

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

№ 2 (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/ZSHT7059>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.,

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора
Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*
Сағындық Ә. Б. *доктор PhD*

Редакция алқасы – 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., доцен;</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

© Торайгыров университет

МРНТИ 44.29.31

<https://doi.org/10.48081/AULO7076>***А. Г. Калтаев***Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар**e-mail: abdulla911@mail.ru*

УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ОТ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ

Отмечено, что современные токовые защиты электродвигателей, в основном, не учитывают витковые замыкания из-за низкой чувствительности к ним, и как результат реагируют только если замкнется большее количество витков или витковое замыкание перейдет в междуфазное. Рассмотрены современные методы защиты, позволяющие выявлять витковые замыкания внутри электродвигателя, отмечены их достоинства и недостатки. Выявлено, что наиболее чувствительным к витковым замыканиям является метод, контролирующий магнитное поле с помощью измерительных органов, размещенных внутри лобовой части электродвигателя между торцом статора и подшипниковым щитом. Предложена схема устройства защиты от витковых замыканий в одной фазе статора электродвигателя построенная по этому методу. Для повышения надежности схемы устройства защиты были применены дублирование измерительных и реагирующих органов, и функциональная диагностика. Принцип которой заключается в контроле исправности измерительных органов защиты при витковом замыкании, что позволяет исключить ущерб от несрабатывания устройства защиты. Диагностика осуществлена путем размещения геркона внутри обмоток управления, выходы которых подключены к измерительным органам защиты. Подробно описан принцип действия защиты при выявлении витковых замыканий и выявлении

неисправности в устройстве защиты во время виткового замыкания.

Ключевые слова: релейная защита, электродвигатель, индукция магнитного поля, диагностика, геркон, витковые замыкания.

Введение

Низковольтные электродвигатели (ЭД) получили наибольшее распространение в современном промышленном комплексе, а в последнее время и в автомобилестроении [1]. Повсеместное их использования неоднократно приводило к вопросу совершенствования уже существующих устройств релейной защиты ЭД [2; 3; 4], которые предназначены для выявления и отключения следующих аварийных и аномальных режимов работы ЭД (повреждений) [5]: короткие замыкания (КЗ) на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью; витковые и междуфазные (двух- и трехфазные) КЗ в обмотках статора ЭД, питающего кабеля или в вводной коробке; перегрузки, вызванные длительным протеканием повышенных токов в обмотке статора, нарушением системы охлаждения или перегрузкой механизма, вращаемого ЭД. Особый интерес представляют витковые замыкания (ВЗ), т.к. современные защиты в виду их низкой чувствительности к ним, не учитывают такой вид повреждений [6, 7], до тех пор, пока не замкнется большее количество витков или ВЗ не перейдет в междуфазное КЗ. В данной работе предложена схема устройства защиты ЭД повышенной надежности, позволяющая выявлять и отключать ВЗ на ранней стадии.

Материалы и методы

Известно, что в настоящее время применяются следующие методы для защиты ЭД от ВЗ:

1 Метод, контролирующий токи обратной последовательности, где при ВЗ или любой другой несимметрии на выходе фильтра токов обратной последовательности появляется напряжение, пропорциональное его току, что позволяет судить наличии ВЗ.

2 Метод, при котором контролируют магнитное поле с помощью катушек индуктивности (КИ). На КИ, размещенные внутри лобовой части ЭД между торцом статора и подшипниковым щитом, воздействует

магнитное поле, состоящее из геометрической суммы магнитных потоков обмоток статора и ротора, и при ВЗ в КИ индуцируется электродвижущая сила.

3 Метод, контролирующий углы между токами фаз ЭД. Данный метод позволяет контролировать и преобразовывать углы сдвига по фазе между векторами фазных токов, возникающие при ВЗ.

4 Метод, контролирующий температуру обмотки статора ЭД. При этом различают измерения при выключенном и включенном состоянии ЭД. В первом состоянии измеряют сопротивление обмотки постоянному току, которое затем сопоставляется с графиком, а во втором – измеряют температуру с помощью температурных индикаторов, уложенных в пазы статора ЭД вместе с его обмоткой.

Выше рассмотренные методы защиты имеют свои достоинства и недостатки при выявлении ВЗ. В этой работе был выбран метод защиты, контролирующей магнитное поле ЭД [8], который обладает наилучшими показателями быстродействия и чувствительности при выявлении ВЗ среди известных методов защит, и способен почувствовать от 1% замкнутых витков, и даже определить поврежденную секцию, как это показано в [9]. Однако, использование такого метода связано с вмешательством в конструкцию ЭД, что значительно усложняет использование такого рода защит, а индивидуальная подборка КИ для каждого типа ЭД делает невозможным их применение в других ЭД. Таким образом наиболее приемлемым вариантом использования таких защит является применение в пожаро- и взрывоопасных средах как на крупных ЭД, так и на ЭД малой мощности, где ранее обнаружение и мгновенное отключение позволит избежать значительного ущерба как для ЭД, так и для обслуживающего персонала.

Результаты и обсуждение

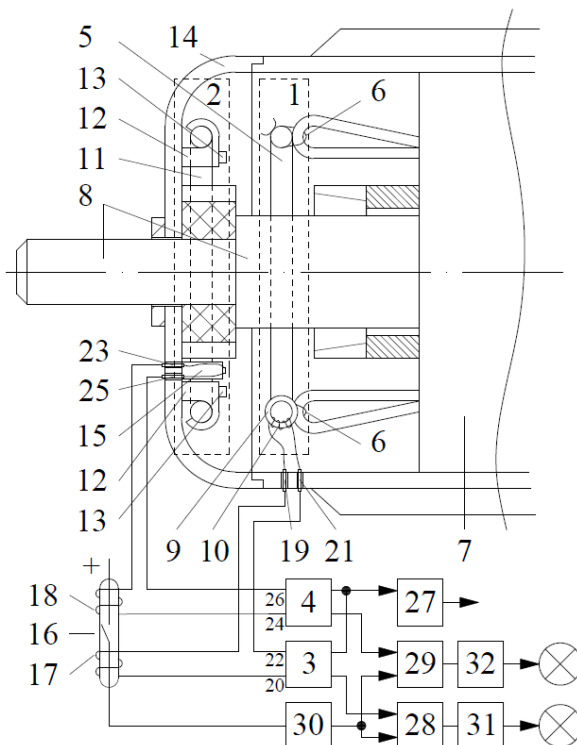


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства защиты и его крепление в лобовой части электродвигателя

Схема предлагаемого устройства защиты ЭД от ВЗ (рис. 1), так же как и в [10] содержит первый 1 и второй 2 блоки (измерительные органы) защиты с первым 3 и вторым 4 реагирующими органами, соответственно. Первый блок 1 защиты состоит из первого кольца 5, которое закреплено при помощи хомутов 6 на статоре 7 внутри электродвигателя так, что его плоскость перпендикулярна оси вращения ротора 8, а геометрический центр находится на этой оси. Первое кольцо 5 выполнено короткозамкнутым и охвачено ферромагнитным сердечником 9, на который намотана первая обмотка 10. Второй блок 2 защиты состоит из второго кольца 11, которое закреплено при помощи хомутов 12 и винтов 13 на подшипниковом щите 14 внутри электродвигателя, также как и первое

кольцо 5. В рассечку второго кольца 11 своей первичной обмоткой подключен трансформатор тока 15.

Геркон 16 со второй 17 и третьей 18 обмотками, включенными встречно друг другу. Первый вывод 19 первой обмотки 10 через вторую обмотку 17 подключен к первому входу 20 первого реагирующего органа 3, а её второй вывод 21 – ко второму входу 22 первого реагирующего органа 3. Первый вывод 23 вторичной обмотки трансформатора тока 15 через третью обмотку 18 подключен к первому входу 24 второго реагирующего органа 4, а её второй вывод 25 – ко второму входу 26 второго реагирующего органа 4. Первые выходы первого 3 и второго 4 реагирующих органов подключены к исполнительному органу 27, а их вторые выходы - к первому 28 и второму 29 элементам И, соответственно. Ко вторым входам первого 28 и второго 29 элементов И через первый элемент ПАМЯТЬ 30 подключен выход геркона 16. Выходы первого 28 и второго 29 элементов И через второй 31 и третий 32 элементы ПАМЯТЬ, соответственно, подключены к цепям сигнализации.

Схема предложенного устройства работает следующим образом. В режимах пуска, нагрузки и холостого хода геометрическая сумма магнитных потоков, созданных токами в фазах, в лобовой части статора 7 ЭД, равны и сдвинуты относительно друг друга на угол 120° . В результате чего сумма магнитных потоков, наведенная на кольцо 5 блока 1 защиты и кольцо 11 блока 2, равна нулю. Напряжение на входах реагирующих органов 3(4) отсутствует. Защита не срабатывает. При ВЗ в любой фазе статора 7 ЭД появляется магнитное поле короткозамкнутого витка, которое нарушает баланс в магнитном поле лобовой статора 7 ЭД, и на кольцах 5(11) индуцируется электродвижущая сила (ЭДС). В результате чего через ферромагнитный сердечник 9 на обмотке 10 индуцируется ЭДС, которая через выводы 19(21) подается к реагирующему органу 3. Одновременно с этим со вторичной обмотки трансформатора тока 15 ЭДС через выводы 23(25) подается к реагирующему органу 4. В реагирующих органах 3(4) наведенные ЭДС сравниваются с эталонными, и в случае их превышения, реагирующие органы через исполнительный орган 27 подают сигналы на отключение ЭД. Защита срабатывает.

Для обеспечения надёжного функционирования защиты контролируют исправность её блоков 1(2) защиты. При ВЗ, в случае

исправности обоеи блоков защиты, нормально разомкнутый геркон 16 со второй 17 и третьей 18 обмотками не срабатывает, т. к. обмотки включены встречно, а токи в них одинаковы и результирующий магнитный поток вызван только небалансом, от которого уставка срабатывания геркона 16 отстроена. При ВЗ, в случае неисправности одного из блоков, например блока 1 защиты, действующая на геркон 16 разность магнитных потоков обмоток превосходит уставку срабатывания, и геркон 16 замыкает свои контакты подавая сигнал на элемент ПАМЯТЬ 30. Сигналы с реагирующего органа 4 и элемента ПАМЯТЬ 30 поступают на вход элемента И 29, с выхода которого сигнал поступает на элемент ПАМЯТЬ 32, который его запомнит. И после срабатывания защиты в цепи сигнализации будет подан сигнал о неисправности блока 1 защиты. Аналогично защита будет работать при неисправности блока 2 защиты.

Информация о финансировании

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP15473215).

Выводы

Предложенная схема устройства защиты электродвигателя от витковых замыканий в одной фазе обладает повышенной надежностью и чувствительностью, за счет использования в качестве датчиков тока (измерительных органов) кольцевых преобразователей, расположенных в лобовой части электродвигателя, и их дублирования вместе с реагирующими органами. Устройство снабжено функциональной диагностикой, которая в дальнейшем позволит исключить ущерб от её несрабатывания, что также повышает её надежность. Эти преимущества позволяют предложенному устройству защиты быть глобально конкурентоспособным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Habetler, T. G.** Current-based condition monitoring of electrical machines in safety critical applications // IEEE In 2008 13th International Power Electronics and Motion Control Conference, (2008, September), pp. 21-26.

2 **Корогодский В. И., Кужеков С. Л., Паперно Л. Б.** Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.: ил.

3 **Farag, S. F., Bartheld, R. G., & May, W. E.** Electronically enhanced low voltage motor protection and control // IEEE In Conference Record Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference 1993, (1993, May), pp. 166-174.

4 **Tallam, R. M., Lee, S. B., Stone, G. C., Kliman, G. B., Yoo, J., Habetler, T. G. and Harley, R. G.** A survey of methods for detection of stator-related faults in induction machines. // IEEE Transactions on Industry Applications, 43(4), 2007, pp.920-933.

5 **Соловьев А. Л.** Защита асинхронных электрических двигателей напряжением 0,4 кВ. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2007. – 96 с.

6 **Андреев В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. – Изд. 4-е, перер. и доп. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 с.

7 **Гимоян Г.Г.** Релейная защита горных электроустановок. Изд.2, перераб. и доп. – М. : «Недра», 1978. – 349 с.

8 **Клецель М. Я., Мануковский А. В., Новожилов А. Н.** Способ защиты электрической машины от коротких замыканий // Авторское свидетельство СССР № 1495896; опубл. 23.07.89, бюл. № 27. – 4 с: ил.

9 **Клецель М. Я., Новожилов А. Н., Поляков В. Е.** Электрическая трехфазная машина с встроенным блоком для защиты от повреждений обмотки статора // Авторское свидетельство СССР № 1046852; опубл. 07.10.83, бюл. № 37. – 3 с: ил.

10 **Клецель М. Я., Калтаев А. Г.** Устройство для защиты электродвигателя от витковых замыканий // Патент РК № 34407; опубл. 19.06.2020, бюл. №24. – 4 с.: ил.

REFERENCES

1 **Habetler, T. G.** Current-based condition monitoring of electrical machines in safety critical applications // IEEE In 2008 13th International Power Electronics and Motion Control Conference, (2008, September), pp. 21-26.

2 **Korogodskij, V. I., Kuzhekov, S. L., Paperno, L. B.** Relejnaya zashhita e`lektrodvigatelej napryazheniem vy`she 1 kV. – Moscow : E`nergoatomizdat, 1987. – 248 s.: il.

3 **Farag, S. F., Bartheld, R. G., & May, W. E.** Electronically enhanced low voltage motor protection and control // IEEE In Conference Record Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference 1993, (1993, May), pp. 166-174.

4 **Tallam, R.M., Lee, S. B., Stone, G. C., Kliman, G. B., Yoo, J., Habetler, T. G. and Harley, R. G.** A survey of methods for detection of stator-related faults in induction machines. // IEEE Transactions on Industry Applications, 43(4), 2007, pp.920-933.

5 **Solov`ev, A.L.** Zashhita asinkhronny`kh e`lektricheskikh dvigatelej napryazheniem 0,4 kV. – Moscow : NTF «E`nergoprogress», 2007. – 96 p.

6 **Andreev, V. A.** Relejnaya zashhita i avtomatika sistem e`lektrosnabzheniya: uchebnik dlya vuzov. – Izd. 4-e, perer. i dop. – Moscow : Vy`sshaya shkola, 2006. – 639 p.

7 **Gimoyan, G. G.** Relejnaya zashhita gorny`kh e`lektrostanovok. Izd.2, pererab. i dop. – Moscow : «Nedra», 1978. – 349 p.

8 **Kleczel`, M. Ya., Manukovskij, A. V., Novozhilov, A. N.** Sposob zashhity` e`lektricheskoy mashiny` ot korotkikh zamy`kanij // Avtorskoe svidetel`stvo SSSR № 1495896; opubl. 23.07.89, byul. № 27. – 4 s: il.

9 **Kleczel`, M. Ya., Novozhilov, A. N., Polyakov, V. E.** E`lektricheskaya trekhfaznaya mashina s vstroenny`m blokom dlya zashhity` ot povrezhdenij obmotki statora // Avtorskoe svidetel`stvo SSSR № 1046852; opubl. 07.10.83, byul. № 37. – 3 s: il.

10 **Kleczel`, M. Ya., Kaltayev, A. G.** Ustrojstvo dlya zashhity` e`lektrodvigatelya ot vitkovy`kh zamy`kanij // Patent RK № 34407; opubl. 19.06.2020, byul. №24. – 4 s.: il.

Поступило в редакцию 01.05.24.

Поступило с исправлениями 01.05.24.

Принято в печать 02.06.24.

А. Г. Калтаев

Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

01.05.24 ж. баспаға түсті.

01.05.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЭЛЕКТР ҚОЗГАЛТҚЫШЫН ОРАМДЫҚ ТҰЙЫҚТАЛУДАН ҚОРҒАУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ

Электр қозғалтқыштарының қазіргі заманғы ток қорғанысы, негізінен, орамдық тұйықталуларға сезімталдығының төмендігіне байланысты оларды ескермейді және нәтижесінде егер орамдардың көп саны тұйықталса ғана немесе орамдық тұйықталу фаза аралық тұйықталуға ауысса ғана іске қосылады. Электр қозғалтқышының ішіндегі орамдық тұйықталуларды анықтауға мүмкіндік беретін қорғаудың заманауи әдістері қарастырылды, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері атап өтілді. Орамдық тұйықталуларға ең сезімтал – бұл статор ұшы мен мойынтірек қалқаны арасындағы электр қозғалтқышының алдыңғы бөлігіне орналастырылған индуктивтілік катушкалардың көмегімен магнит өрісін бақылайтын әдіс. Осы әдіс бойынша құрылған электр қозғалтқышының статорының бір фазасында орамдық тұйықталудан қорғау құрылғысының схемасы ұсынылған. Қорғаныс құрылғысының схемасының сенімділігін арттыру үшін өлшеу және әсер ету органдарының қосарлануы және функционалды диагностика қолданылды. Оның принципі орамдық тұйықталу кезінде қорғаныстың өлшеу органдарының дұрыстығын бақылау болып табылады, бұл қорғаныс құрылғысының іске қосылмауынан болатын зиянды болдырмауға мүмкіндік береді. Диагностика герконды басқару орамаларының ішіне орналастыру арқылы жүзеге асырылады, олардың шықпасы қорғаныстың өлшеу органдарына қосылған. Орамдық тұйықтау кезінде қорғаныс құрылғысында орамдық тұйықталуларды анықтауда және ақауларды анықтауда қорғаныс принципі егжей-тегжейлі сипатталған.

Кілтті сөздер: релелік қорғаныс, электр қозғалтқышы, магнит өрісінің индукциясы, диагностика, геркон, орамдық тұйықталулар.

A. G. Kaltayev

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 01.05.24.

Received in revised form 01.05.24.

Accepted for publication 02.06.24.

DEVICE FOR PROTECTING ELECTRIC MOTOR AGAINST TURN FAILURES

It is noted that modern current protection of electric motors generally do not take into account turn-to-turn faults due to low sensitivity to them, and as a result they react only if more turns are closed or the turn-to-turn fault turns into a phase-to-phase fault. Modern protection methods are considered that make it possible to detect turn short circuits inside the electric motor, and their advantages and disadvantages are noted. It was revealed that the most sensitive to turn short circuits is the method that controls the magnetic field using inductors placed inside the frontal part of the electric motor between the stator end and the bearing shield. A scheme for protection against turn faults in one phase of an electric motor stator, built using this method, is proposed. To increase the reliability of the protection device circuit, duplication of measuring and response organs and functional diagnostics were used. The principle of which is to monitor the serviceability of the measuring protection elements during a turn fault, which makes it possible to eliminate damage from the failure of the protection device. Diagnostics is carried out by placing a reed switch inside the control windings, the outputs of which are connected to the measuring protection elements. The principle of operation of the protection when detecting turn faults and identifying a malfunction in the protection device during a turn fault is described in detail.

Keywords: relay protection, electric motor, magnetic field induction, diagnostics, reed switch, turn circuits.

Теруге 03.06.2024 ж. жіберілді. Басуға 28.06.2024 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

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4248

Сдано в набор 03.06.2024 г. Подписано в печать 28.06.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4248

«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