

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

№ 3 (2025)

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/TPDW7598>

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 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., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
	<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

<https://doi.org/10.48081/BXYE1381>**А. Н. Новожилов¹, *Ж. С. Исенов², Т. А. Новожилов³**^{1,2}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;³Омский Государственный технический университет,
Российская Федерация, г. Омск.¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7530-5034>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2388-602X>³ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0293-7852>*e-mail: issenov.zh@gmail.com

ЧАСТИЧНЫЕ РАЗРЯДЫ, ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЯ

В процессе эксплуатации электрических машин высокого напряжения под воздействием номинального напряжения различного вида перенапряжений на изоляции обмоток статора возникают частичные разряды.

Частичные разряды, как правило, являются следствием появления дефектов возникающих в изоляции статора электрических машин при ее изготовлении или в результате эксплуатации. Они с течением времени разрушают молекулярные структуры изоляции и вызывают ее нагрев. При этом скорость разрушения изоляции зависит от вида изоляции и ее свойств и может продолжаться от нескольких месяцев до нескольких лет. На практике для защиты изоляции от поверхностных ЧР поверхность обмоток статоров покрывают полупроводящим покрытием.

Однако достаточно часто причинами образования ЧР в обмотке изоляции статора с неповрежденной изоляцией являются поверхностное загрязнение обмотки статора, а также появление на ней влажности.

В связи с этим в статье рассмотрены такие разделы этого явления как природа возникновения частичного разряда, причины возникновения, их типы, внутренние разряды, внутренние расслоения, а также отслоения от проводника, разряды в лобовых частях и разряды в пазу, электропроводящие частицы, их признаки, параметры и последствия частичных разрядов.

Ключевые слова: Электрические машины, обмотка статора, изоляция обмоток, искровой разряд, частичные разряды.

Введение

Сведения о частичных разрядах (ЧР) появилась в начале двадцатого столетия практически одновременно с созданием высоковольтного электрооборудования. В это время изоляция электрооборудования имела достаточный запас электрической прочности и работала при относительно низкой напряженности электрического поля. Поэтому её повреждения из-за недостаточной электрической прочности возникали крайне редко, а дефекты от возникновения ЧР были незначительны [1]. В дальнейшем в связи с совершенствованием высоковольтных электрических машин ситуация стала меняться. Принимаемые конструктивные решения в виде уменьшения размеров электрических машин и расходных материалов используемых на их изготовление привели к повышению напряженности электрического поля. В результате изоляция таких электрических машин оказалась более подверженной действию ЧР [2].

Материалы и методы

ЧР стандартом IEC60270 определяется как: «локальный электрический разряд, частично шунтирующий изоляцию между проводниками обмотки статора. Он является следствием локальных концентраций электрических напряжений в изоляции или на поверхности изоляции. Обычно он проявляется в виде искрового разряда очень маленькой мощности [1]. При этом длительность ЧР составляет намного меньше 1 микросекунды» [3].

ЧР может образоваться как внутри высоковольтной изоляции, так и на ее поверхности. Обычно одиночный ЧР не влечёт за собой особой опасности, так как не приводит к сквозному пробое изоляции. Однако длительное существование ЧР следующих один за другим, как правило, сопровождается местным разрушением диэлектрика. Картина местного разрушения диэлектрика ЧР приведена на рисунке 1 в виде затемненной области.

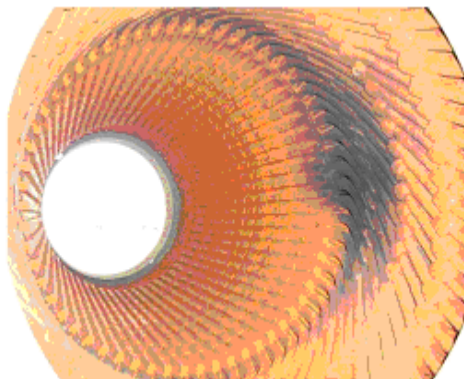


Рисунок 1 – Пример воздействия ЧР на изоляцию обмотки статора электрической машины

В свою очередь местное разрушение диэлектрика приводит к нарушению электрической прочности обмотки статора и сопровождается возникновением короткого замыкания (КЗ) в ней.

Основными причинами возникновения практически всех видов ЧР принято считать дефекты изготовления изоляции обмотки статора, ее старение и износ, а также различного рода перенапряжения, возникающие в процессе эксплуатации. Дефекты изготовления изоляции обмотки статора выражаются в наличии в ней газовых пустот, вкрапления шлаков или примесей, а также капельки жидкости. Наличие дефектов в изоляции приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости изоляции, увеличению напряженности электрического поля в области дефекта, приводящей к разряду через него. Со временем из-за длительных воздействий ЧР, например, через газовые пустоты их физический размер может увеличиваться [4].

В тоже время достаточно часто причинами образования ЧР в обмотке статора с неповрежденной изоляцией являются поверхностное загрязнение обмотки статора, а также появление на ней влажности.

В связи с этим в зависимости от причины и места возникновения ЧР их можно достаточно условно разделить на внутренние и поверхностные разряды. Внутренние разряды вызываются наличием инородных вкраплений и расслоением изоляции, отслоением изоляции от проводников секции, которые возникают в пазах и лобовых частях. Поверхностные разряды обычно возникают в результате загрязнения поверхности лобовых частей обмотки статора.

Технология производства изоляции обмоток статоров высоковольтных вращающихся машин, выполняемая из слюды пропитанной компаундом, непрерывно совершенствуется. Несмотря на это в процессе производства этой изоляции в ней образуется некоторое количество внутренних пустот. Физические размеры этих внутренних пустот незначительны. Однако в процессе эксплуатации электрической машины под воздействием ЧР возникающих в этих пустотах размеры этих пустот могут увеличиваться. Но пока они не превышают определенных размеров, эксплуатационная надежность изоляции обмотки статора не уменьшается.

Внутреннее расслоение внутри главной изоляции может быть вызвано чрезмерными механическими нагрузками и тепловыми напряжениями во время работы. Возникновение при этом крупных полостей может достигать больших площадей. Это, с одной стороны, приводит к возникновению ЧР с относительно высокой энергией, которые оказывают значительное влияние на качество изоляции, а с другой стороны это расслоение уменьшает теплопроводность изоляции. Что сопровождается ускоренным ее старением или даже выходом из строя. Поэтому при наличии ЧР необходимо уделить внимание возможности возникновения таких расслоений.

Периодические изменения теплового режима электрической машины могут вызвать отслоение медного проводника от изоляции витка или секции. Это может привести к появлению внутренних пустот, возникновению ЧР и общему снижению эксплуатационной надежности изоляции обмотки статора.

Подавляющее большинство разрядов, наблюдаемых в пазах высоковольтных машин, связано с нарушением целостности проводящего покрытия изоляции секций. Типичный сценарий возникновения такого повреждения включает вибрационные воздействия, которые приводят к ослаблению посадки секций в пазу, что, в свою очередь, вызывает их перемещение. Помимо других причин, проводящий слой подвержен разрушению вследствие эрозии и абразивного износа. Также его целостность может быть нарушена из-за воздействия химически агрессивных сред или наличия производственных дефектов. Мощность разряда, возникающего при таких повреждениях, напрямую коррелирует с их размерами. Если повреждения проводящего покрытия значительны, а изоляция имеет серьезные механические повреждения, это может спровоцировать дополнительное повреждение основной изоляции и привести к ее пробою.

На ранних стадиях разряды в пазу представляют собой вибрационное искрообразование. То есть в прямом смысле не являются ЧР. Это следует из того, что такое искрообразование может также происходить и в частях обмоток с низким электрическим потенциалом относительно корпуса. В частности, вблизи нулевой точки звезды. Время между появлением разрядов

в пазу и пробоем изоляции может быть различным. Оно может быть и небольшим. Поэтому при обнаружении следов разрядов в пазу следует незамедлительно осуществить проведение ремонтных работ.

Высокая напряженность электрического поля в лобовых частях обмотки статора является причиной возникновения частичных разрядов, которые обычно локализуются в промежутках между элементами обмотки. Потеря эффективности защитного покрытия лобовых частей обмоток, которое призвано снижать напряженность поля, может быть вызвана различными факторами, такими как конструктивные недостатки, загрязнение, пористость или температурные воздействия. В результате этого возникает поверхностный разряд, приводящий к существенной эрозии материалов. Несмотря на то, что сам процесс эрозии обычно протекает медленно, поведение ЧР может характеризоваться быстрыми изменениями, обусловленными поверхностными эффектами. Важно отметить, что ЧР также может возникать между фазами, например, вследствие нарушения изоляционных зазоров между вводными зажимами, между зажимами и выступающими элементами конструкции, или между лобовой частью обмотки и землей[5].

Загрязнение поверхности обмотки статора электропроводящими включениями, особенно наноразмерными, способствует возникновению интенсивных локальных ЧР. Данный эффект приводит к деградации изоляционного материала, проявляющейся в виде эрозии (раковин) и микроразрывов (микротрещин)[5].

Электропроводящие частицы представляют собой в составе различные соединения и материалы. Наиболее часто встречаются углеродные электропроводящие частицы в виде пыли, сажи, графита или углеродных нанотрубок. Соединение углеродных нанотрубок и материалов подобных графиту образуют наночастицы. Эти наночастицы отличаются химической стабильностью. Их электропроводность определяется контактными явлениями, так как они являются полупроводниками или полуметаллами.

При наличии трущихся металлических элементов в электрических машинах возможно образование металлических микро- и наночастиц. Они отличаются низким уровнем удельного электрического сопротивления. Обычно они загрязняют поверхность лобовых частей обмотки статора. Такие частицы имеют, а также их сплавы. Наиболее опасными являются включения толщиной 0,25–0,6 мм, в которых частичные разряды происходят у машин с наиболее низкими номинальными напряжениями [2].

Как правило, появление ЧР сопровождается [6] появлением импульсного тока в обмотке статора и электромагнитным излучением в окружающем пространстве, разложением изоляции на молекулярные группы под

воздействием ЧР и локальным нагревом изоляции, возникновением светового излучения и появлением ударных волн.

При этом импульсные токи, циркулирующие по обмотке статора, в конечном счете разряжаются на землю.

Ультрафиолетовое излучение наиболее ярко проявляется при коронном эффекте. Оно связано с испусканием электромагнитного излучения в диапазоне частот ультрафиолетового излучения.

Появление ударных волн [7] характеризуется появлением ультразвука, частота которого намного выше той, которую может обнаружить здоровый человек. Обычно эти ударные волны, генерируемые частичными разрядами, имеют очень высокие частоты, которые могут достигать порядка 100 МГц. [8].

Как отмечено практикой эксплуатации высоковольтных электрических машин чаще всего последствия периодически повторяющихся ЧР заключаются в разрушении высоковольтную изоляцию из-за обугливания и эрозии наружной части изоляции в зоне дефекта. Это «скрытый» период развития дефекта. Пример такой эрозии изоляции показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Последствия воздействия периодически повторяющихся ЧР на обмотку статора электрической машины

Результаты и обсуждение

Развитие зоны дефекта, рано или поздно, приводит к дуговому пробое всего изоляционного промежутка. Обычно разрушение изоляции, под действием частичных разрядов, происходит достаточно долго в течение многих месяцев, и даже лет [1]. В основном длительность этого процесса зависит от величины рабочего напряжения электрической вращающейся машины.

Когда внутри изоляционного материала имеется достаточное количество токопроводящих промежутков, его изолирующая способность снижается даже при нормальных условиях эксплуатации. На практике эти разряды самые редкие [9]. Для изоляции двигателей и генераторов эксплуатируемых на электрических станциях и промышленных предприятиях [10] основную опасность представляют перенапряжения. Обычно в сетях 3 – 10кВт с изолированной нейтралью они возникают при однофазных замыканиях на землю и резонансных явлениях в сети [11], а также при различных коммутационных переключениях [12].

ЧР измеряется в пикокулонах. Физически этот параметр ЧР определен величиной заряда перенесенного одним импульсом ЧР. В некоторых случаях для теоретического исследования процессов происходящих в изоляции обмотки статора используется понятие «кажущегося разряда». В соответствии с [1, 2] за кажущийся заряд ЧР принимают такой заряд, который введенный между выводами исследуемого объекта, вызовет такое изменение напряжения между этими выводами как реальный ЧР. Измерение кажущегося разряда также осуществляется в пикокулонах.

Выводы

Как показал анализ причин возникновения ЧР и их последствий, то с большой вероятностью можно утверждать, что появлением импульсного тока в обмотке статора и электромагнитным излучением в окружающем пространстве, а также разложением изоляции на молекулярные группы под воздействием ЧР и локальным нагревом изоляции, что как следствие приводит к возникновению светового излучения и появлением ударных волн.

Одним из частых дефектов изготовления изоляции обмотки статора выражаются в наличии в ней газовых пустот, вкрапления шлаков или примесей, а также капельки жидкости. Наличие дефектов в изоляции приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости изоляции, увеличению напряженности электрического поля в области дефекта, приводящей к возникновению ЧР.

Разработка новых более чувствительных методов диагностики выявления ЧР в изоляции обмотки статора, что повлияет в последствии на работоспособность и уменьшение процента выхода из строя электрических машин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Сви, П. М.** Контроль изоляции оборудования высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, –1988 г. – 128 с.

2 **Кучинский Г. С., Кизеветтер, В. В., Пинталь, Ю. С.** Изоляция установок высокого напряжения. – М. : Энергоатомиздат, 2001 – 386 с.

3 ГОСТ Р 55191-2012 (МЭК 60270:2000) Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов.

4 Сви, П. М. Измерения частичных разрядов при эксплуатационном контроле силовых трансформаторов // Электричество. – 1977 – № 2. – С. 45–50.

5 ГОСТ ИЕС/TS 60034-27-2015, Машины электрические вращающиеся. Часть 27. Измерения частичного разряда на изоляции статорной обмотки отключенных от сети вращающихся электрических машин. – М. : Стандартинформ, 2016.

6 Андреев, А. М., Азизов, А. Ш., Андреев, И. А., Смирнов, А. Н., Степанов, А. А., Назаров, Г. А. Особенности измерения частичных разрядов в системах изоляции статорных обмоток высоковольтных электрических машин // Надежность и безопасность энергетики. 2021 – 14. – (1). – С. 61–68. – <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-61-68>.

7 Вдовико, В. П. Оперативная диагностика электрической изоляции высоковольтного оборудования под рабочим напряжением. Новосибирск, Сибирский НИИ энергетики, 1995. – 358 с.

8 Сви, П. М. Измерения частичных разрядов в изоляции оборудования высокого напряжения энергосистем. – М. : Энергия, 1977 г. 199 с.

9 Андрюхин С. П., Вдовико В. П. Установка для обнаружения и измерения частичных разрядов в изоляции высоковольтных аппаратов. В кн. Электрофизическая аппаратура и электрическая изоляция. – М. : Энергия, 1970. – С. 438–442.

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

11 Александров Г. Н. Ограничение перенапряжений в электрических сетях. Учебное пособие. : – Санкт-Петербург: изд. центром подготовки кадров, 2003. – 292 с.

12 Новожилов, А. Н., Колесников, Е. Н., Исупова, Н. А., Кудабаяев, Д. А. Анализ методов моделирования коммутационных переходных процессов в электрических сетях с изолированной нейтралью // Электротехника, – 2013. – С. 7–10.

REFERENCES

1 Svi, P. M. Kontrol' izolyacii oborudovaniya vysokogo napryazheniya. [Insulation monitoring of high voltage equipment] [Text]. – М. : Energoatomizdat, –1988. – 128 p.

2 **Kuchinskij, G. S., Kizevetter, V. V., Pintal' Yu. S.** Izolyaciya ustanovok vysokogo napryazheniya, [Isolation of high voltage installations] [Text]. – М. : Energoatomizdat, 2001. – 386 p.

3 GOST R 55191-2012 (MEK 60270:2000) Metody ispytaniy vysokim napryazheniem. Izmereniya chastichnyh razryadov. [High-voltage testing methods. Partial discharge measurements] [Text].

4 **Svi, P. M.** Izmereniya chastichnyh razryadov pri ekspluatacionnom kontrole silovyh transformatorov [Measurement of partial discharges during operational control of power transformers] [Text]. // Elektrichestvo. – 1977. – № 2. – P. 45–50.

5 GOST IEC/TS 60034-27-2015, Electric rotating machines. Part 27. Partial discharge measurements on the insulation of the stator winding of rotating electrical machines disconnected from the mains, [Electric rotating machines. Part 27. Partial discharge measurements on the insulation of the stator winding of rotating electrical machines disconnected from the mains] [Text] – М. : Standartinform, 2016.

6 **Andreev, A. M., Azizov, A. Sh., Andreev, I. A., Smirnov, A. N., Stepanov, A. A., Nazarov, G. A.** Osobennosti izmereniya chastichnyh razryadov v sistemah izolyacii statornyh obmotok vysokovol'tnyh elektricheskikh mashin. [Features of measuring partial discharges in the insulation systems of stator windings of high-voltage electrical machines. [Text] Reliability and safety of the energy sector] – 2021; – 14(1) – 61–68. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-61-68>.

7 **Vdoviko, V. P.** Operativnaya diagnostika elektricheskoy izolyacii vysokovol'tnogo oborudovaniya pod rabochim napryazheniem [Operational diagnostics of electrical insulation of high-voltage equipment under operating voltage] [Text] Novosibirsk, Sibirskiy NII energetiki, – 1995.–358 p.

8 **Svi, P. M.** Izmereniya chastichnyh razryadov v izolyacii oborudovaniya vysokogo napryazheniya energosistem [Measurements of partial discharges in the insulation of high-voltage power system equipment] [Text]. – М. : Energiya, 1977. – 199 p.

9 **Andryuhin, S. P., Vdoviko V. P.** Ustanovka dlya obnaruzheniya i izmereniya chastichnyh razryadov v izolyacii vysokovol'tnyh apparatov [Installation for detecting and measuring partial discharges in the insulation of high-voltage apparatus] [Text] // V kn. Elektrofizicheskaya apparatura i elektricheskaya izolyaciya. – М. : Energiya, 1970. P. 438–442.

10 **Korogodskij, V. I., Kuzhekov, S. L., Paperno, L. B.** Relejnaya zashchita elektrodvigatelej napryazheniem vyshe 1 kV [Relay protection of electric motors with a voltage above 1 kV] [Text] -М.: Energoatomizdat, 1987. – 248 p.

11 **Aleksandrov, G. N.** Ogranichenie perenapryazhenij v elektricheskikh setyah [Limiting overvoltage in electrical networks] [Text]: Uchebnoe posobie. : – Sankt-Peterburg: izd. centrom podgotovki kadrov, 2003. – 292 p.

12 Novozhilov, A. N., Kolesnikov, E. N., Isupova, N. A., Kudabaev, D. A. Analiz metodov modelirovaniya kommutatsionnyh perekhodnyh processov v elektricheskikh setyah s izolirovannoj nejtral'yu [Analysis of methods for modeling switching transients in electrical networks with isolated neutral] [Text] Elektrotehnika. – 2013. – P. 7–10.

Поступило в редакцию 18.08.25

Поступило с исправлениями 03.09.25

Принято в печать 05.09.25

А. Н. Новожилов¹, *Ж. С. Исенов², Т. А. Новожилов³

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

³Омбы Мемлекеттік техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Омбы қ.

18.08.25 ж. баспаға түсті.

03.09.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.09.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖАРТЫЛАЙ РАЗРЯДТАР, ОЛАРДЫҢ СЕБЕПТЕРІ ЖӘНЕ САЛДАРЫ

Жоғары кернеулі электр машиналарын пайдалану кезінде статор орамаларының оқшаулауында әртүрлі кернеулердің номиналды кернеуінің әсерінен ішінара разряд пайда болады.

Ішінара разрядтар, әдетте, электр машиналарының статорын оқшаулау кезінде немесе оны пайдалану кезінде пайда болатын ақаулардың салдары болып табылады. Олар уақыт өте келе оқшаулаудың молекулалық құрылымдарын бұзады және оны қыздырады. Сонымен қатар, оқшаулаудың бұзылу жылдамдығы оқшаулау түріне және оның қасиеттеріне байланысты және бірнеше айдан бірнеше жылға дейін созылуы мүмкін. Іс жүзінде оқшаулауды беттік CFR-ден қорғау үшін статор орамдарының беті жартылай өткізгіш жабынмен жабылған.

Алайда, көбінесе статорды оқшаулау орамасында зақымданбаған оқшаулаумен ТЖ пайда болу себептері статор орамасының беткі ластануы, сондай-ақ ондағы ылғалдылықтың пайда болуы болып табылады.

Осыған байланысты мақалада осы құбылыстың ішінара разрядтың пайда болу сипаты, пайда болу себептері, олардың түрлері, ішкі разрядтар, ішкі стратификациялар, сондай-ақ

өткізгіштен бөліну, фронтальды бөліктердегі разрядтар және ойықтағы разрядтар, электр өткізгіш бөліктер, олардың белгілері, параметрлері және ішінара разрядтардың салдары сияқты бөлімдері қарастырылады.

Кілтті сөздер: Электр машиналары, статор орамасы, орамаларды оқшаулау, ұшқын разряды, ішінара разрядтар.

*A. N. Novozhilov¹, *Zh. S. Issenov², T. A. Novozhilov³*

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

³Omsk State Technical University, Russian Federation, Omsk.

Received 18.08.25.

Received in revised form 03.09.25.

Accepted for publication 05.09.25.

PARTIAL DISCHARGES, THEIR CAUSES AND CONSEQUENCES

During the operation of high-voltage electrical machines, partial discharges occur on the insulation of the stator windings under the influence of rated voltage of various types of overvoltages.

Partial discharges are usually the result of defects occurring in the insulation of the stator of electrical machines during its manufacture or as a result of operation. Over time, they destroy the molecular structures of the insulation and cause it to heat up. At the same time, the rate of insulation destruction depends on the type of insulation and its properties and can last from several months to several years. In practice, to protect the insulation from surface damage, the surface of the stator windings is coated with a semi-conducting coating.

However, quite often the causes of CR formation in the stator insulation winding with intact insulation are surface contamination of the stator winding, as well as the appearance of moisture on it.

In this regard, the article discusses such sections of this phenomenon as the nature of partial discharge, causes, types, internal discharges, internal stratifications, as well as detachment from the conductor, discharges in the frontal parts and discharges in the groove, electrically conductive particles, their signs, parameters and consequences of partial discharges.

Keywords: Electrical machines, stator winding, winding insulation, spark discharge, partial discharges.

Теруге 09.09.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb 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 № 4447

Сдано в набор 09.09.2025 г. Подписано в печать 30.09.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4447

«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