

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ОТКЛЮЧАЕМОЙ ПУСКОВОЙ ОБМОТКОЙ

Показано, что свойства однофазного асинхронного двигателя с отключаемой пусковой обмоткой можно значительно улучшить без его переделки, оставив его пусковую обмотку после пуска включенной в сеть через конденсатор небольшой емкости. Предложенную схему целесообразно использовать как для двигателей, находящихся в эксплуатации, так и при их проектировании.

Ключевые слова: однофазный двигатель, конденсатор, энергоэффективность, магнитное поле, нагрев.

В таких бытовых устройствах как холодильники, кондиционеры, бытовые вентиляторы, настольные сверлильные и точильные станки, соковыжималки и др., применяются однофазные асинхронные двигатели (АД) с отключаемой пусковой обмоткой [1]. Такая обмотка используется только при пуске двигателя, а потом отключается. Вращающееся магнитное поле при пуске создается токами в рабочей и пусковой обмотках, а сдвиг во времени между токами создается повышенным активным сопротивлением пусковой обмотки. Повышают активное сопротивление пусковой обмотки, наматывая ее более тонким, чем рабочую проводом. Пусковую обмотку располагают в зубцовой зоне двигателя со сдвигом относительно рабочей обмотки на 90 электрических градусов, как показано на рисунке 1.

Чтобы магнитное поле при пуске было ближе к круговому, пусковую обмотку выполняют с уменьшенным числом витков. Тогда ток в пусковой обмотке при пуске будет сопоставим с током в рабочей обмотке. Но столь большой ток быстро нагревает обмотку из тонкого провода и ее через несколько секунд после включения отключают.

Получается так: пусковая обмотка занимает место, а используется лишь несколько секунд при пуске. Поэтому мощность, приходящаяся на единицу массы или единицу объема, у двигателя с отключаемой пусковой обмоткой оказывается меньше, чем у трехфазного двигателя или однофазного с неотключаемой конденсаторной обмоткой [2].

«Заставить» работать пусковую обмотку все время работы электродвигателя позволяет использование схемы, представленной на рисунке 2.

Пускается двигатель как обычно. Конденсатор в этой схеме после разрыва подпружинен-

ного контакта обеспечивает угол сдвига между токами в рабочей и пусковой обмотках и одновременно ограничивает ток в пусковой обмотке до безопасной с точки зрения ее нагрева величины. Емкостный ток пусковой обмотки небольшой и не создает достаточный пусковой момент.

А после обычного пуска, после отключения подпружиненного контакта, этот ток создает дополнительный вращающий момент. Обмотка «работает». Энергоэффективность двигателя возрастает.

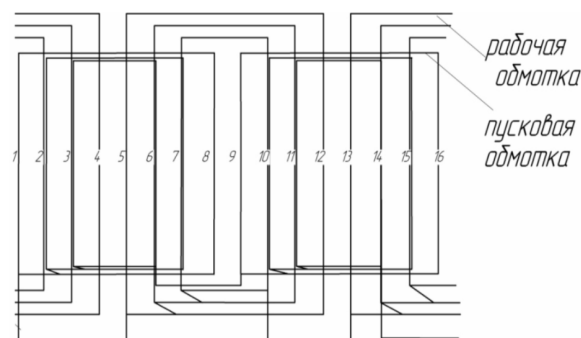


Рисунок 1. Фрагмент схемы однослойной концентрической обмотки однофазного электродвигателя с отключаемой пусковой обмоткой, $2p=4$, $Z=32$

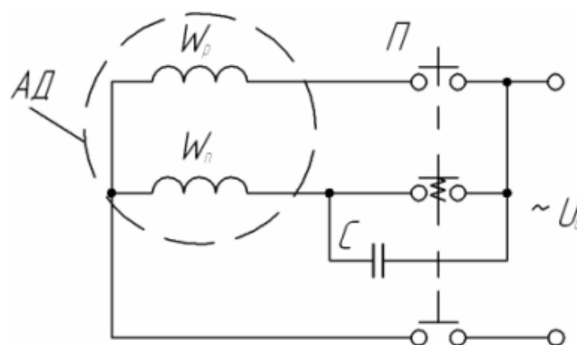


Рисунок 2. Принципиальная электрическая схема исследуемого однофазного электродвигателя

Проведенная экспериментальная проверка показала повышение энергоэффективности. Испытывался двигатель с номинальной мощностью 180 Вт, с синхронной частотой вращения 1500 об/мин. Емкость конденсатора рассчитывалась исходя из одинаковости плотностей тока в рабочей и пусковой обмотках по соображениям нагрева и составила в опыте 4 мкФ. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

В эксперименте сравнивались такие режимы работы двигателя:

- с отключаемой пусковой обмоткой и по схеме рисунка 2 при одинаковой мощности на валу (первые две строки таблицы);

- с отключаемой пусковой обмоткой по схеме рисунка 2 одинаковые потребляемые из сети токи (первая и третья строки таблицы).

Электрическая схема эксперимента представлена на рисунке 3.

По результатам эксперимента построена векторная диаграмма токов и напряжений (см. рисунок 4). На диаграмме введены следующие обозначения векторов:

U_c – напряжение сети;

U_k – напряжение на конденсаторе;

$U_{к0}$ – напряжение на конденсаторной обмотке;

$I_{с0к}$ – ток, потребляемый из сети рабочей обмоткой при отключенной пусковой обмотке;

$I_{к0}$ – ток в пусковой обмотке, включенной последовательно с конденсатором;

$I_{о0}$ – ток, потребляемый из сети рабочей обмоткой при включении через конденсатор пусковой обмоткой;

I_c – ток, потребляемый из сети АД при включении пусковой обмотки через конденсатор;

φ_1 – угол между напряжением сети и током при отключенной пусковой обмотке;

φ_2 – угол между напряжением сети и током АД с включенной через конденсатор пусковой обмоткой.

Как видно из таблицы 1 и векторной диаграммы при первом сравнении, т. е. при одинаковой мощности на валу, потребляемый из сети

ток и мощность уменьшились: ток на 12,82%, а мощность на 7,41%. КПД двигателя возрос на 3,3%. Мощность на валу, приходящаяся на единицу массы двигателя, возросла с 16,46 Вт/кг до 19,0 Вт/кг. Использование схемы рис. 2, также заметно повышает коэффициент мощности.

Значительное улучшение энергетики АД объясняется изменением распределения магнитного поля в воздушном зазоре. Исследова-

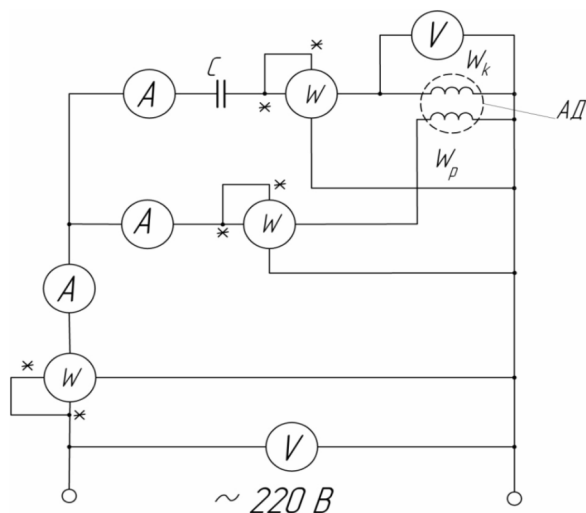


Рисунок 3. Электрическая схема эксперимента

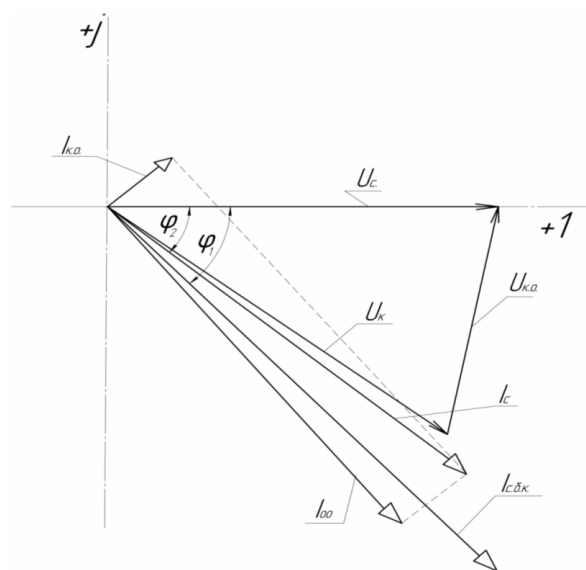


Рисунок 4. Векторная диаграмма токов и напряжений АД

Таблица 1

№ опыта	P_1 , Вт	I_p , А	I_n , А	I_1 , А	P_2 , Вт	$\cos \varphi$, о.е.	КПД, о.е.	P_2/m , Вт/кг	n , об/мин
1	270	1,95	–	1,95	115,2	0,629	0,427	16,46	1425
2	250	1,65	0,3125	1,7	115,2	0,668	0,46	16,46	1454
3	300	1,85	0,3075	1,95	132,86	0,7	0,443	19,0	1454

ние магнитного поля производилось косвенным методом, т. е. по величине ЭДС, наводимой в проводниках, навитых на каждый зубец статора, при работе двигателя под нагрузкой. Затем строилась круговая диаграмма распределения магнитного поля машины вдоль расточки статора. Круговая диаграмма представлена на рисунке 5. Вдоль окружности указаны номера зубцов статора.

Во всех проводимых опытах поддерживалась постоянная нагрузка на валу двигателя, которую создавал генератор постоянного тока, подключенный через реостат.

На рисунке 5 видно, что магнитное поле машины далеко не круговое и даже не эллиптическое.

При подключении пусковой обмотки с конденсатором происходит сглаживание резких перепадов, кривая становится похожей на окружность. Подбором величины емкости в пусковой обмотке изменяется форма кривой поля. Оптимальной емкостью при экспери-

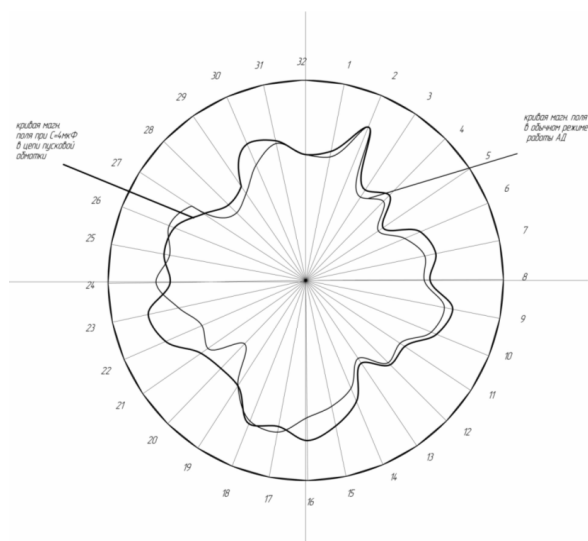


Рисунок 5. Круговая диаграмма распределения магнитного поля в расточке статора двигателя в различных режимах работы

ментальном исследовании стала величина в 4 мкФ.

На диаграмме наблюдаются скачки магнитного поля в местах перехода его с 8-го на 9-й паз, с 16-го на 17-й паз, с 24-го на 25-й паз, с 1-го на 2-й. Это объясняется тем, что протекает ток не только по рабочей обмотке, но и по пусковой обмотке и создает магнитный поток в тех местах диаграммы, где создаются провалы в кривой магнитного поля.

Если круговую диаграмму поля представить в виде графика в декартовой системе координат, то при сравнении кривой распределения поля в АД с отключаемой пусковой обмоткой обычной машины и АД с работающей пусковой обмоткой выясняется, что среднее уменьшение амплитуды пульсации поля при емкости в 4 мкФ снижается на 10,9%, при емкости в 6 мкФ – на 18,8%, а при емкости в 8 мкФ – на 28,2%.

Производилась оценка влияния величины емкости в цепи пусковой обмотки на нагрев машины. При помощи электронного лазерного термометра измерялась температура поверхностей лобовых частей обмоток. Сначала производился опыт, когда АД работал под нагрузкой в течение часа с отключенной пусковой обмоткой. Затем АД работал с постоянно включенной пусковой обмоткой, емкость в цепи которой составляла 4 мкФ, 6 мкФ и 8 мкФ соответственно. Результаты исследования нагрева АД приведены в таблице 2.

Из проведенных опытов видно, что использование конденсатора снижает и выравнивает температуры пусковой и рабочей обмоток. Измерение средней температуры обмоток двигателя производилось по величине активного сопротивления обмоток [3]. Сопротивления обмоток до начала работы двигателя составили: $R_{пуск} = 23,7 \text{ Ом}$, $R_{осн} = 11,4 \text{ Ом}$, а после его часовой работы с конденсатором емкостью 4 мкФ

Таблица 2

Емкость конденсатора	Температура обмоток и корпуса двигателя, °С			
	0	4 мкФ	6 мкФ	8 мкФ
Поверхность лобовой части пусковой обмотки	58	52,5	51	60
Поверхность лобовой части рабочей обмотки	60	52,5	51	60
Поверхность алюминиевого корпуса	40	39	38	40
Средняя температура рабочей обмотки	81	78,2	–	–
Средняя температура пусковой обмотки	67,8	67,7	–	–

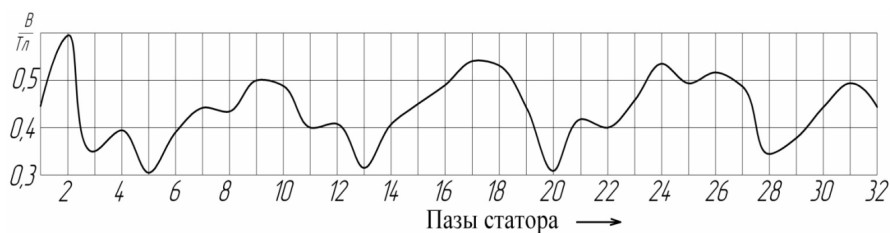


Рисунок 6. Кривая распределения магнитного поля однофазного АД

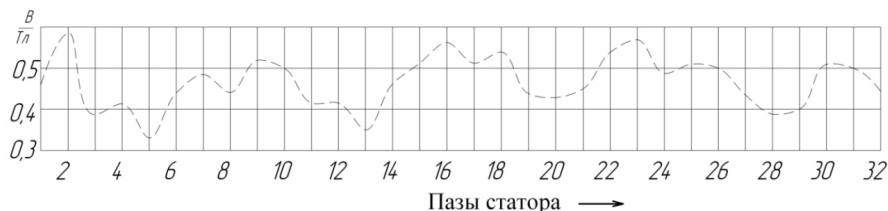


Рисунок 7. Кривая распределения магнитного поля однофазного АД с работающей пусковой обмоткой, емкость в цепи которой 4 мкФ

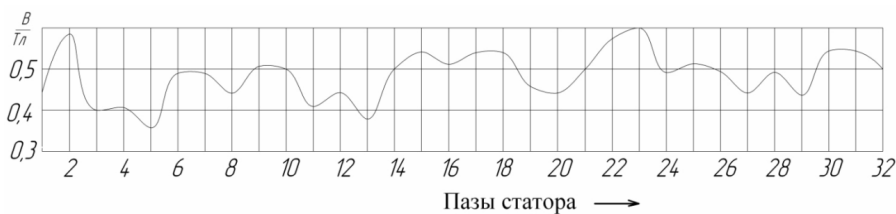


Рисунок 8. Кривая распределения магнитного поля однофазного АД с работающей пусковой обмоткой, емкость в цепи которой 6 мкФ

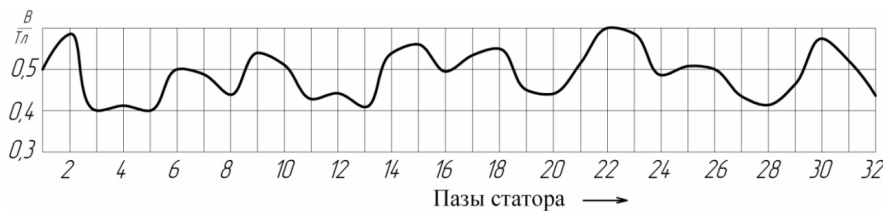


Рисунок 9. Кривая распределения магнитного поля однофазного АД с работающей пусковой обмоткой, емкость в цепи которой 8 мкФ

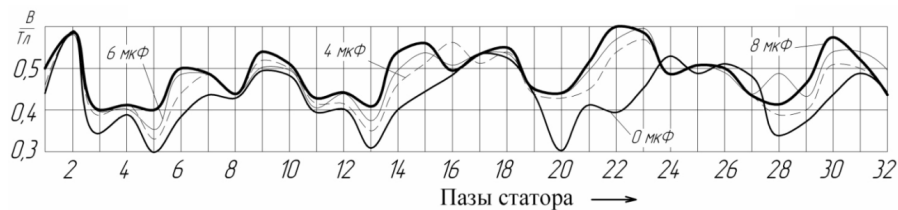


Рисунок 10. Сравнительная характеристика кривых распределения магнитного поля

$R_{\text{пуск}}=28,2 \text{ Ом}, R_{\text{осн}}=13,2 \text{ Ом}$. Средняя температура обмоток определялась по формуле:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{(235 + \theta_2)}{(235 + \theta_1)}, \quad (1)$$

где R_1 – сопротивление не нагретой обмотки при температуре θ_2 ;

R_2 – сопротивление нагретой обмотки при температуре θ_1 ;

$\theta_1=26^\circ\text{C}$, температура не нагретой обмотки.

Использование предложенной схемы включения пусковой обмотки АД привело к улучшению параметров ЭМ. Как видно из таблицы 1, обороты двигателя возросли на 1,5% при одинаковом потреблении из сети тока [4]. Исследование показало снижение тепловыделения в двигателе и выравнивание температур обмоток между собой. Вследствие этого повышается долговечность изоляции обмотки, а следовательно и срок службы самого двигателя.

ля. Из-за снижения тепловых потерь имеет место возрастание КПД двигателя с 42,7% до 46%. Возрастает также коэффициент мощности, что в свою очередь обуславливает снижение потерь в питающей линии.

Эксперимент показал ощутимое повышение энергоэффективности двигателя, под-

ключенного к сети по предлагаемой схеме. Использование конденсатора в этой схеме целесообразно для разрабатываемых приборов и устройств с однофазными асинхронными двигателями с отключаемой пусковой обмоткой, так и в существующих.

18.11.2012

Список литературы:

1. Лопухина, Е. М. Расчет асинхронных микродвигателей однофазного и трехфазного тока / Е. М. Лопухина, Г. С. Сомихина. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1961. – 312 с.
2. Торопцев, Н. Д. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором / Н. Д. Торопцев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 95 с.
3. Коварский, Е. М. Испытание электрических машин / Е. М. Коварский, Ю. И. Янко. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
4. Усманходжаев, Н. М. Методы регулирования скорости однофазных конденсаторных асинхронных двигателей / Н. М. Усманходжаев. – М. : Энергия, 1980. – 116 с.

Сведения об авторах:

Белоусов Андрей Александрович, студент электроэнергетического факультета Оренбургского государственного университета

Саликов Михаил Петрович, доцент кафедры электромеханики электроэнергетического факультета Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
460000, г. Оренбург, Шарлыкское ш., 5, ауд. 15125, e-mail: m.salikov 2011@yandex.ru

UDC 621.313

Belousov A.A., Salikov M.P.

Orenburg state university, e-mail: m.salikov 2011@yandex.ru

INCREASE OF POWER EFFICIENCY OF THE SINGLE-PHASE ASYNCHRONOUS ENGINE WITH THE DISCONNECTED STARTING WINDING

It is shown that properties of the single-phase asynchronous engine with a disconnected starting winding can be improved considerably without its alteration, having left its starting winding after start-up included in a network through the condenser of small capacity. The offered scheme is expedient for using as for the engines which are in operation, and at their designing.

Key words: the single-phase engine, the condenser, power efficiency, a magnetic field, heating.

Bibliography:

1. Lopuhina, E. M. Calculation of asynchronous micromotors of a single-phase and three-phase current / E. M. Lopuhina, G. S. Somihina. – M.-L. : Gosenergoizdat, 1961. – 312 p.
2. Toroptsev, N. D. The three-phase the asynchronous engine in the scheme of single-phase inclusion with condenser / N. D. Toroptsev. – 4 ed. – Moscow : Entrgoatomizdat, 1988. – 95 p.
3. Kovarskiy, E. M. Test electric mashin / E. M. Kovarskiy, Yu. I. Yanko. – Moscow : Entrgoatomizdat, 1990. – 320 p.
4. Usmanhodzhaev, N. M. Method of regulation of speed single-phase condenser asynchronous dvigatelej / N. M. Usmanhodzhaev. – Moscow : Energy, 1980. – 116 p.