

Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennye nauchnye dostizhenija i ih prakticheskoe primenenie (20-22 oktjabrja, 2014)». – Kyiv. : Znannja Ukraïni, 2014. . 7 – 15. Print 3. Maljarenko V. A., Shherbak I. E., Kolotilo I.D, Lysak L.V. *Vozmozhnosti integracii jelektroenergii v sistemah garjachego vodosnabzhenija ZhKH. Jenergosberezhe-nie Jenergetika Jenergoaudit*. No 3. 2014. . 53–57. Print 4. Maljarenko V. A., I.E. Nechmoglod, Shherbak I. E., Kolotilo I.D. *Neravnomernost' grafika nagruzki jenergosistemy i sposoby ee vyravnivaniija. Svitlo-tehnika ta elektroenergetika*. No. 4. 2011. 61 – 66. Print. 5. V.B. Gorjainov, I.V. Pavlov, G.M. Cvetkova *Matematicheskaja statistika: Ucheb. dlja vuzov Moscow. : Izd-vo MGTU im. N.Je. Baumana, 2001.*

Надійшла (received) 11.11.2014

УДК 621.315

С.Г. ЛОМОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОЛЛЕКТОРА МПТ (Часть 2)

Экспериментально проверена возможность увеличения электрической прочности коллектора машин постоянного тока за счет применения в поверхностном слое межламельной изоляции композиционного диэлектрического материала с существенно различными значениями диэлектрической проницаемости. Экспериментально доказано увеличение электрической прочности коллектора МПТ не менее чем на 25% при наличии в межламельном промежутке порошка BaTiO₃

Ключевые слова: изоляция, коллектор машин постоянного тока.

Введение. Теоретический расчет повышения электрической прочности коллектора при применении в межламельной изоляции материалов с существенно различными значениями диэлектрической проницаемости, представленной в первой части работы, строится на основе достаточно упрощенных моделей, что делает необходимым экспериментальное подтверждение полученных ранее теоретических результатов.

Цель работы. Целью второй части работы являются экспериментальные исследования электрической прочности машины МПТ при наличии в составе нежелезистой изоляции порошка BaTiO₃

Основной материал исследований. Экспериментальные исследования электрической прочности коллектора проводились в два этапа: - предварительные исследования модели межламельного промежутка коллектора; - экспериментальные исследования стойкости к возникновению кругового огня на коллекторе тягового двигателя типа ЭД-112А.

Были изготовлены экспериментальные образцы, представляющие собой две коллекторные пластины и изоляционный промежуток, содержащий порошок BaTiO₃.

Поверхность изоляционного промежутка находится на одном уровне с поверхностью коллекторных пластин и тщательно обработана. Ширина изоляционного промежутка откалибрована таким образом, что для всех образцов она находится в пределах 1,53...1,55 мм. Были выполнены образцы, содержащие 0; 0,5; 1; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60 объемных процентов BaTiO₃ в композиции. Размер

© С.Г. Ломов. 2014

зерен поликристаллического BaTiO_3 после размолла на шаровой мельнице составлял 10...15 мкм. На этих образцах исследовалось влияние BaTiO_3 на величину поверхностного пробивного напряжения.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

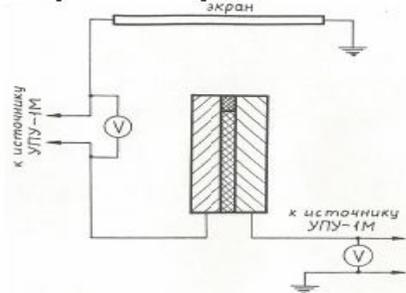


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки

Один источник типа УПУ-1М используется в качестве источника регулируемого постоянного напряжения для создания на одной из коллекторных пластин потенциала, отличного от нуля, то есть условия, при котором возникает эффект изменения направления вектора напряженности электрического поля на поверхности изоляционного промежутка. Экран с нулевым потенциалом иммитирует распределенную емкость над поверхностью изоляционного промежутка. В качестве источника пробивного напряжения использовался второй источник типа УПУ-1М. При нахождении поверхности изоляционного промежутка на одном уровне с рабочей поверхностью коллекторных пластин проще обеспечить равенство поверхностного сопротивления для всех образцов. Были изготовлены 19 образцов модели межламельного промежутка, на поверхности которых иммитировался слой загрязнения. Сопротивление этого слоя определялось методом амперметр-вольтметр на постоянном напряжении. Идентичность сопротивления для всех образцов обеспечивалась следующим образом. Испытуемая поверхность межламельного промежутка покрывалась тонким слоем смеси порошка графита с маслом, а затем эта поверхность (совместно с рабочей поверхностью коллекторных пластин) полировалась мелкой шлифовальной бумагой до определенных величин силы тока, фиксируемых микроамперметром типа М198/1 (предел измерения 1мкА). Таким образом удалось добиться величины сопротивления для всех образцов, лежащей в пределах $5,2 \cdot 10^8 \dots 4,4 \cdot 10^8$ Ом. Вначале осуществлялся поверхностный пробой при переменном напряжении образцов с различным процентным содержанием BaTiO_3 . Сложность изготовления большого

количества образцов заставила проводить пробой на одном образце для каждого процентного содержания BaTiO_3 . Результаты этих исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Пробой образцов межламельной изоляции коллектора МПТ

Объемное процентное содержание BaTiO_3 , %	Поверхностное сопротивление изоляции $R \times 10^8$, Ом	Пробивное напряжение, кВ
-	5,26	2,4
0,5	4,54	2,8
1	5,2	2,9
5	5,13	3,0
10	4,7	3,0
20	4,76	3,0
30	4,54	3,2
40	4,4	3,3
50	4,65	3,1
60	4,9	2,4

По результатам этой части исследований максимальное увеличение электрической прочности межламельного промежутка наступает при нахождении 30...40 объемных процентов BaTiO_3 в изоляционной композиции поверхностного слоя. После этого для увеличения достоверности полученных результатов были изготовлены четыре образца, содержащие по 35% BaTiO_3 и четыре образца без BaTiO_3 . Были проведены аналогичные испытания, результаты которых приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Пробой образцов межламельной изоляции коллектора МПТ.

Объемное процентное содержание BaTiO_3	Поверхностное сопротивление изоляции $R \times 10^8$, Ом	Пробивное напряжение, кВ	
		для одного образца	среднее для группы образцов
-	5,18	2,4	2,35
-	4,54	2,3	
-	4,9	2,4	
-	5,0	2,3	
35	4,48	3,4	3,37
35	4,65	3,2	
35	5,26	3,2	
35	4,76	3,7	

По результатам первого этапа экспериментальных исследований на модели межламельного промежутка коллектора можно отметить следующее:

- наличие в составе межламельной изоляции BaTiO_3 увеличивает напряжение поверхностного пробоя модели межламельного промежутка коллектора МПТ;
- увеличение пробивного напряжения на модели может свидетельствовать о повышении стойкости межламельного промежутка с титанатом бария реального коллектора к возникновению единичной вспышки между смежными пластинами при эксплуатации;
- максимальное увеличение электрической прочности модели межламельного промежутка происходит при 35...40 объемных процентах BaTiO_3 и составило примерно 40% по сравнению с однородной изоляцией.

В реально эксплуатируемом коллекторе МПТ условия возникновения пробоя между смежными коллекторными пластинами отличаются от рассмотренных выше и полученные результаты необходимо дополнить результатами эксперимента на работающем двигателе. С этой целью был поставлен эксперимент на реальном серийном, напряженном в потенциальном отношении тяговом двигателе постоянного тока ЭД-112А. В ряде работ предлагается оценка стойкости коллектора МПТ к возникновению кругового огня методом разрядной установки, имитирующей единичные вспышки на коллекторе. В [1] впервые детально изложен метод и результаты экспериментального исследования возникновения кругового огня у работающего под нагрузкой тягового двигателя. В [2] доказана возможность проведения эксперимента с разрядной установкой в режиме холостого хода двигателя, что значительно упрощает эксперимент. Такой эксперимент на тяговом двигателе был проведен в два этапа:

1. Определение границы возникновения кругового огня на штатном коллекторе тягового тепловозного двигателя ЭД-112А. Здесь были использованы данные, приведенные в [2].

2. Определение границы возникновения кругового огня на том же коллекторе после введения в межламельную изоляцию на глубину 2...2,5 мм композиции с 35% BaTiO_3 . Здесь, как и ранее для моделей межламельного промежутка, в качестве связующего использовалась эпоксидная смола.

В коллекторной камере (см. рис.2) было смонтировано устройство для перемещения электрода разрядной установки вдоль дуги коллектора. Конструкция и расчет разрядной установки приведены в [2].

Она дает возможность получать вспышки между электродом и коллекторной пластиной длительностью от 30 до 300 мкс. Максимальное межламельное напряжение для двигателя ЭД-112А находится на 29-ой коллекторной пластине по дуге коллектора между щеточными болтами.



Рис. 2 – Коллекторная камера.

В таблице 3 приведены результаты экспериментального определения граничных условий вспышек и кругового огня на штатном коллекторе при холостом ходе двигателя ЭД-112А.

Таблица 3 – Электрическая прочность штатного коллектора тягового двигателя ЭД-112А

U, В	I _в , А	n, с ⁻¹	ΔU, В	τ _и , мкс	Эффект от разряда. Разряд на 29 кол. пласт.
1140	395	34,2	36,8	131	4 разряда. Вспышек нет.
1140	395	34,2	36,8	170	2 разряда. 1 вспышка.
1170	384	34,2	37,7	133	1 разряд. Вспышек нет.
1170	384	34,2	37,7	169	4 разряда. 3 вспышки.
1200	375	37,1	39,2	120	4 разряда. 2 вспышки.
1200	375	37,1	39,2	160	7 разрядов. 3 вспышки.
1200	375	37,1	39,2	194	1 разряд. Вспышки нет.
1200	375	37,1	39,2	205	1 разряд. Круговой огонь. Чистка коллектора
1200	375	37,1	39,2	118	1 разряд. Есть вспышка.
1200	375	37,1	39,2	160	1 разряд. Круговой огонь. Чистка коллектора
1200	375	37,1	39,2	119	1 разряд. Есть вспышка.
1200	375	37,1	39,2	155	4 разряда. 1 вспышка.
1200	375	37,1	39,2	190	2 разряда. Круговой огонь. Чистка коллект.

В таблице 4 приведены результаты испытания на стойкость коллектора к возникновению кругового огня для двигателя, межламельный промежуток которого содержал дополнительный композиционный диэлектрический слой глубиной 2...2,5 мм с 35 объемными процентами $BaTiO_3$. Подобным образом препарировался тот же коллектор после испытаний, результаты которых представлены выше.

В таблицах 3 и 4 приняты следующие обозначения: U – напряжение питания двигателя; I_B – ток якоря двигателя; n – частота вращения двигателя; ΔU – максимальное межламельное напряжение на коллекторе; $\tau_{и}$ – длительность одного разрядного импульса.

Таблица 4 – Электрическая прочность препарированного коллектора тягового двигателя ЭД-112А

$U, В$	$I_B, А$	$n, с^{-1}$	$\Delta U, В$	$\tau_{и}, мкс$	Эффект от разряда. Количество разрядов 4 Разряд на 29-ой коллекторной пластине.
1200	400	34,2	39,2	175	Вспышек и кругового огня нет.
1250	400	34,2	41,5	189	Вспышек и кругового огня нет.
1250	400	34,2	41,5	210	Вспышек и кругового огня нет.
1300	450	34,2	43,5	210	Вспышек и кругового огня нет.
1320	500	34,2	44,5	180	Вспышек и кругового огня нет.
1320	500	34,2	44,5	210	Вспышек и кругового огня нет.
1350	520	34,2	45,1	210	Вспышек и кругового огня нет.
1380	540	34,2	46,2	180	Вспышек и кругового огня нет.
1380	540	34,2	46,2	210	Вспышек и кругового огня нет.
1400	580	34,2	47,2	180	Вспышек и кругового огня нет.
1400	580	34,2	47,2	210	Вспышек и кругового огня нет.
1420	590	34,2	48,3	180	Одна вспышка.
1420	590	34,2	48,3	210	Две вспышки.
1430	595	34,2	49,2	180	Две вспышки.
1430	595	34,2	49,2	210	Две вспышки.
1440	600	34,2	50	180	Круговой огонь

Выводы: Применение в составе межламельной изоляции коллектора МПТ диэлектрического композиционного слоя, содержащего 35...40 объемных процентов $BaTiO_3$, позволит увеличить стойкость коллектора к возникновению кругового огня не менее, чем на 25% без изменения электромагнитных и геометрических параметров МПТ. Данный вывод также свидетельствует о возможности повышения питающего напряжения МПТ без уменьшения надежности работы щеточно-коллекторного узла.

Список литературы: 1. Каменецкий Б.Г. Условия возникновения кругового огня на коллекторе тягового электродвигателя. / А.Я. Егоро, Б.Г. Каменецкий // Электротехника. – 1967. – № 5. – С. 21-24. 2. Хануков Б.Г. Коммутационная и потенциальная устойчивость тяговых электродвигателей мощностью до 600 кВт. Дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. – Харьков, 1980, 184с.

Bibliography (transliterated): 1. Kameheshkij B. G. Egro A. Ja. *Uclovija vznikovenija krugovogo ognja na kollektore tjavovogo dvigatelja*. Elektrotehnika. No. 5. 1967. 21-24. Print. 2. Hanykov. B. G. *Kommutacionnaja I potencialnaja ystoichivost' elektrodvigatelej moshnost'ju do 600 kWt*. Kharkov, 1980.

Поступила (received) 19.10..2013