

УДК 621.313.3

Мармышев Валерий Витальевич, Романенко Ирина Геннадьевна,
Данилов Максим Иванович

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье приводятся полученные на основе поверочного расчета размеры зубцовой зоны асинхронного двигателя. Рассчитаны рабочие характеристики двигателя при различных сочетаниях измененных параметров зубцовой зоны. Изменялась ширина и высота пазов статора и ротора, а также величина воздушного зазора. Проведен анализ рабочих характеристик, полученных после коррекции зубцовой зоны. Установлено, что наибольшее влияние на рабочие характеристики оказывает изменение размеров паза ротора.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, рабочие характеристики, поверочный расчет, зубцовая зона.

Valery Marmyshev, Irina Romanenko, Maksim Danilov

THE ANALYSIS OF TOOTH AREA CHARACTERISTIC INFLUENCE ON WORKING CHARACTERISTICS OF ASYNCHRONOUS MOTOR

The proportions of asynchronous motor tooth area were calculated based on verifying computation. The motor working characteristics with varied combination of modified tooth area characteristic were calculated. The slot width and height of stator and rotor, the air-gap value were modified. The analysis of working characteristics, obtained after tooth area configuration changing, was produced. It was determined, that rotor slot proportions influence on working characteristics is the largest.

Key words: asynchronous motor; working characteristics; verifying calculation, tooth area.

На сегодняшний день одна из наиболее значимых проблем электроэнергетики – повышение эффективности работы асинхронных двигателей. Как показывают последние исследования, около 60 % потребляемой в промышленности электроэнергии приходится на асинхронные машины. Столь высокое число асинхронных двигателей обусловлено их высокой надежностью, простотой изготовления и низкой ценой. Причина пристального внимания к энергоэффективности асинхронных двигателей кроется в повышении их энергопотребления при изменении условий эксплуатации (снижении нагрузки на двигатель, неэффективного использования материалов при изготовлении электрических машин), что приводит к существенному снижению КПД двигателей и значений выдаваемой ими мощности.

Одним из способов улучшения характеристик двигателя является корректировка зубцовой зоны [1]. В данной работе рассматривается проводившееся изменение геометрических размеров пазов статора, ротора и воздушного зазора между ними.

При проведении исследований влияния конструктивных параметров на энергоэффективность асинхронного двигателя использовалось специально разработанное для этого программное обеспечение, реализованное на языке Object Pascal. Алгоритм программы базируется на поверочном расчете асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором [2]. В программе автоматизированы все этапы расчета, включая выбор сечений и расчетных параметров из справочных таблиц, а определение величин из графиков зависимостей реализуется методом кубических сплайнов.

Исходными данными для анализа являются:

- номинальная мощность двигателя;
- номинальная частота вращения;
- номинальное напряжение;
- степень защиты асинхронной машины.

Для проведения анализа влияния конструктивных параметров на энергоэффективность асинхронного двигателя алгоритм поверочного расчета был дополнен функцией «режим разработчика». Данная функция позволяет на этапе проектирования скорректировать исследуемые параметры и оценить их влияние на основные режимные характеристики двигателя: потребляемую мощность и мощность на валу двигателя, ток двигателя, коэффициент мощности, скольжение и КПД.

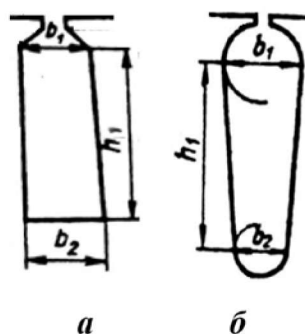


Рис. 1. Схема паза статора (а) и ротора (б)

Анализ влияния данных параметров проводился на примере расчета асинхронного двигателя с параметрами: активная мощность на валу двигателя $P = 15$ кВт, номинальная частота вращения $n = 1500$ об./мин, номинальное напряжение $U = 220 / 380$ В, степень защиты IP44. Параметры пазов статора и ротора, а также величина воздушного зазора изменялись на $\pm 5\%$ от исходных значений, полученных в ходе поверочного расчета (таблица 1). Вычисления проводились при различном сочетании меняемых параметров (таблица 2):

- изменение только паза статора;
- изменение только величины воздушного зазора;
- изменение только паза ротора;
- изменение паза статора и воздушного зазора;
- изменение паза ротора и воздушного зазора;
- изменение пазов статора и ротора;
- одновременное изменение всех параметров;

Таблица 1

Исходные параметры зубцовой зоны асинхронного двигателя

Геометрические размеры зубцовой зоны	Статор	Ротор	Воздушный зазор
b_1 , мм	7,6	7,7	
b_2 , мм	10,0	5,4	
h_1 , мм	18,5	14,1	
δ , мм			0,5

Результаты расчетов рабочих характеристик при различных сочетаниях исследуемых параметров зубцовой зоны, сниженных на 5 %, приведены в таблице 3. Все величины представлены для полезной мощности, соответствующей номинальному значению.

Таблица 2

Значения параметров зубцовой зоны, сниженные на 5%

Геометрические размеры зубцовой зоны	Статор	Ротор	Воздушный зазор
b_1 , мм	7,2	7,3	
b_2 , мм	9,5	5,1	
h_1 , мм	17,6	13,4	
δ , мм			0,4

Таблица 3

Результаты расчетов рабочих характеристик при различных сочетаниях исследуемых параметров зубцовой зоны, сниженных на 5%

Параметры рабочих характеристик	Сочетания изменяемых параметров							
	Эталон	Статор	Зазор	Ротор	Статор-Зазор	Ротор-Зазор	Статор-ротор	Статор-ротор-зазор
s	0,0366	0,0369	0,0370	0,0406	0,0372	0,0410	0,0409	0,0412
I_1 , А	29,24	29,38	29,12	29,39	29,19	29,25	29,50	29,30
P_1 , кВт	17,16	17,19	17,19	17,24	17,19	17,26	17,27	17,00
η , %	87,5	87,4	87,4	87,1	87,4	87,0	87,0	87,0
$\cos \varphi$	0,889	0,887	0,894	0,889	0,892	0,894	0,887	0,892

Анализ полученных результатов (таблица 3) показал, что уменьшение геометрических размеров паза на 5 % приводит к увеличению номинального скольжения на 6,5 %, что ведет к увеличению потерь мощности. Также при этом увеличивается рабочий ток на 0,2 % и подводимая мощность на 0,4 %. Увеличение этих параметров способствует снижению эффективности использования двигателя при данных габаритах. Дальнейшее уменьшение геометрических параметров паза и воздушного зазора также не будет иметь положительного эффекта и отрицательно скажется на энергоэффективности двигателя.

На рис. 2 представлена зависимость мощности на валу двигателя от скольжения. Из рисунка видно, что наибольшее снижение полезной мощности как одной из рабочих характеристик происходит при одновременном уменьшении размеров пазов статора, ротора и воздушного зазора, причем наибольший вклад вносит геометрия паза ротора.

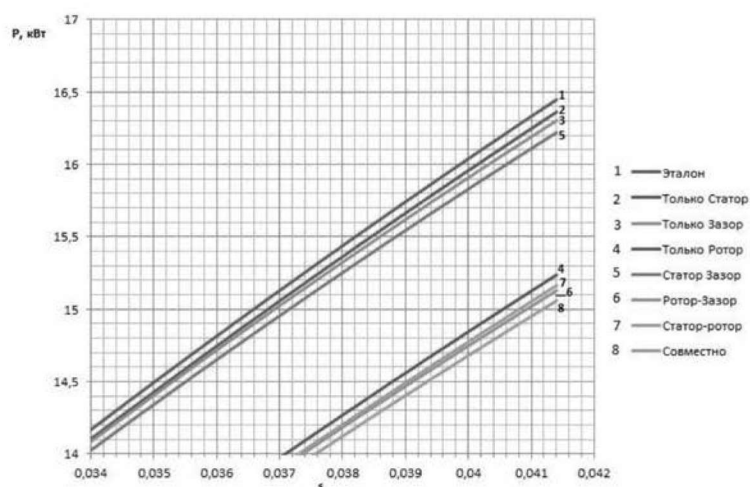


Рис. 2. Зависимость мощности на валу двигателя от скольжения

Аналогичные расчеты были проведены при увеличении геометрических размеров паза и воздушного зазора на 5 %. Результаты приведены в таблице 4. Все величины представлены для полезной мощности, соответствующей номинальному значению.

Таблица 4

**Результаты расчетов рабочих характеристик при увеличении
исследуемых параметров зубцовой зоны на 5%**

Параметры рабочих характеристик	Сочетания изменяемых параметров							
	Эталон	Статор	Зазор	Ротор	Статор-Зазор	Ротор-Зазор	Статор-ротор	Статор-ротор-зазор
s	0,0366	0,0364	0,0365	0,0331	0,0313	0,033	0,0329	0,0328
I_1 , А	29,25	29,17	29,54	29,14	26,14	29,43	29,06	29,35
P_1 , кВт	17,16	17,15	17,18	17,10	15,12	17,11	17,08	17,10
P , кВт	15,00	15,01	15,01	15,01	13,34	15,01	15,00	15,01
η , %	87,5	87,5	87,4	87,8	88,2	87,7	87,8	87,8
$\cos \varphi$	0,889	0,891	0,881	0,889	0,876	0,881	0,891	0,883

Анализ полученных в ходе расчета результатов показал, что снижение скольжения в отдельных случаях составляло 11 %, а среднее его уменьшение для различных способов составило 6,6 %, что благоприятным образом отразится на снижении потерь мощности в двигателе. Одновременно с этим снижение значение рабочего тока составило 0,64 %, подводимой мощности – 0,42 %. Таким образом, предложенные изменения способствуют улучшению энергетических показателей двигателя.

На рис. 3 представлена зависимость мощности на валу двигателя от скольжения. Из рисунка видно, что наибольшее увеличение полезной мощности происходит при одновременном увеличении размеров пазов статора, ротора и воздушного зазора, причем наибольший вклад вносит геометрия паза ротора.

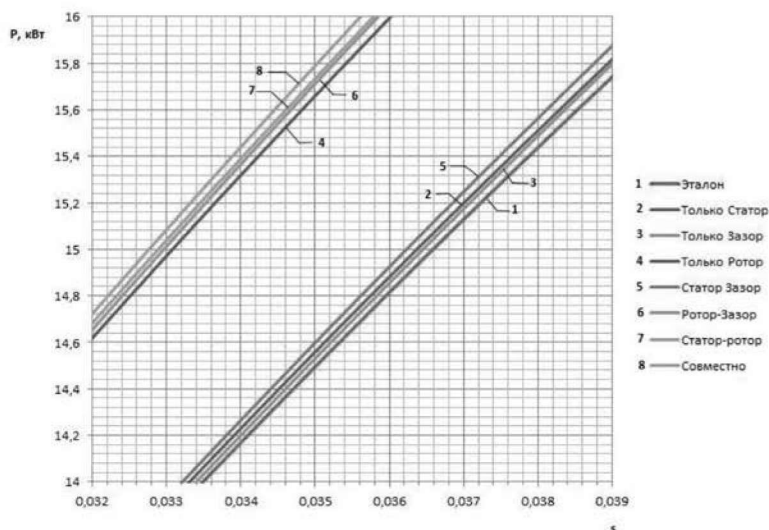


Рис. 3. Зависимость мощности на валу двигателя от скольжения

На рис. 4 представлены зависимости тока двигателя, потребляемой мощности и коэффициента мощности от скольжения для двух случаев: при исходных размерах зубцовой зоны (I_1 , P_1 , $\cos \varphi$, s) и при одновременном увеличении исследуемых геометрических параметров на 5% (I_1 , P_1 , $\cos \varphi$, s). Также было рассчитано, что в этом случае при скольжении, соответствующем номинальному значению двигателя с исходными параметрами, мощность на валу двигателя увеличивается с 15 кВт до 16,3 кВт, что составляет 8,7 %.

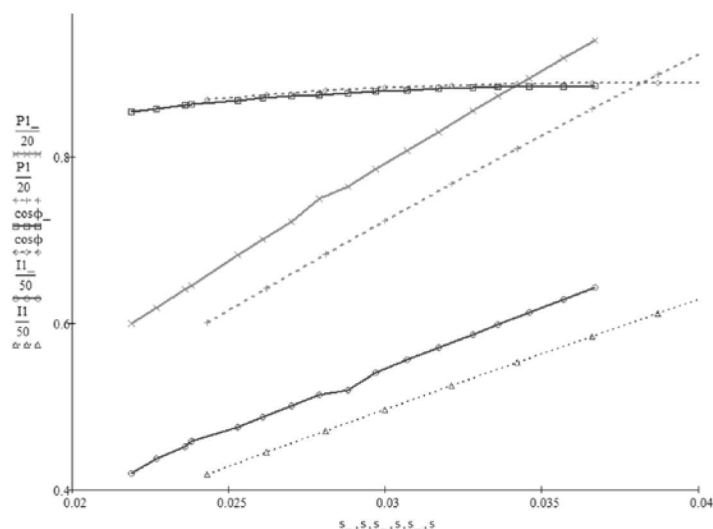


Рис. 4. Зависимость расчетных параметров двигателя от скольжения

Кроме рабочих характеристик, предложенные изменения позволяют снизить среднее превышение температуры обмотки статора температуры окружающей среды с $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $136\text{ }^{\circ}\text{C}$ (предельная допустимая температура для изоляции обмотки класса $F = 155\text{ }^{\circ}\text{C}$), что повышает эффективность и надежность работы асинхронного двигателя и увеличивает срок его службы.

Учитывая, что наибольшее влияние на рабочие характеристики оказывает изменение размеров паза ротора, были проведены расчеты для двух случаев: 1) при одновременном увеличении ширины паза ротора на 5 % ($b_1 = 8,1\text{ мм}$, $b_2 = 5,7\text{ мм}$) и уменьшении высоты паза ($h_1 = 13,4\text{ мм}$); 2) при одновременном уменьшении ширины паза ротора на 5% ($b_1 = 7,3\text{ мм}$, $b_2 = 5,1\text{ мм}$) и увеличении высоты паза ($h_1 = 14,8\text{ мм}$). Такие изменения позволяют сохранить исходную площадь паза без существенных изменений. Результаты представлены на рис. 5.

На рис. 5 кривая 2 соответствует первому случаю, кривая 4 – второму. Для сравнения на рисунке также представлена характеристика, соответствующая исходной геометрии зубцовой зоны (кривая 3), и характеристика, полученная при одновременном увеличении параметров паза статора, ротора и воздушного зазора (кривая 1).

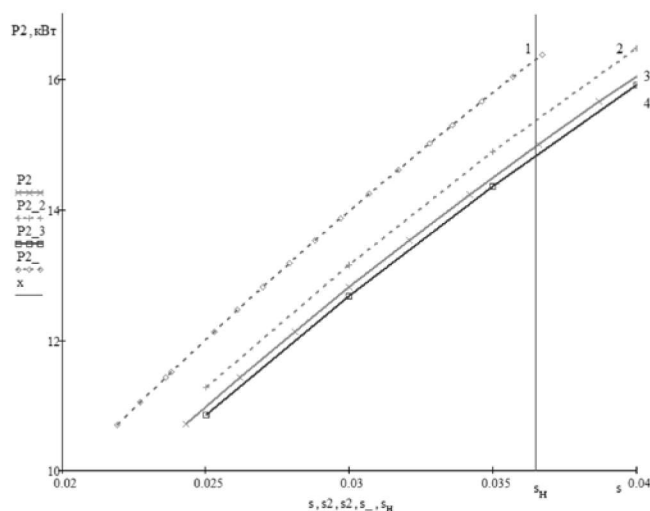


Рис. 5. Зависимость мощности на валу двигателя от скольжения при измененных размерах паза ротора

Из рис. 5 видно, что второе предложенное сочетание неэффективно, т. к. при одном и том же скольжении имеется снижение полезной мощности. Характеристика, соответствующая первому случаю (2), позволяет повысить выдаваемую мощность при номинальном скольжении с 15 кВт до 15,4 кВт, что составляет 2,7 %.

Литература

1. Романенко И. Г., Юдина О. И. Анализ влияния геометрии зубцовой зоны статора на рабочие характеристики погружного асинхронного двигателя // Вестник СКФУ. 2015. № 5. С. 26–31.
2. Проектирование электрических машин / под ред. И. П. Копылова. 3-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 2002. 757 с.

УДК 535.37:546.442

Марьина Ульяна Андреевна, Марьин Александр Петрович,
Воробьев Виктор Андреевич

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ $\text{CaSnO}_3 : \text{Yb}^{3+}, \text{RE}^{3+}$ ($\text{RE} = \text{Er}, \text{Ho}, \text{Tm}$)

В качестве объекта исследования выступает люминесцентная система $\text{CaSnO}_3 : \text{Yb}^{3+}, \text{RE}^{3+}$, где RE^{3+} – редкоземельные элементы Er, Ho, Tm. Образцы синтезированы твердофазным методом при температуре 1 250 °С и длительности прокаливания 18 часов. Рентгенофазовый анализ подтвердил формирование фазы CaSnO_3 со структурой решетки, характерной для типа «перовскит». Исследованы спектры возбуждения и спектры люминесценции образцов. Обнаружена люминесценция в видимой и ближней ИК-областях электромагнитного спектра при возбуждении вещества излучением в диапазоне от 260 до 650 нм и лазером с длиной волны 960 нм. Установлена зависимость интенсивности люминесценции образцов от концентраций всех активаторов.

Ключевые слова: люминесценция; перовскитоподобные станнаты; CaSnO_3 ; твердофазный синтез; редкоземельные элементы.

Uliana Mar'ina, Aleksandr Mar'in, Viktor Vorob'ev

SYNTHESIS AND STUDY OF LUMINESCENT PROPERTIES OF SYSTEM $\text{CaSnO}_3 : \text{Yb}^{3+}, \text{RE}^{3+}$ ($\text{RE} = \text{Er}, \text{Ho}, \text{Tm}$)

As an object of a research the luminescent system $\text{CaSnO}_3 : \text{Yb}^{3+}, \text{RE}^{3+}$ where RE^{3+} – the rare-earth elements Er, Ho, Tm is used. The samples are by a solid-phase method at a temperature of 1 250 °C and duration of calcination of 18 hours synthesized. The X-ray phase analysis confirmed formation of the phase CaSnO_3 with the lattice structure characteristic to the «perovskite» type. The spectra of the excitation and luminescence spectra of the samples were analyzed. The luminescence in visible and short-range IR-areas of an electromagnetic range in case of substance excitation by radiation in the range from 260 to 650 nm and the laser with wavelength of 960 nm was detected. Dependence of intensity of a luminescence of samples on concentration of all activators is set.

Key words: luminescence; perovskite-like stannates; CaSnO_3 ; solid-phase synthesis; rare-earth elements.

Поиск материалов, способных преобразовывать энергию из видимого и ближнего ИК-диапазона спектра в излучение с большей длиной волны, является актуальной научной задачей. Скрытое, не видимое глазу излучение ближнего (740–1500 нм) и среднего (1500–5600 нм) ИК-диапазонов применяется для создания «люминесцентных меток» при маркировке документов и ценных бумаг с целью их защиты от подделки, в качестве активных сред для лазеров, генерирующих в ИК-диапазоне, в различных фотопреобразователях, в военной и медицинской технике и т. д. [4, 6].