

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/FYZZ1289>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/DMZE2729>

***А. Н. Новожилов¹, Д. К. Имангазина²,
Т. А. Новожилов³, В. Н. Горюнов⁴**

^{1,2}Торайғыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

^{3,4}Омский Государственный Технический Университет,
Российская Федерация, г. Омск

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0773-1781>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4707-2023>

*e-mail: dinaraigul@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗУБЦОВОГО ДЕЛЕНИЯ СТАТОРА И ФАЗНОГО РОТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Одним из основных элементов комплекса, с помощью которого осуществляется определение места расположения секции со «скрытым» повреждением в трехфазной обмотке статора или фазного ротора электрической машины оборудованной кольцевым измерительным преобразователем является электромагнитный индуктор. При диагностике обмоток магнитопровод электромагнитного индуктора устанавливают поочередно на все соседние зубцы магнитопровода статора или фазного ротора и создают магнитный поток, пересекающий диагностируемую секцию. При этом наличие замкнувшихся витков в диагностируемой секции определяют по появлению ЭДС в кольцевом измерительном преобразователе.

Основным параметром, определяющим возможность использования электромагнитного индуктора, является расстояние между его ножками и площадь соприкосновения этих ножек с магнитопроводом статора или ротора диагностируемой электрической машины. Эти параметры непосредственно связаны с величиной зубцового деления этих магнитопроводов. При этом величина зубцового деления зависит от мощности электрической машины и числа пар ее полюсов. Поэтому она может колебаться

в довольно широких пределах. Экспериментальное определение зубцового деления сопряжено со значительными сложностями. В связи с этим разработан простой метод позволяющий определить величину зубцового деления расчетным путем.

Ключевые слова: Электрическая машина, кольцевой измерительный преобразователь, трёхфазная обмотка, зубцовое деление, «скрытое» повреждение, электромагнитный индуктор.

Введение

В соответствии с [1] для реализации способа определения места расположения секции со «скрытым» повреждением в трехфазной обмотке статора электрической машины оборудованной кольцевым измерительным преобразователем требуется электромагнитный индуктор, который предназначен для формирования магнитного поля в определенных частях магнитопровода. Его конструкция [2] схематично показана на рисунке 1. Из этого рисунка видно, что основными элементами электромагнитного индуктора является П – образный магнитопровод 1 и обмотка 2. При диагностике ножки 3 и 4 его магнитопровода устанавливаются поочередно на все соседние зубцы 5 магнитопровода статора или фазного ротора. При этом диагностируемая секция 6 обмотки статора всегда оказывается расположенной между этими зубцами. Следовательно, если обмотку 2 подключить к источнику переменного тока, то в этом случае через плоскость диагностируемой секции 6 будет проходить магнитный поток Φ .

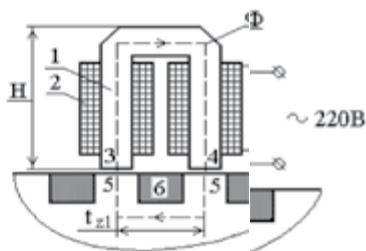


Рисунок 1 –Схематичное изображение конструкции электромагнитного индуктора

Исходя из этого становится ясно, что расстояние между ножками 3 и 4, а следовательно основные размеры магнитной цепи электромагнитного индуктора, в значительной мере определены величиной зубцового деления t_{z1} или t_{z2} статора или фазного ротора электрической машины [3, с. 78; 4; 5]. Таким образом, при конструировании электромагнитного индуктора

требуется знать диапазон изменения зубцового деления t_{z1} или t_{z2} статора или фазного ротора в зависимости от мощности P электрической машины и числа пар p полюсов. Так как типов и размеров электрических машин, находящихся в эксплуатации, достаточно много, то экспериментальное определение этих зависимостей весьма затруднительно. Значительно проще решить эту проблему расчетным путем.

Известно довольно много разнообразных методов расчета t_{z1} или t_{z2} [6, с.135;7;8;9;10]. Если считать, что диапазон диагностируемых электрических машин с числом пар полюсов равным 2-12 ограничен мощностями 35-5000кВт, то диапазон зубцовых делений, ограниченный минимальным и максимальным значения t_{z1} следует определять следующим образом.

Первоначально по заданной мощности P и числу пар полюсов p этой электрической машины с помощью зависимостей $\tau = f(P)$ в виде $\tau = 0,07(P/p)^{0,3}$ взятой из [7] определяется расчетная величина ее полюсного деления τ_p . Для простоты определения величины полюсного деления эти зависимости можно представить в виде кривых линий 1-6 на рисунке 2, построенных для числа пар полюсов равных 1-6.

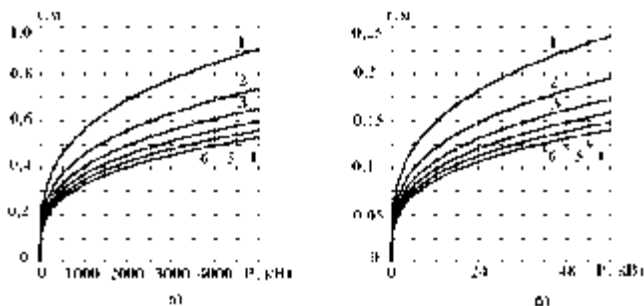


Рисунок 2 – Зависимости $\tau = f(P)$ для электрических машин

Затем по расчетной величине полюсного деления τ_p и числу пар полюсов p расчетная величина внутреннего диаметра статора определяется как

$$D_p = 2p\tau_p / \pi \quad (1)$$

Точное определение величины зубцового деления t_{z1} статора по расчетной величине внутреннего диаметра D_p , числу пар полюсов P и

расчетной величине полюсного τ_p деления не представляется возможным. Поэтому для его определения поступают следующим образом.

В электрических машинах со вспышной обмоткой статора величина зубцового деления определяется с помощью зависимости $t_{z1} = f(\tau)$ [6] приведенной на рисунке 3 и величины полюсного деления τ_p . В связи с возможностью размещения на полюсном делении τ разного рекомендуемого количества пазов по приведенной зависимости определяется минимальное $t_{z1,min}$ и максимальное $t_{z1,max}$ значения зубцового деления.

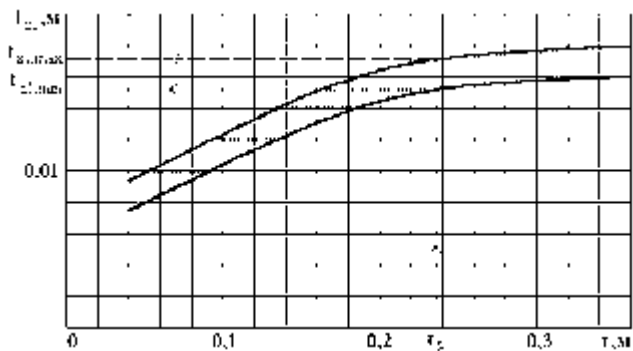


Рисунок 3 – Зависимость размеров зубцового деления от полюсного деления

Затем по полученным величинам $t_{z1,max}$ и $t_{z1,min}$ находится предварительная расчетная величина зубцового деления как

$$t_{z1,p} = \frac{t_{z1,max} + t_{z1,min}}{2} \quad (2)$$

Рекомендуемые числа пазов в сердечнике статора электрической машины при выполнении трехфазной обмотки с заданным числом пар полюсов приведены в таблице 1 [8;9]. При использовании этой таблицы рекомендуется выбирать ближайшее большее к расчетному значению числа пазов.

Расчетное число пазов статора при величине его внутреннего диаметра D_p [6] определяется с помощью выражения

$$Z_{1,p} = \pi D_p / t_{z1,p} \quad (3)$$

Таблица 1 – Рекомендуемое число пазов в сердечнике статора при заданном числе пар полюсов

Число пар полюсов 2р	Число пазов статора
2	12,18, 24, 30, 36, 42, 48
4	12, 18, 24, 36, 42, 48, 60,72
6	36, 54, 72
8	48, 72, 84, 96
10	60,90, 120
12	72, 90, 108,144

Таким образом, в электрической машине с вьспной обмоткой и расчетной величиной внутреннего диаметра статора равного D_p величина зубцового деления определяются как.

$$t_{z1} = \pi D_p / Z_{1,p} \quad (4)$$

В электрических машинах с обмоткой статора выполняемой из прямоугольного провода укладываемой в прямоугольные пазы величина зубцового деления t_{z1} зависит от номинального напряжения и числа пар полюсов. Его предварительное значение можно взять из таблицы 2 [6].

Тогда возможные числа пазов статора электрической машины с номинальным напряжением, например, U_n и полюсным делением tr в соответствии с выбранным интервалом зубцовых делений

$$Z_{1,pmin} = \pi D_p / t_{z1,pmin} \text{ и } Z_{1,pmax} = \pi D_p / t_{z1,pmax} \quad (5)$$

Таблица 2 – Предварительные значения величины зубцового деления статора при прямоугольных пазах

Полное деление τ , м	Зубцовое деление статора, м					
	При U_n до 660В		При $U_n = 3000В$		При $U_n = 6000В$	
	$t_{z1,min}$	$t_{z1,max}$	$t_{z1,min}$	$t_{z1,max}$	$t_{z1,min}$	$t_{z1,max}$
<0,15	0,016	0,020	0,022	0,025	0,024	0,30
0,15-0,4	0,017	0,022	0,024	0,027	0,0026	0,034
>0,4	0,020	0,028	0,026	0,032	0,028	0,038

При этом среднее число пазов

$$Z_{1,p} = (Z_{1,pmin} + Z_{1,pmax}) / 2 \quad (6)$$

Расчетное число пазов $Z_{1,p}$ определяется с учетом данных приведенных в таблице 2. При этом величина зубцового деления статора и число пазов на его полюс и фазу

$$t_{z1} = \pi D_p / Z_{1,p} \text{ и } q1 = Z_{1,p} / 2pm \quad (7)$$

а число пазов на его полюс и фазу

$$q1 = Z_{1,p} / 2pm \quad (8)$$

Диапазон зубцовых делений, электрических машин на которых возможно проведение поиска секции со «скрытым» повреждением зависит от таких взаимосвязанных факторов как их внутренний диаметр статора D_p , мощность P и число пар полюсов p .

Внутренний диаметр статора D_p должен быть в два ÷ три раза больше чем высота H электромагнитного индуктора. Это условие необходимо для обеспечения комфортного осуществления диагностики его обмотки. Исходя из реально возможных размеров электромагнитного индуктора, минимальная величина внутреннего диаметра статора D_p должна быть не менее $0,3 \div 0,35$ метра.

В соответствии с уравнением (1) величина полюсного деления статора τ при известной величине D_p зависит от числа пар полюсов. Поэтому для числа пар полюсов равных единице и шести величина полюсного деления

$$\tau_{p,1} = \pi D_p / 2p = 3,14 \cdot 0,35 / 2 \cdot 1 \approx 0,55 \text{ м и}$$

$$\tau_{p,6} \approx 3,14 \cdot 0,35 / 2 \cdot 6 \approx 0,0915 \text{ м.}$$

При такой величине полюсных делений мощность электрической машины с $p=1$ и $p=6$ определяемая по зависимостям $\tau = f(P)$ приведенным на рисунке 2 будет равна 1000кВт и 20кВт соответственно. Число пазов статора электрической машины с различным числом пар полюсов определяется по таблице 1 с учетом рекомендаций приведенных в [6;7;8;9;10]. Поэтому для этих электрических машин с всыпной обмоткой число пазов статора принимается равным 48 и 72. При этом величина их зубцового деления

$$t_{z1,min,1} = \pi D_p / Z_{1,1} = 3,14 \cdot 0,35 / 48 \approx 0,023 \text{ м и}$$

$$t_{z1,min,6} \approx 3,14 \cdot 0,35 / 72 \approx 0,0153 \text{ м.}$$

В электрических машинах с обмоткой статора выполняемой из прямоугольного провода укладываемой в прямоугольные пазы величину

зубцового деления t_{z1} для этих электрических машин можно взять из таблицы 2 [6]. В результате в электрических машинах с номинальным напряжением $U_n = 6000\text{В}$ и $U_n = 660\text{В}$ величина зубцового деления $t_{z1, \min, 1} = 0,026\text{м}$, $t_{z1, \min, 6} \approx 3,14 \cdot 0,35 / 72 \approx 0,017\text{м}$. Максимальная величина зубцового деления статора определяется только для электрической машины мощностью 5000кВт при числе пар ее полюсов $P=1$. У такой электрической машины внутренний диаметр статора D_p может превышать величину $0,6$ метра. При этом величина полюсного деления ее статора

$$\tau_{p,1} = \pi D_p / 2p = 3,14 \cdot 0,6 / 2 \cdot 1 \approx 0,942\text{м} \quad (9)$$

С учетом с учетом рекомендаций приведенных в [6;7;8;9;10] и таблицы 1 для такой электрической машины число пазов Z_1 следует принимать равным 48. В результате величина ее зубцового деления

$$t_{z1, \max} = \pi D_p / Z_1 = 3,14 \cdot 0,6 / 48 \approx 0,039\text{м}$$

Что вполне сопоставимо с данными, приведенными в таблице 2, где максимальная величина зубцового деления при $\tau > 0,4$ достигает $0,038$ метра.

Определение зубцового деления фазного ротора асинхронного двигателя с учетом [6;10] осуществляется следующим образом. Для нормальной работы асинхронного двигателя необходимо, чтобы обмотка фазного ротора имела столько же фаз и полюсов, сколько их имеет обмотка статора.

Если считать, что выбранное значение внутреннего диаметра сердечника статора равно D_p , то в этом случае внешний диаметр фазного ротора определяется как

$$D_2 = D_p - 2\delta, \quad (10)$$

где δ – величина воздушного зазора.

С учетом того, что при реально возможных размерах электромагнитного индуктора минимальная величина внутреннего диаметра статора D_p при $P=6$ должна равняться $0,35$ метра величина воздушного зазора

$$\delta = \frac{D_p}{1,2} \left(1 + \frac{9}{2p} \right) \cdot 10^{-3} = \frac{0,35}{1,2} \left(1 + \frac{9}{2 \cdot 6} \right) \cdot 10^{-3} \approx 0,00051\text{м}.$$

При этом величина внешнего диаметра фазного ротора

$$D_2 = D_p - 2\delta = 0,35 - 2 \cdot 0,00051 \approx 0,349\text{м}.$$

В соответствии с (8) число пазов на полюс и фазу обмотки статора

$$q_1 = Z_1 / 2pm = 72 / 2 \cdot 6 \cdot 3 = 2,$$

а число пазов на полюс и фазу обмотки ротора

$$q_2 = q_1 \pm K, \quad (11)$$

где K – коэффициент. В расчетах числа пазов на полюс и фазу для фазной обмотки ротора в соответствии с [6] рекомендуется принимать $K=0,5$ или $K=1,0$. Если принять $K=1,0$, то в этом случае

$$q_2 = q_1 + K = 2 + 1 = 3.$$

Число пазов ротора Z_2 должно отличаться от числа пазов статора. В расчетах, например в [6], принято считать, что число пазов для фазной обмотки ротора

$$Z_2 = Z_1 q_2 / q_1 = 72 \cdot 3 / 2 = 108. \quad (12)$$

При этом минимальная величина зубцового деления фазного ротора

$$t_{z2,min} = \pi D_2 / Z_2 = 3,14 \cdot 0,349 / 108 \approx 0,01 \text{ м}.$$

Максимальная величина зубцового деления фазного ротора определяется для электрической машины мощностью 500кВт при числе пар ее полюсов $P=1$. У такой электрической машины:

- внутренний диаметр статора $D_p=0,6$ метра;
- величина воздушного зазора

$$\delta = \frac{D_p}{1,2} \left(1 + \frac{9}{2p} \right) \cdot 10^{-3} = \frac{0,6}{1,2} \left(1 + \frac{9}{2 \cdot 1} \right) \cdot 10^{-3} \approx 0,00275 \text{ м};$$

– число пазов на полюс и фазу обмотки статора

$$q_1 = Z_1 / 2pm = 48 / 2 \cdot 1 \cdot 3 = 8;$$

- число пазов на полюс и фазу обмотки ротора

$$q_2 = q_1 + 1 = 8 + 1 = 9;$$

– число пазов ротора Z_2

$$Z_2 = Z_1 q_2 / q_1 = 48 \cdot 9 / 8 = 54;$$

- максимальная величина зубцового деления фазного ротора

$$t_{z2, \max} = \pi D_2 / Z_2 = 3,14 \cdot 0,6 / 54 \approx 0,0349 \text{ м.}$$

Результаты и обсуждение

Как видно из приведенных расчетов минимальная величина зубцового деления статора и фазного ротора следует принимать равными 0,0153 и 0,01 метра. При этом их максимальные величины составляет 0,038 и 0,0349 метра. Таким образом, для диагностики электрических машин мощностью 20-5000кВт минимальное и максимальное расстояния между ножек электромагнитного индуктора должны равняться 0,01 и 0,038 метра.

Выводы

1 Основными параметрами, определяющими возможность использования электромагнитного индуктора для диагностики электрической машины является зубцовое деление ее магнитопровода, расстояние между его ножками и площадь соприкосновения этих ножек с магнитопроводом статора или ротора.

2 Анализ результатов расчета величин зубцовых делений магнитопроводов статора и фазного ротора показывает, что в интервалах мощностей 20-5000кВт вне зависимости от числа пар полюсов его величина может принимать значения равные 0,01-0,038 метра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Пат. RU № 2 808798 С1, МПК H02Н 3/08; H02К 11/27. Способ диагностики состояния обмотки статора электрической машины [Текст]/ Новожилов А. Н., Новожилов Т. А., Имангазина Д. К., Иسنнов Ж. С. – Заявка №2023104406, заявл. 28.02.2023; опубл. 05.12.2023, Бюл. № 34.

2 **Новожилов А.Н., Имангазина Д.К.,** Методы поиска поврежденной секции в трёхфазных обмотках [Текст].// Вестник Торайгыров университета. – 2024. – № 2. – С. 271–285.

3 **Петров Г. Н.** Электрические машины. Ч.2. Асинхронные и синхронные машины [Текст]. – М. – Л. : Энергия, 1968. – 224 с.

4 Вольдек А. И. Электрические машины [Текст]. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.

5 **Иванов-Смоленский А. В.** Электрические машины [Текст]. – М.: Энергия, 1980. – 909 с.

6 **Копылов И. П., Горяинов, Ф. А., Клоков Б. К., и др.;** Под ред. И.П.Копылова Проектирование электрических машин [Текст]. – М.: Энергия, 1980. – 496 с., ил.

7 **Домбровский В. В., Хуторецкий Г. М.** Основы проектирования электрических машин переменного тока [Текст]. – Л.: Энергия, 1974. – 504 с., ил.

8 **Гольдберг О. Д., Свириденко И.С.,** Проектирование электрических машин [Текст]. – М. : Высшая школа, 2006. – 430 с., ил.

9 **Копылов И. П., Клоков Б. К., Морозкин В. П., и др.;** Под ред. И.П.Копылова Проектирование электрических машин [Текст]. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с., ил.

10 **A. Ivanov-Smolensky.** Electrical machines voi 1. [Текст]. – М. : Energia, 1982. – 403 с.

REFERENCES

1 Pat. RU № 2 808798 S1, МПК N02N 3/08; N02K 11/27. Sposob diagnostiki sostoyaniya obmotki statora elektricheskoy mashiny [A method for diagnosing the state of the stator winding of an electric machine] [Text]. / Novozhilov A.N, Novozhilov T.A., Imangazinova D. K., Isenov Zh.S. – Zayavka №2023104406, zayavl. 28.02.2023 ; opubl. 05.12.2023, Byul. № 34

2 **Novozhilov A. N., Imangazinova D. K.,** Metody poiska povrezhdennoj sekcii v tryohfaznykh obmotkakh [Methods of searching for a damaged section in three-phase windings] [Text]. // Vestnik Torajgyrov universiteta. – 2024. – № 2. – P. 271–285.

3 **Petrov, G. N.** Elektricheskie mashiny. CH.2. Asinhronnye i sinhronnye mashiny [Electric machines. Part 2. Asynchronous and synchronous machines] [Text]. – Moscow – L.: Energiya, 1968. – 224 p.

4 **Vol'dek, A. I.** Elektricheskie mashiny [Electric machines] – [Text]. – Leningrad.: Energiya, 1978. – 832 p.

5 **Ivanov-Smolenskij, A. V.** Elektricheskie mashiny [Electric machines] [Text]. – Moscow: Energiya, 1980. – 909 p.

6 **Kopylov I. P., Goryainov F. A., Klokov B. K., i dr.;** Pod red. I. P.Kopylova Proektirovanie elektricheskikh mashin [Edited by I.P.Kopylov Design of electric machines] [Text]. – М.: Energiya, 1980. – 496 p.

7 **Dombrovskij V. V., Hutoreckij G. M.** Osnovy proektirovaniya elektricheskikh mashin premennogo toka. mashin [Fundamentals of the design of alternating current electric machines] [Text]. – L.: Energiya, 1974. – 504 p.

8 **Gol'dberg O. D., Sviridenko I. S.,** Proektirovanie elektricheskikh mashin. [Design of electric machines] [Text]. – М. : Vysshaya shkola, 2006. – 430 p.

9 Kopylov I. P., Klokov B. K., Morozkin V. P., i dr.; Pod red. I. P. Kopylova Proektirovanie elektricheskikh mashin. [Edited by I.P. Kopylov, Design of electric machines] [Text]. – М.: Izdatel'stvo YUrajt, 2011. – 767 s., il.

10 A. Ivanov-Smolensky. Electrical machines voi 1. [Text]. – М.: Energia, 1982. – 403

Поступило в редакцию 01.11.24

Поступило с исправлениями 07.11.24

Принято в печать 04.12.24

*А. Н. Новожилов¹, Д. К. Имангазинова², Т. А. Новожилов³,

В. Н. Горюнов⁴

^{1,2}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

^{3,4}Омбы мемлекеттік техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Омбы қ.

01.11.24 ж. баспаға түсті.

07.11.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

СТАТОР МЕН ЭЛЕКТР МАШИНАСЫНЫҢ ФАЗАЛЫҚ РОТОРЫНЫҢ ТІСТІ БӨЛІНУ ШАМАСЫН АНЫҚТАУ

Сақиналы өлшеу түрлендіргішімен жабдықталған электр машинасының статорының немесе фазалық роторының үш фазалы орамасында «жасырын» зақымдануы бар секцияның орналасқан жерін анықтау жүзеге асырылатын кешеннің негізгі элементтерінің бірі электромагниттік индуктор болып табылады. Орамаларды диагностикалау кезінде электромагниттік индуктордың магниттік өткізгіші статор немесе фазалық ротордың барлық іргелес магниттік өткізгіш тістеріне кезектесіп орнатылады және диагноз қойылған бөлімді кесіп өтетін магнит ағынын жасайды. Бұл жағдайда диагноз қойылған бөлімде жабық бұрылыстардың болуы сақиналы өлшеу түрлендіргішінде ЭҚК пайда болуымен анықталады.

Электромагниттік индукторды пайдалану мүмкіндігін анықтайтын негізгі параметр оның аяқтары арасындағы қашықтық және осы аяқтардың диагностикаланатын электр машинасының статор немесе ротор магниттік өткізгішімен жанасу аймағы болып табылады. Бұл параметрлер осы магниттік желілердің тісті бөліну мөлшерімен тікелей байланысты. Бұл жағдайда тісті болудің мәні электр машинасының қуатына және оның полюстерінің

жұптарының санына байланысты. Сондықтан ол өте кең ауқымда өзгеруі мүмкін. Тісті бөлудің эксперименттік анықтамасы айтарлықтай қиындықтарды қамтиды. Осыған байланысты тісті бөлудің шамасын есептеу арқылы анықтауға мүмкіндік беретін қарапайым әдіс жасалды.

Кілтті сөздер. Электр машинасы, сақиналы өлшеу түржәдіргіші, үш фазалы орам, тісті бөлу, «жасасырын» зақымдануы, электромагниттік индуктор.

**A. N. Novozhilov¹, D. K. Imangazinoва², T. A. Novozhilov³,
V. N. Goryunov⁴*

^{1,2,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

³Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

Received 01.11.24

Received in revised form 07.11.24

Accepted for publication 04.12.24

DETERMINATION OF THE MAGNITUDE OF THE TOOTH DIVISION OF THE STATOR AND THE PHASE ROTOR OF AN ELECTRIC MACHINE

One of the main elements of the complex, which is used to determine the location of the section with a “hidden” damage in the three-phase winding of the stator or phase rotor of an electric machine equipped with an annular measuring transducer, is an electromagnetic inductor. When diagnosing windings, the magnetic circuit of the electromagnetic inductor is installed alternately on all adjacent teeth of the magnetic circuit of the stator or phase rotor and creates a magnetic flux crossing the diagnosed section. In this case, the presence of closed turns in the diagnosed section is determined by the appearance of an EMF in the annular measuring transducer.

The main parameter determining the possibility of using an electromagnetic inductor is the distance between its legs and the area of contact of these legs with the magnetic circuit of the stator or rotor of the electric machine being diagnosed. These parameters are directly related to the magnitude of the tooth division of these magnetic conductors. In this case, the magnitude of the tooth division depends on the power of the electric machine and the number of pairs of its poles. Therefore, it can fluctuate quite widely. The experimental determination of the tooth division is associated with significant difficulties. In this regard, a simple method

has been developed to determine the magnitude of the tooth division by calculation.

Key words: An electric machine, an annular measuring converter, a three-phase winding, a tooth division, hidden damage, an electromagnetic inductor.

Теруге 04.12.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4317

Сдано в набор 04.12.2024 г. Подписано в печать 30.12.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4317

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz