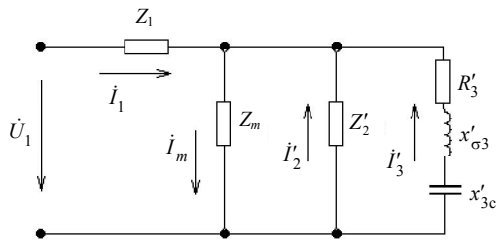


Рис.3. Т-образная схема замещения ЭАД

ния U_1 соответственно φ = 0, cosφ = 1,0. Из условия получения cosφ = 0,95÷1,0 при нагрузке двигателя (0,5-1,0)$P_{2н}$ определяется ожидаемое сопротивление компенсационной ветви Z_3'.

Намагничивающий ток, потребляемый из электросети рабочей обмоткой,

$$I_m = \frac{2{,}22(F_\delta + F_{з1} + F_{з2} + F_{с1} + F_{с2} - I_3 W_{эф3})p}{m_1 W_{эф1}},$$

где F_δ – магнитное напряжение в воздушном зазоре; $F_{з1}$ и $F_{з2}$ – магнитное напряжение в зубцах статора и ротора соответственно; $F_{с1}$ и $F_{с2}$ – магнитное напряжение в станках статора и ротора; $W_{эф1}$ и $W_{эф3}$ – эффективное число витков рабочей и компенсационной обмоток; p и m_1 – число пар полюсов и фаз двигателя соответственно.

Из формулы видно, что ток компенсационной обмотки I_3 емкостного характера оказывает подмагничивающее действие. В результате этого магнитный поток, требуемый для создания необходимой электромагнитной мощности двигателя, возбуждается меньшим по величине током намагничивания.

Разработана методика электромагнитного расчета компенсированного ЭАД, отличающаяся от традиционной методики тем, что главным критерием для создания ЭАД является максимум энергетического КПД, т.е. $\eta_{эн} = \eta\cos\varphi \to \max$. При этом задаются дополнительные требования:

- электрический КПД ЭАД должен быть больше или равен электрическому КПД ТАД;
- масса активных материалов, т.е. меди, электротехнической стали, не должна быть больше, чем в ТАД;
- линейная нагрузка статора ЭАД не должна превышать максимально допустимой линейной нагрузки ТАД с учетом класса изоляции двигателя.

В научно-исследовательском проекте разрабатывается математическое описание ЭАД, пригодное для исследования как статических, так и динамических режимов работы. Приводятся результаты исследований электроприводов, созданных на основе компенсированных ЭАД [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мугалимова А.Р.* Энергосберегающий электропривод нефтяного станка-качалки на основе асинхронного двигателя с индивидуальной компенсацией реактивной мощности // Электромеханические системы и комплексы: Мат. X Междунар. науч.-техн. конф. / ТГТУ. Томск, 2005. С.196-199.

2. *Мугалимова А.Р.* Электрическая схема замещения энергосберегающего асинхронного двигателя с индивидуальной компенсацией реактивной мощности / А.Р.Мугалимова, М.Р.Мугалимова // Молодежь. Наука. Будущее: Сб. науч. тр. студентов / МГТУ. Магнитогорск, 2004. Вып.2. С.239-245.

3. Патент 2112307 RU. МКИ 6H02 K17/28 Асинхронная компенсированная электрическая машина / А.Л.Савицкий, Р.Г.Мугалимов // Открытия. Изобретения. 1998. № 15.

Научный руководитель канд. техн. наук доц. *В.И.Косматов*