

чет интервальных оценок удельных расходных характеристик $\Delta\bar{W}(\Delta\Pi) \pm k\sigma(\Delta W)$, где k – квантиль, определяющий вероятность попадания расчетных данных в диапазон $\Delta\bar{W}(\Delta\Pi) \pm k\sigma(\Delta W)$ (при $k = 3$ все расчетные данные попадут в этот диапазон с вероятностью 0,9973). Определение статического потенциала снижения удельного расхода электроэнергии выполняется на основе интервальной оценки удельных расходных характеристик:

$$\delta(\Delta W_{\text{энергосбер}}) = \Delta\bar{W}(\Delta\Pi_{\text{зад}}) - \Delta\bar{W}(\Delta\Pi_{\text{зад}}) + k\sigma(\Delta W) = k\sigma(\Delta W).$$

Используя данные об удельных расходных характеристиках потребителя, можно производить определение потенциала снижения потребляемой им активной мощности без изменения объемов выпускаемой продукции. Для этого осуществляется расчет приведенных расходных характеристик – зависимость потребляемой активной мощности P , кВт, от производительности – $P(\Delta\Pi)$. Решение поставленной задачи производится в следующей последовательности:

– осуществляется расчет точечной оценки приведенных расходных характеристик $P = \Delta\bar{W}(\Delta\Pi)\Delta\Pi$, далее вычисляется среднее значения потребляемой активной мощности при заданной производительности $\Delta\Pi$:

$$P_{\text{опт}} = \Delta\bar{W}(\Delta\Pi_{\text{зад}})\Delta\Pi_{\text{зад}};$$

– рассчитываются интервальные оценки приведенных расходных характеристик

$$P = [\Delta\bar{W}(\Delta\Pi) \pm k\sigma(\Delta W)]\Delta\Pi,$$

на основании которых определяется возможный диапазон регулирования активной мощности:

$$P = P_{\text{max}}(\Delta\Pi_{\text{зад}}) - P_{\text{min}}(\Delta\Pi_{\text{зад}}) = [\Delta\bar{W}(\Delta\Pi_{\text{зад}}) \pm k\sigma(\Delta W)]\Delta\Pi_{\text{зад}} - [\Delta\bar{W}(\Delta\Pi_{\text{зад}}) - k\sigma(\Delta W)]\Delta\Pi_{\text{зад}} = 2k\sigma(\Delta W)\Delta\Pi_{\text{зад}}$$

и потенциал снижения потребляемой активной мощности:

$$\delta P_{\text{энергосбер}} = P_{\text{опт}} - P_{\text{min}}(\Delta\Pi_{\text{зад}}) = k\sigma(\Delta W)\Delta\Pi_{\text{зад}}.$$

Литература

1. Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов на период до 2011 г.

2. Информационное обеспечение нормирования и режимного взаимодействия электроэнергетической системы с потребителями / В.А. Анищенко, О.И. Александров, В.Н. Радкевич и др. // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объедин. СНГ). – 1997. – № 11–12. – С. 5–11.

УДК 621.3.017

ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И КПД АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Валушко А.О., Иодо Д.Н.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент ГОНЧАР А.А.

В электрических машинах электромеханическое преобразование энергии происходит с обязательным преобразованием части электрической энергии в тепло. Так как эта часть энергии «теряется» в процессе преобразования, ее принято называть потерями, а отношение полезной работы к затрачиваемой – коэффициентом полезного действия (КПД).

Чтобы определить КПД машины, надо, по возможности, точно рассчитать потери. Потери в отдельных ее частях необходимо также знать для определения в них температуры, что влияет на расчет размеров и геометрию основных конструктивных узлов электрических машин. Потери в электрических машинах делятся на основные и добавочные.

К основным потерям относятся электрические потери (потери в меди), магнитные (потери в стали) и механические потери.

Магнитные потери (потери в стали $P_{ст}$), возникают в участках магнитопровода асинхронного двигателя (АД) с переменным магнитным потоком – статоре. Основные потери в стали состоят из потерь на гистерезис и потерь на вихревые токи. Они зависят от марки стали, толщины листов магнитопровода, частоты перемагничивания и индукции. В роторах асинхронных машин частота тока в номинальном режиме небольшая:

$$f_2 = s_n f_1,$$

где s_n – номинальное скольжение;

f_1 – частота тока статора, Гц.

Исходя из этого, потерями в стали ротора пренебрегают.

Механические потери в электрических машинах состоят из потерь на трение в подшипниках, на трение вращающихся частей машины о воздух или газ и потерь на трение в скользящих контактах щетки – контактные кольца, вентиляционные потери. К вентиляционным потерям также относят затраты мощности на циркуляцию охлаждающего воздуха или газа.

Потери на трение и вентиляцию резко увеличиваются в машинах с большим диаметром ротора и большой частотой вращения. Так, в большинстве машин эти потери пропорциональны квадрату частоты вращения и квадрату наружного диаметра статора.

Магнитные и механические потери в большинстве машин не зависят от нагрузки, и они являются постоянными потерями. Обычно это потери холостого хода.

Электрические потери P_3 возникают в проводниках обмоток, соединительных шинах и проводах, в переходных контактах щетки – контактные кольца. Потери в меди обмотки ротора определяются произведением скольжения на электромагнитную мощность.

Электрические потери в обмотках и всех токоведущих частях электрической машины рассчитывают по формуле:

$$P_3 = \sum I_i^2 r_i,$$

где r_i – сопротивление данной обмотки или i -го участка токопровода, по которому протекает ток I_i , Ом.

Электрические потери зависят от нагрузки, поэтому их относят к переменным потерям.

К добавочным потерям относятся потери, которые не были учтены при расчете основных потерь. Они, как правило, меньше основных потерь. Некоторые виды добавочных потерь возникают при холостом ходе (добавочные потери холостого хода) и не изменяются при нагрузке машины, другие появляются только с увеличением нагрузки (добавочными потерями при нагрузке). К добавочным потерям холостого хода относят поверхностные и пульсационные потери. Поверхностные потери возникают из-за пульсаций индукции в воздушном зазоре и характерны для всех машин, имеющих зубчатую поверхность на одной или на двух сторонах воздушного зазора. Пульсационные потери возникают в машинах, имеющих зубцы и на роторе и на статоре как, например, в асинхронных машинах. Они обусловлены пульсациями потока в зубцах, что приводит к появлению вихревых токов в стали зубцов. Данный тип потерь резко возрастает в маши-

нах с большим числом пазов, с большой частотой вращения, а также при увеличении ширины шлица паза и уменьшении воздушного зазора. Это объясняется тем, что в первом случае возрастает частота, а во втором – амплитуда пульсаций индукции в воздушном зазоре и в зубцах магнитопровода.

Добавочные потери при нагрузке возникают как в проводниках обмоток, так и в стали на отдельных участках магнитопровода. Ток нагрузки создает потоки рассеяния, сцепленные с проводниками обмоток. В результате этого в проводниках наводятся вихревые токи, вызывающие добавочные потери. Для машин общего назначения согласно ГОСТ 11828-86 добавочные потери при нагрузке для асинхронных электродвигателей при расчете берут равными 0,5 % потребляемой номинальной мощности. На рисунке 1 показан характер изменения потерь в статоре, роторе и добавочных потерь в функции скольжения.

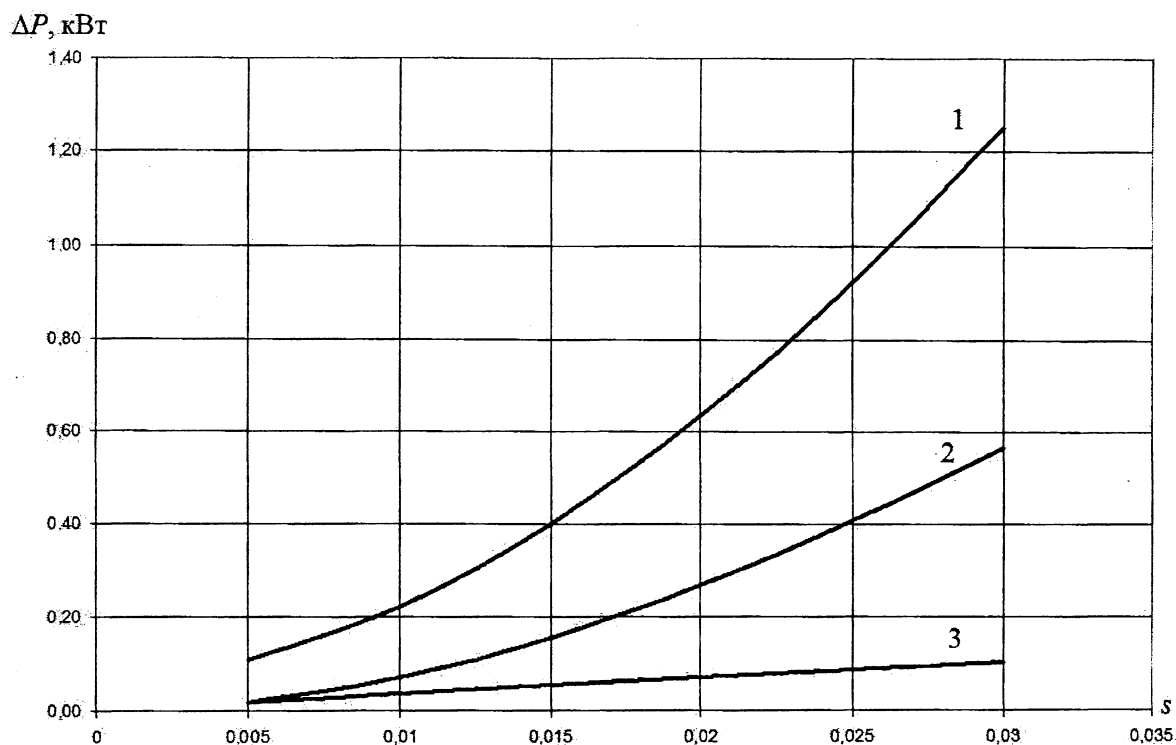


Рис. 1. Потери мощности двигателя: 1 – электрические потери в статоре; 2 – электрические потери в роторе; 3 – добавочные потери

Современные электрические машины имеют высокий КПД. Так, КПД машин мощностью несколько тысяч и более киловатт достигает 95–98 %, мощностью несколько сот киловатт – 88–92 %, мощностью около 10 кВт – 83–88 %. Лишь КПД машин малой мощности, до нескольких десятков ватт, составляет 30–40 %.

КПД электрической машины изменяется с изменением ее нагрузки. При увеличении нагрузки от холостого хода до номинальной КПД сначала быстро увеличивается, достигает максимального значения, после чего несколько снижается. Для оценки нагрузки, при которой КПД будет наибольшим, разделим все виды потерь в машине на три группы: постоянные, не изменяющиеся от нагрузки потери, обозначим для номинального режима P_1 , потери, пропорциональные току, P_2 , потери, пропорциональные квадрату тока, P_3 и введем понятие коэффициента нагрузки:

$$k_{\text{наг}} = \frac{P_2}{P_{2н}}$$

где P_2 – мощность на валу, Вт;

$P_{2н}$ – номинальная мощность ЭД.

Тогда наибольший КПД у электрической машины будет при такой нагрузке, при которой потери, зависящие от квадрата тока $k_{нар}^2 P_3$, будут равны потерям, не зависящим от нагрузки, P_1 . С известным приближением это условие сводится к условию равенства электрических потерь в обмотках сумме механических, вентиляционных и магнитных потерь в машине, что соответствует $k_{нар} = 0,7 - 0,8$. Примерное распределение потерь в четырехполюсном асинхронном двигателе мощностью 1–5 кВт приведено в таблице 1.

Таблица 1. Распределение потерь в четырехполюсном асинхронном двигателе

Потери	% от общих потерь	Факторы, влияющие на потери
Электрические в статоре	35–40	Размер проводников обмотки статора
Электрические в роторе	15–20	Размер проводников (стержней и колец) ротора
Магнитные	15–25	Марка стали, ее толщина и масса
Механические	5–10	Марка подшипников, конструкция подшипникового узла
Добавочные	1–5	Конструкция и технология изготовления двигателя

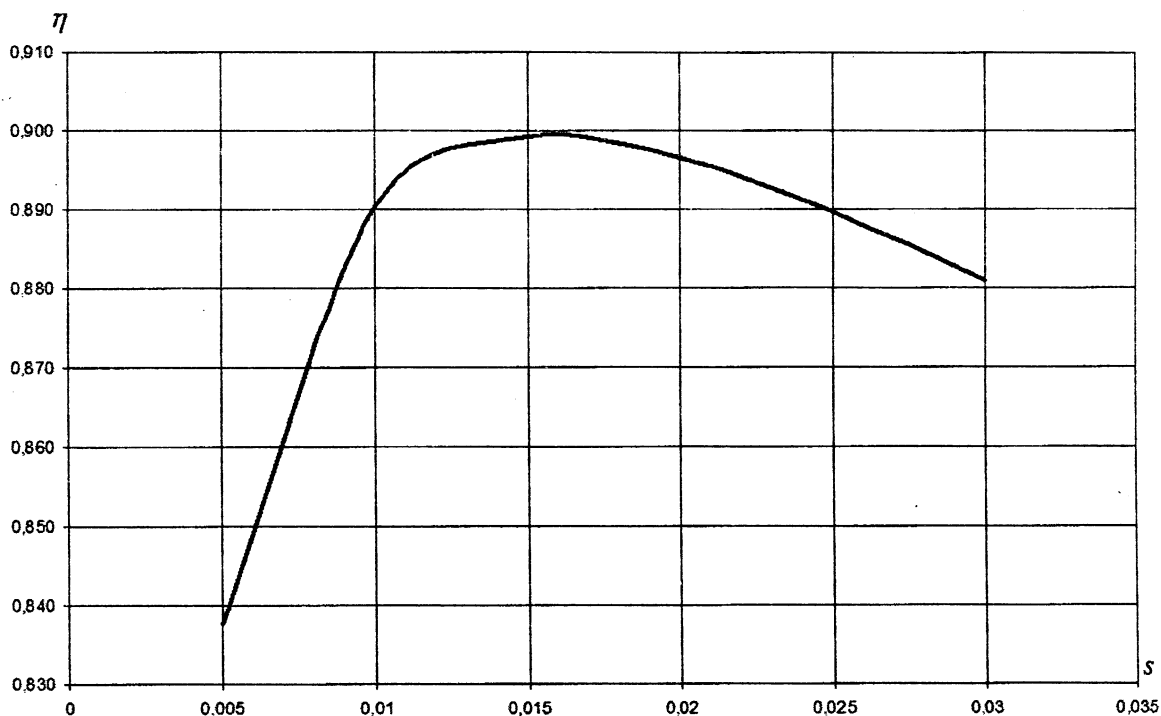


Рис. 2. График изменения КПД при изменении скольжения

При изменении нагрузки электрической машины КПД ее изменяется, как показано на рисунке 2. При холостом ходе $\eta = 0$, так как полезная мощность P_2 отсутствует. При увеличении нагрузки КПД возрастает за счет увеличения P_2 , но одновременно быстрее, чем P_2 возрастают переменные потери $\Delta P_{пер}$, поэтому при некотором токе. Можно также получить условие максимума КПД – он имеет место при такой нагрузке, когда переменные потери равны постоянным.

При увеличении номинальной мощности относительная величина суммарных потерь уменьшается. Следовательно, должен возрастать и КПД машины. Эта закономер-

ность проявляется во всех видах вращающихся электрических машин – машины большей номинальной мощности всегда имеют соответственно и больший КПД и, наоборот, КПД машины малой мощности и микромашин обычно невелик.

Литература

1. Радин В.И., Брускин Д.Э., Зорохович А.Е. Электрические машины: асинхронные машины. – М.: Высшая школа, 1988.
2. Китаев В.Е., Корохов Ю.М., Свиринов В.К. Электрические машины. Ч. 2. Машины переменного тока: учебное пособие для техникумов. – М.: Высшая школа, 1978.
3. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высших технических учебных заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978.
4. Копылов И.П., Клоков Б.К. Проектирование электрических машин: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2002.

УДК 621.313

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА В БЕЛАРУСИ И СТРАНАХ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ

Лапушинская Л.И., Дубовик Е.М.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент ОЛЕШКЕВИЧ М.М.

Ветроэнергетика Беларуси. Беларусь не располагает собственными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР). Лишь 15 % собственных ТЭР покрывают потребности страны, остальные 85 % импортируются – в основном из России. В последние годы наблюдается постоянный рост цен на топливо и импортируемую электроэнергию. Этот рост будет иметь место и далее до достижения мировых цен. В связи с этим для Беларуси чрезвычайно важно включать в топливно-энергетический баланс вторичные энергоресурсы и возобновляемые источники энергии. Одной из важных областей энергетики в Беларуси должна стать ветроэнергетика. Ведь даже, несмотря на нестабильность ресурсных характеристик энергии ветрового потока, проявляющуюся в усилении ветра в дневное время и наличии ветроэнергетических максимумов в холодное время года (рисунки 1), ветер является самым надежным источником энергии в пиковые периоды нагрузки энергосистемы.

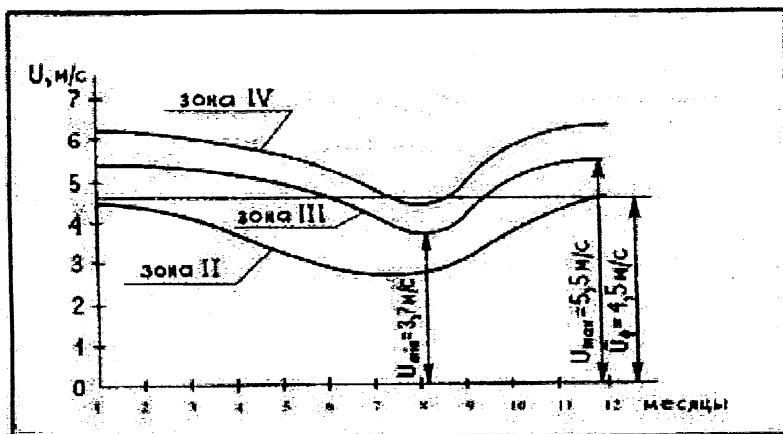


Рис. 1. Годовой ход скорости ветра на территории Беларуси

Ветроэнергетика, как и любая отрасль хозяйствования, должна обладать тремя обязательными компонентами, обеспечивающими ее функционирование: