

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДАПТАЦИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА ГЕНЕРАТОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

И.Г. Топольская, Д.В. Топольский, В.И. Смолин

Южно-Уральский государственный университет
454080 г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76
Тел: (351) 267-90-14, e-mail: tig@susu.ac.ru

Заключение совета рецензентов: 15.01.10 Заключение совета экспертов: 20.01.10 Принято к публикации: 25.01.10

Статья описывает методику определения адаптационных коэффициентов потерь мощности для измерителя вращающего момента генератора ветроэнергетической установки с учетом его собственных параметров. Решается задача выбора алгоритма нахождения коэффициентов, применяемых в измерительном устройстве, работающем в комплексе с электрической машиной. Анализируются возможности достижения современных требований по точности измерения с ошибкой на уровне 3,0%. Предлагаемая методика позволяет достаточно просто адаптировать измерительное устройство к конкретному типу электрических машин.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, генератор, вращающий момент, измеритель вращающего момента, потери мощности, электрическая мощность, механическая мощность.

TECHNIQUE OF DETERMINATION OF ADAPTABLE COEFFICIENT OF POWER LOSSES FOR THE TORQUE METER OF THE WIND TURBINES GENERATOR

I.G. Topolskaya, D.V. Topolsky, V.I. Smolin

South Ural State University
76 Lenina ave., Chelyabinsk, Russia, 454080
Phone: +007 351 2 67 90 14, e-mail: tig@susu.ac.ru

Referred: 15.01.10 Expertise: 20.01.10 Accepted: 25.01.10

This paper describes a technique of determination of adaptable coefficient for a torque meter of the wind turbines generator, taking into account its own parameters. The task of a choice of information processing algorithms in a measuring device, working in a complex with the electrical machine is decided. Possibilities of reaching of the modern requirements for a measurement exactitude with an accuracy of 3.0% are analysed. In many case a similar method of measurement simplifies a mechanical part of the torque meter and improves the dynamic characteristics.

Введение

В настоящее время основная часть электрической энергии вырабатывается на тепловых электростанциях за счет сжигания органического топлива. В этой связи на современном этапе развития энергетики предпринимаются попытки использовать энергию

ветра, солнца, морских течений и других возобновляемых источников энергии. Получение энергии такими способами в больших количествах и с высоким КПД во многом зависит от эффективности электро-механического преобразования энергии. Данный вид преобразования энергии характерен для ветроэнергетических установок.

Из теории электромеханического преобразования энергии известно, что возможность контроля и управления характеристиками электрических машин, используемых в процессе преобразования, позволяет улучшить качество получения электроэнергии. Одним из основных параметров, характеризующих электрические машины, является вращающий момент. Измерение вращающего момента электрической машины становится актуальной задачей при проектировании и использовании электрических машин.

Известные уравнения электромагнитного момента электрических машин содержат трудно контролируемые параметры, в частности магнитный поток, и не учитывают ряд факторов, что затрудняет непосредственное использование их для определения вращающего момента. На практике широко используют методы приближенного определения вращающего момента и мощности на валу электрических машин по их собственным электрическим параметрам. Этому способствует простота технической реализации этих методов. Часто вращающий момент электрических машин определяют по току. В некоторых случаях применяют более сложные оценки, учитывая ток возбуждения машин постоянного тока и скольжение ротора асинхронных машин.

Метод измерения вращающего момента

Предлагаемый метод предназначен для более точного определения вращающего момента электрических машин по их собственным параметрам. Этот метод базируется на контроле за энергетическими преобразованиями, происходящими в электрической машине, и ориентирован на применение в этих целях современных измерительных и вычислительных средств. Алгоритм определения вращающего момента содержит следующие уравнения:

$$P_2 = P_1 \pm \sum \Delta P_i ; \quad (1)$$

$$P_2 = \omega M ; \quad (2)$$

$$M = \frac{P_1 \pm \sum \Delta P_i}{\omega}, \quad (3)$$

где P_2 – механическая мощность на валу машины, P_1 – электрическая мощность, ω – угловая частота вращения, M – вращающий момент, $\sum \Delta P_i$ – сумма потерь мощности, знак «+» соответствует генераторному режиму работы, знак «-» соответствует двигательному режиму работы.

Электрическая мощность P_1 является функцией напряжений и токов электрической машины. Суммарные потери мощности $\sum \Delta P_i$ зависят от многих составляющих. Некоторые из них трудно поддаются учету, однако практически все составляющие потерь в той или иной степени зависят от напряжений, то-

ков или частоты вращения электрической машины. В свою очередь, существуют весьма простые технические средства для измерения напряжений, токов и частоты вращения электрических машин с высокой точностью.

Точный контроль величин P_1 и ω , учет закономерных изменений суммы потерь мощности программными методами, а также оптимизация начальных значений параметров создают вполне реальные предпосылки для достижения современных требований по точности определения вращающего момента электрических машин.

Вышеприведенные рассуждения дают основание предполагать, что существует возможность определять вращающий момент с погрешностью, не превышающей 3%, путем разработки и использования оптимальных алгоритмов учета энергетических преобразований в электрической машине, реализация которых возможна при использовании аналого-цифровой и вычислительной техники. Такой подход для определения вращающего момента электрических машин в дальнейшем изложении будет называться энергетическим.

Проведенный анализ преобразования энергии в электрических машинах показывает, что использование энергетического подхода позволяет получить взаимосвязь между напряжением, током, частотой вращения и конструктивными параметрами машин.

Требуемая точность определения вращающего момента может быть получена в ходе проведения анализа потерь мощности в электрических машинах. Известно, что потери мощности в электрических машинах различаются по своей физической природе, режиму работы, при котором они возникают, а также месту их локализации в различных участках объема машины. Учитывая, что электрическая машина в обычном исполнении является вращающимся электромагнитным преобразователем энергии, в ней возникают механические $P_{\text{мех}}$, электрические $P_{\text{эл}}$ и магнитные потери $P_{\text{магн}}$ [1]:

$$\sum \Delta P_i = \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{эл}} + \Delta P_{\text{магн}}. \quad (4)$$

Проведенные исследования показывают, что существует возможность вычислять потери мощности следующим образом:

$$\Delta P_{\text{эл}} = C_1 I^2 (1 + \alpha(t - t_n)); \quad (5)$$

$$\Delta P_{\text{магн}} = C_2 U^2 \omega^2; \quad (6)$$

$$\Delta P_{\text{мех}} = \omega(C_3 + C_4 \omega), \quad (7)$$

где C_1 – C_4 – константы, посредством которых устройство адаптируется к конкретному типу электрической машины. Несмотря на обобщенное представление составляющих потерь мощности, очевидно, что для различных типов электрических машин метод определения момента будет иметь свои особенности.

Методика определения коэффициентов потерь

Коэффициенты потерь мощности C_1 – C_4 можно приближенно вычислить, применив алгоритм, изображенный на рис. 1. Построение энергетических диаграмм дает возможность определить, какие из составляющих потерь мощности будут характерны для конкретных типов машин. Аналитические выражения, описывающие составляющие потерь мощности для различных типов машин через их конструктивные параметры, подбираются с использованием специальной литературы по отдельным типам электрических машин [2]. Сгруппировав отдельные составляющие потерь по их видам, можно путем сравнительно простых вычислений получить значения коэффициентов C_1 , C_2 , C_3 и C_4 , которые применяются при описании электрических, механических и магнитных потерь в выражениях (5), (6), (7). Интерпретация результатов расчетов производится путем вычисления приведенной погрешности потерь мощности. В том случае, если погрешности определения коэффициентов оказывается неприемлемой для технической реализации устройства, то аналитическое описание потерь необходимо уточнить.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения коэффициентов потерь мощности
 Fig. 1. The flow-chart of determination algorithm of power losses coefficient

Предлагаемый метод применялся при измерении вращающего момента машин постоянного тока и асинхронных двигателей. Примером определения коэффициентов потерь мощности является трехфазный асинхронный двигатель 4А250М6У3. Энергетическая диаграмма такого двигателя с КПД 91,5% приведена на рис. 2. В соответствии с энергетической диаграммой уравнение энергетического баланса для асинхронного двигателя имеет вид:

$$P_2 = P_1 - (P_{\varepsilon 1} + P_{\varepsilon 2}) - (P_{\text{ст.осн}} + P_{\text{пов1}} + P_{\text{пов2}}) - (P_{\text{пул1}} + P_{\text{пул2}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{доб}}). \quad (8)$$

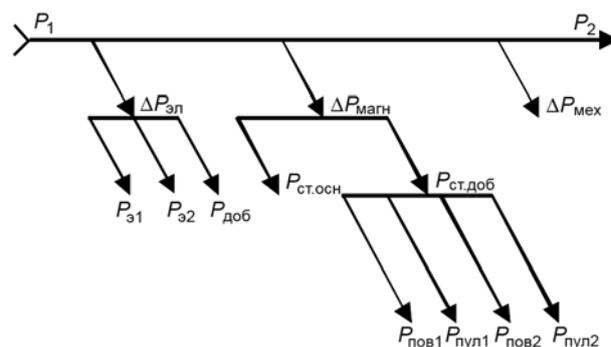


Рис. 2. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя
 Fig. 2. Power diagram of asynchronous motor

При помощи аналитических выражений для асинхронного двигателя, представленных в табл. 1, определяются составляющие потерь мощности. В табл. 1 приняты следующие обозначения: $p_{1,0/50}$ – удельные потери при индукции 1 Тл и частоте перемагничивания 50 Гц; β – показатель степени, учитывающий зависимость потерь в стали от частоты перемагничивания; $k_{\text{да}}$ и $k_{\text{дз}}$ – коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов; B_a и $B_{z1\text{ср}}$ – индукция в ярме и средняя индукция в зубцах статора (ротора), Тл; m_a , $m_{z1(2)}$ – масса стали ярма и зубцов статора (ротора), кг; $Z_{1(2)}n$ – частота пульсаций индукции над зубцами для статора (ротора); $r_{1(2)}$ – сопротивление обмоток статора (ротора), Ом; K_T – коэффициент, характеризующий потери на трение в подшипниках и вентиляционные потери; $P_{\text{доб.ном}}$ – расчетные добавочные потери при номинальной нагрузке, Вт.

По вычисленным значениям потерь определяются константы C_1 , C_2 , C_3 и C_4 . В соответствии с полученным набором констант проводится оценка точности предлагаемого метода измерения вращающего момента для асинхронного двигателя путем сравнения результатов вычисления потерь по известным выражениям и по предлагаемой методике. При исследовании точности аппроксимации потерь мощности погрешность электрических потерь не учитывалась, так как они зависят от сопротивления обмотки и силы тока, а также являются сравнительно легко контролируемым параметром.

Таблица 1

Аналитические выражения, описывающие потери мощности в асинхронном двигателе и синхронном генераторе

Table 1

Analytical expressions for describe the losses of capacity in asynchronous motor and synchronous generator

Виды потерь		Асинхронный двигатель	Синхронный генератор	
электрические	в обмотках статора	$P_{\Sigma 1} = m_1 I_1^2 r_1$	$P_{\Sigma 1} = m_1 I_{\text{ном.ф}}^2 r_1$	
	в обмотках ротора	$P_{\Sigma 2} = m_1 I_2'^2 r_2'$		
	на возбуждение		$P_f = \frac{I_{f,\text{ном}}^2 r_f + 2\Delta U_{\text{щ}} I_{f,\text{ном}}}{\eta_f}$	
	добавочные при нагрузке	$P_{\text{доб}} = P_{\text{доб.ном}} \left(I_1 / I_{\text{ном}} \right)^2$	$P_{\text{доб}} = k P_{\text{пол}}$	
магнитные	основные потери в стали статора	$P_{\text{ст.осн}} = p_{1,0/50} (f_1/50)^\beta (k_{\text{да}} B_a^2 m_a + k_{\text{дз}} B_{\text{зсп}}^2 m_{z1})$		
	добавочные	поверхностные потери статора	$P_{\text{пов1}} = P_{\text{пов1}} (t_{z1} - b_{\text{ш1}}) Z_1 l_{\text{ст1}}$	$P_{\text{пов}} = 0,5 \cdot 2 p \alpha t_1 k_0 \left(\frac{Z_1 n}{1000} \right)^{1,5} \times$ $\times (B_0 t_{z1} \cdot 10^3)^2$
		поверхностные потери ротора	$P_{\text{пов2}} = P_{\text{пов2}} (t_{z2} - b_{\text{ш2}}) Z_2 l_{\text{ст2}}$	
		пульсационные потери в стали зубцов статора	$P_{\text{пул1}} \approx 0,11 \left(\frac{Z_2 n}{1000} B_{\text{пул1}} \right)^2 m_{z1}$	
		пульсационные потери в стали зубцов ротора	$P_{\text{пул2}} \approx 0,11 \left(\frac{Z_1 n}{1000} B_{\text{пул2}} \right)^2 m_{z2}$	
	в ярме магнитопровода статора		$P_{a1} = k_{\text{да}} P_{a1/50} B_a^2 (f/50)^{1,3} m_{a1}$	
	в зубцах магнитопровода статора		$P_{z1} = k_{\text{дз}} P_{z1/50} B_{z1/3}^2 (f/50)^{1,3} m_{z1}$	
механические		$\Delta P_{\text{мех}} \approx K_T \left(\frac{n}{1000} \right)^2 (10D)^3$	$P_{\text{мех}} \approx 3,68 p (v_p/40)^3 \sqrt{l_1}$	

Наибольшую трудность при определении потерь мощности составляет нахождение суммы магнитных и механических потерь. Результаты определения погрешности суммы магнитных и механических потерь представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения приведенной погрешности суммы магнитных и механических потерь для асинхронного двигателя

Table 2

Results of determination of reduced error of the sum of magnetic and mechanical losses for asynchronous motor

n	$0,2n_{\text{ном}}$	$0,4n_{\text{ном}}$	$0,6n_{\text{ном}}$	$0,8n_{\text{ном}}$	$n_{\text{ном}}$	$1,2n_{\text{ном}}$
$\Delta P_{\text{мм}}, \%$	-0,41	-0,93	-1,09	-0,79	0,00	1,33

В таблице приняты обозначения: $n_{\text{ном}}$ – номинальное значение частоты вращения, $\Delta P_{\text{мм}}$ – приведенная погрешность определения суммы магнитных и механических потерь.

Результаты исследования показали, что точность определения потерь мощности является приемлемой для технической реализации измерителя вращающего момента.

Перспективы применения предлагаемой методики

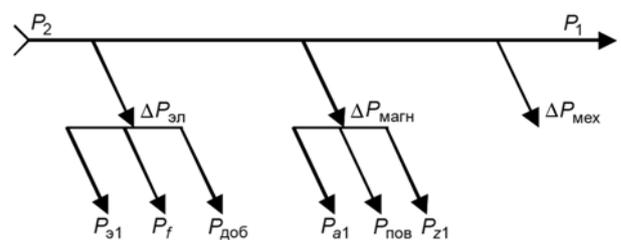


Рис. 3. Энергетическая диаграмма синхронного генератора
Fig. 3. Power diagram of synchronous generator

Аналогичный расчет может быть произведен и для синхронного генератора, используемого в ветроэнергетических установках. Энергетическая диаграмма генератора будет иметь вид, представленный на рис. 3. В соответствии с энергетической диаграммой

мой уравнение энергетического баланса для синхронного генератора имеет вид:

$$P_2 = P_1 + (P_{\sigma 1} + P_f + P_a + P_{пов} + P_{z1} + P_{мех} + P_{доб}). \quad (9)$$

Представленные на рис. 3 потери мощности синхронного генератора рассчитываются согласно справочным данным генератора и аналитическим выражениям из табл. 1. В табл. 1 для синхронного генератора приняты следующие обозначения: $I_{ном.ф}$, $I_{ном}$ – номинальные значения тока якоря и тока возбуждения; $\Delta U_{щ}$ – переходное падение напряжения в щеточном контакте; η_f – КПД возбудителя; $p_{a1/50}$ и $p_{z1/50}$ – удельные потери при индукции 1 Тл и частоте перемещения 50 Гц для соответствующей марки стали; v_p – окружная скорость ротора, м/с; l_1 – полная длина статора, м; Z_1 – число зубцов статора; B_0 – амплитуда пульсации индукции в воздушном зазоре, Тл; k , k_0 , α – коэффициенты, характеризующие конструкцию генератора.

Интерпретация результатов (табл. 3) осуществляется путем вычисления приведенной погрешности суммы магнитных и механических потерь мощности генератора. Полученная погрешность удовлетворяет требованиям, предъявляемым к точности измерительного устройства.

Таблица 3

Результаты определения приведенной погрешности суммы магнитных и механических потерь для синхронного генератора

Table 3

Results of determination of reduced error of the sum of magnetic and mechanical losses for synchronous generator

n	$0,2n_{ном}$	$0,4n_{ном}$	$0,6n_{ном}$	$0,8n_{ном}$	$n_{ном}$	$1,2n_{ном}$
$\Delta P_{mm}, \%$	-1,46	-1,91	-1,42	-0,57	0,00	-0,42

Полученные коэффициенты C_1, C_2, C_3, C_4 вводятся в память микропроцессорного измерительного устройства.

Заключение

Достоинством данного метода является его простота и приемлемая для технической реализации точность. К недостаткам можно отнести нехватку справочных данных по продукции, выпускаемой электротехническими предприятиями нашей страны в постперестроечный период.

Список литературы

1. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. М.: Энергия, 1980.
2. Копылова И.П., Клоков Б.К., Морозкин В.П., Токарев Б.Ф. Проектирование электрических машин. М.: Высшая школа, 2002.



2-Я РЕГИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО НАНО И БИОТЕХНОЛОГИЯМ THE SECOND REGIONAL NANO BIOTECHNOLOGY CONFERENCE 2010



Время проведения: **07.01.2010**
Место проведения: **Иран, Джуйбар**
Темы: **Нанотехнологии, Новые технологии, Биотехнологии**

В целях развития нанотехнологий во всех областях научного знания, ознакомления с последними достижениями и открытиями в этой отрасли проводится эта конференция.

Наряду с быстрым научным прогрессом в Иране и в наноразмерной области в частности, а также основываясь на успехе первой конференции по нано и биотехнологиям в Иране вторая конференция будет посвящена вопросам использования достижений нанотехнологий и соответствующих материалов в промышленности, базовых науках, сельском хозяйстве, медицине.