

В обычной системе регулирования в этой ситуации приоткроеется шибер ВГД и дымососа, а в предлагаемой увеличится частота питающего напряжения а следовательно и расход воздуха через котел.

Немаловажным является использование режима плавного пуска, поскольку, это дает возможность значительно повысить срок службы двигателей и приводных механизмов.

Для окончательного принятия решения о возможности такого питания собственных нужд необходимо рассмотреть вопросы надежной работы каждой группы основных механизмов и агрегатов с точки зрения обеспечения оптимальных режимов работы технологического оборудования. Проанализировать на основе моделей их работу в нормальных, переходных и аварийных режимах, вопросы защиты от перенапряжений и самозапуска двигателей, разработать алгоритмы управления частотным преобразователем в указанных режимах, а также разработать рекомендации по повышению надежности работы частотно-регулируемого привода. Результаты этих исследований будут опубликованы в следующих статьях авторов.

**Список литературы:** 1. Тепловое оборудование и тепловые сети/ Г.В.Арсеньев, В.П.Белюсов, А.А.Дронченко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 400с. 2. Электрическая часть электростанций/ С.В.Усов, Б.Н.Михаев, А.К.Череповец и др. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 616с.

*Поступила в редколлегию 09.12.2013*

УДК 621.311

**Анализ работы ТЭЦ по тепловому графику нагрузки в летний период /**

**Лазуренко А.П., Кругол Н.М.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. - № 59 (1032). – С. 79 - 83

В статті розглянуті особливості роботи ТЕЦ по тепловому графіку навантаження в літній період. Запропоновано використання перетворювачів частоти для живлення груп двигунів власних потреб ТЕЦ, при цьому використовуючи мережу частотою 50Гц як резервне джерело живлення. Іл.: 2. Табл.: 0. Бібліогр.: 2 назв.

**Ключові слова:** ТЕЦ, власні потреби, перетворювач частоти, схема з двома системами шин, теплофікація.

The article describes the features of the CHP thermal loading schedule in the summer. Proposed use of the frequency converters for powering the group's own needs CHP engines, while using a network frequency of 50 Hz, as a backup power source. Fig.: 2. Tabl: 0. Bibliogr.: 2 title.

**Keywords:** CHP, own need, the scheme with two systems tyres, cogeneration

УДК 621.315

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОЛЛЕКТОРА МПТ (Часть 1)**

Теоретически показана 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.

**Ключевые слова:** изоляция, коллектор машин постоянного тока.

**Введение.** Повышение питающего напряжения – одна из основных возможностей повышения удельной мощности машин постоянного тока (МПТ). Одним из основных сдерживающих факторов повышения этого напряжения является электрическая прочность коллектора МПТ. Под термином «электрическая прочность коллектора» здесь и ниже понимается стойкость коллектора МПТ к возникновению, как полного газоразрядного пробоя по его поверхности между щеточными траверсами (круговой огонь), так и частичных разрядов между смежными коллекторными пластинами (вспышки на коллекторе). В основе всех современных практических критериев электрической прочности коллектора МПТ лежат величины межламельного напряжения или его градиента. Однако, опыт эксплуатации крупных и напряженных в потенциальном отношении МПТ дает примеры того, что возникают перекрытия по коллектору у машин, обладающим значительным теоретическим запасом электрической прочности коллектора по всем известным критериям. Очевидно, что межламельный промежуток на коллекторе, как и весь токосъемный узел МПТ должны стать предметом более детального изучения с точки зрения происходящих в них процессов.

Несмотря на важность вопроса об электрической прочности коллектора, в теории возникновения и развития кругового огня на коллекторе до настоящего времени много спорных положений, отсутствует единая точка зрения на причину возникновения, развития и количественных критериев этого явления. Эти обстоятельства заставляют проектировщиков быть осторожными в увеличении питающего напряжения МПТ.

**Анализ публикаций.** В настоящее время существуют две основные теории возникновения кругового огня. Первая считает, что

© С. Г. Ломов, 2013

инициатором кругового огня является поверхностный пробой изоляции двух смежных коллекторных пластин в области максимальных межламельных напряжений, который в литературе называется «единичной вспышкой» [2,3]. Вторая теория считает, что повышение напряжения между смежными коллекторными пластинами играет лишь вспомогательную роль в возникновении кругового огня. По этой теории начальная дуга загорается на коллекторе под щеткой в результате расстройств коммутации или механических причин (подпрыгивание щетки вытягивается из-под последней и поддерживается между сбегавшей гранью щетки и уходящими из-под неё коллекторными пластинами. По мере продвижения дуги увеличение напряжения между смежными пластинами поддерживает дугу [4]. Некоторые авторы пытаются объединить изложенные выше два основных взгляда на природу возникновения кругового огня, показывая, что эти теории не противоречат, а дополняют друг друга. Мы считаем, что каков бы ни был истинный механизм и причины возникновения кругового огня, величина напряжения между смежными коллекторными пластинами является основным фактором, определяющим протекание этого процесса.

**Целью данной работы.** Теоретическое и экспериментальное исследования возможности повышения питающего напряжения МПТ большой и предельной мощностей без изменения электромагнитных и геометрических параметров МПТ.

**Основной материал исследований.** Рассмотрим поверхностный (загрязненный) слой межламельной изоляции на коллекторе МПТ. Для расчета токов и напряжений в этом слое воспользуемся методом эквивалентных схем. В 1940 году Мантров М.И. в [1] впервые предложил этот метод для расчета тока и напряжения по поверхности проходного изолятора. Межламельный промежуток на коллекторе МПТ может быть представлен эквивалентной схемой, представленной на рис. 1.

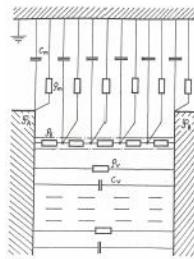


Рис. 1 – Эквивалентная схема межламельного промежутка

Штрих-пунктирными линиями выделен рассматриваемый слой загрязнения или в общем случае поверхностный слой межламельной изоляции с удельным сопротивлением току проводимости  $\rho_s$ . Между смежными коллекторными пластинами существует удельное объемное сопротивление  $\rho_v$  и удельная емкостная связь  $c_v$ . Воздушный промежуток над поверхностным слоем изоляции обладает распределенной удельной емкостью  $c_m$ . Теоретически воздушный промежуток обладает удельным сопротивлением  $\rho_m$ . При расчетах по данной эквивалентной схеме приняты следующие допущения: коллектор в осевом направлении является бесконечным и величины  $\rho_s$ ,  $\rho_m$ ,  $c_m$ ,  $c_v$  считаются на один метр длины коллектора; распределенная удельная емкость  $c_m$  одинакова по всей ширине межламельного промежутка и существует только над поверхностью изоляции; потенциалы  $\theta_A$  и  $\theta_B$  изменяются по синусоиде и синфазно; токи, протекающие в объеме межламельной изоляции, значительно меньше поверхностных токов и они исключены из рассмотрения. На рис. 2 схематически показаны токи, протекающие на поверхности межламельной изоляции.

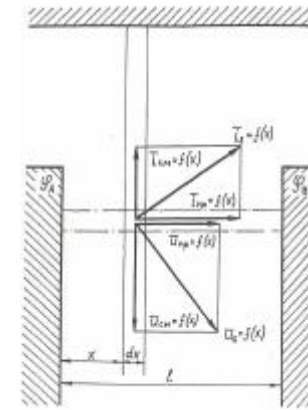


Рис. 2 – Токи на поверхности межламельной изоляции

При известном спектральном анализе кривой межламельного напряжения метод расчета тока в поверхностном слое изоляции заключается в следующем: 1) Рассчитывается в нескольких определенных точках  $n$  по ширине  $l$  межламельного промежутка вектор тока  $\vec{i}_s$ , соответствующий первой гармонике межламельного напряжению. При этом величина потенциала  $\theta_B$  принимается равной якорному напряжению МПТ, а потенциал  $\theta_A$  меньше на максимальную величину межламельного напряжения данной гармоники в данной

точке коллектора. 2) В тех же точках и рассчитывается вектор тока  $\vec{i}_s$  для последующих гармоник  $v$ . При этом потенциал  $\theta_A$  принимается равным нулю, а потенциал  $\theta_B$  равным части межламельного напряжения для соответствующей гармоники. Для рассматриваемого диапазона частот удельные емкостные параметры на коллекторе МПТ принимаются постоянными. 3) В каждой точке и рассчитывается вектор тока  $\sum_{i=1}^v \vec{i}_s$  как геометрическая сумма векторов  $\vec{i}_s$  для всех рассмотренных гармоник. 4) Рассчитывается вектор тока  $\vec{I}_s$ , как среднее значение вектора тока  $\sum_{i=1}^v \vec{i}_s$  по ширине межламельного промежутка.

$$\vec{I}_s = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^v \vec{i}_s \right)}{n} \quad (1)$$

Модуль вектора поверхностного тока  $|\vec{I}_s|$ , по нашему мнению может служить объективным критерием стойкости коллектора МПТ к возникновению кругового огня. Рассмотрим решение для поверхностного тока при синусоидальном межламельном напряжении. Воспользовавшись первым и вторым законами Кирхгофа можно записать систему уравнений для тока и напряжения на поверхности изоляции межламельного промежутка в соответствии с эквивалентной схемой.

$$-\frac{d\vec{i}_s}{dx} = \vec{\sigma} \times \left( \frac{d\vec{u}_s}{dx} \right) \quad (2)$$

$$-\frac{d\vec{u}_s}{dx} = \vec{Z} \times \vec{i}_s, \quad (3)$$

где  $\vec{\sigma} = (1/\rho_s + 1/\rho_m) + j\omega t$ ,  $\vec{Z} = (\rho_s + \rho_m) + j(1/\omega C_m)$  (4)

При синусоидальной форме приложенного к межламельному промежутку напряжения:

$$\vec{u}_s = \vec{U}_s \times \exp(j\omega t); \quad \vec{i}_s = \vec{I}_s \times \exp(j\omega t) \quad (5)$$

система уравнений (2,3) переписывается в виде:

$$-\frac{d\vec{I}_s}{dx} = (\vec{\sigma} + j\omega \vec{C}_m) \times \vec{U}_s \quad (6)$$

$$-\frac{d\vec{U}_s}{dx} = \vec{Z}_s \times \vec{I}_s \quad (7)$$

Мы получили систему уравнений для векторов, сдвинутых только в пространстве. Были рассчитаны по (6,7) несколько сотен вариантов изменения поверхностного тока при изменении параметров межламельного промежутка  $\vec{I}_s = \psi(c_m, \rho_s, \theta_A, \theta_B, l, f)$ . Расчеты показали значительное влияние емкостной составляющей на величину полного поверхностного тока межламельной изоляции коллектора МПТ, особенно при наличии в спектре межламельного напряжения высокочастотных гармоник.

Естественным является вопрос, если определяемый нами полный поверхностный ток  $|\vec{I}_s|$  является одним из критериев электрической прочности коллектора, то есть ли у нас возможность уменьшения величины этого тока и тем самым увеличения электрической прочности коллектора без изменения геометрических и электромагнитных параметров самой МПТ. Составляющая тока проводимости  $\vec{i}_{np}$  в поверхностном токе  $\vec{i}_s$  определяется реальным загрязнением межламельного промежутка при эксплуатации МПТ, лежит в широких пределах  $10^2 \dots 10^6$  Ом/м и регулироваться нами не может. Можно ли уменьшить емкостную составляющую полного тока. Ответить на этот вопрос важно, потому что расчеты показали – емкостная составляющая в большинстве случаев реальной эксплуатации МПТ значительно больше составляющей тока проводимости.

Рассмотрим распределение электрического поля в кусочно-однородных идеальных диэлектрических средах с существенно различными значениями диэлектрической проницаемости  $\epsilon_i$ . На рис. 3 показан многослойный диэлектрик, заключенный между электродами А и В. Границы раздела диэлектриков со значениями  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  нормальны к линиям напряженности внешнего электрического поля  $E_{внешн}$ .



Рис. 3 – Многослойный диэлектрик, заключенный между электродами А и В.

Система уравнений Максвелла для идеальных диэлектрических сред дает ряд следующих соотношений для кусочно- однородной среды.

$$\oint \vec{D} ds = 0; \int_0^{\varepsilon_1} \vec{D} ds + \int_0^{\varepsilon_2} \vec{D} ds = -D_1 + D_2 = 0; \quad (8)$$

$$\vec{D}_1 = \vec{D}_2; \vec{D} = \varepsilon \vec{E}; \vec{E}_1 = \vec{D}_1 / \varepsilon_1; \vec{E}_2 = \vec{D}_2 / \varepsilon_2;$$

Для показанной на рис.3 области можно записать выражение потенциалов на границах раздела в абсолютных величинах в соответствии с (8)

$$|(\theta_A - \theta_1)| + |(\theta_1 - \theta_2)| + \dots + |(\theta_{n-1} - \theta_n)| + |(\theta_n - \theta_B)| = |(\theta_A^* - \theta_B^*)| \quad (9)$$

или в общем виде:

$$\sum_{i=1}^n |(\theta_i - \theta_{i+1})| = |(\theta_A^* - \theta_B^*)| \quad (10)$$

Нами было высказано предположение, что при определенных значениях  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  и размерах слоев диэлектриков математически должно выполняться соотношение:

$$|(\theta_A^* - \theta_B^*)| > |(\theta_A - \theta_B)| \quad (11)$$

Физически условие (11) невыполнимо, потенциалы на смежных коллекторных пластинах не могут изменяться из-за состава межламельной изоляции и всегда должно выполняться соотношение:

$$|(\theta_A^* - \theta_B^*)| = |(\theta_A - \theta_B)|, \quad (12)$$

что математически обеспечивается условием:

$$|\theta_1| < |\theta_A| < |\theta_B| \quad (13)$$

Физически условие (13) соответствует изменению направления вектора напряженности электрического поля на поверхности межламельной изоляции в интервале между электродами А и В.

Предложена конструкция коллектора МПТ, показанная на рис. 4.

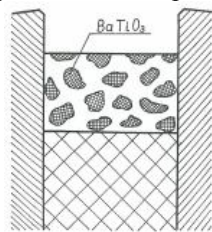


Рис. 4 – Конструкция коллектора МПТ

Миканитовая межламельная изоляция фрезеруется (продораживается) на несколько большую глубину, чем обычная изоляция (на глубину 2...2,5 мм). Продороженный объем заполняется смесью поликристаллического порошка титаната бария BaTiO<sub>3</sub> и связующего, обеспечивающего достаточные механическую и адгезионную прочности. Для определения оптимального процентного содержания и геометрических размеров включений BaTiO<sub>3</sub> в поверхностном слое изоляции были проведены расчеты электрического поля в этой области, некоторые результаты которых показаны на рис.5. Относительная диэлектрическая проницаемость BaTiO<sub>3</sub> принята постоянной и не зависящей от напряженности электрического поля, а размеры зерен BaTiO<sub>3</sub> приняты прямоугольными и одинаковыми. В целом кусочно-однородная среда считается, как идеально диэлектрическая, то есть для расчетной области решается классическое уравнение Лапласа. Зная распределение электрического поля в объеме кусочно-однородной среды, (в частности, на поверхности межламельной изоляции) мы можем рассчитать полный поверхностный ток  $|\vec{I}'_s|$  аналогично.

Увеличение электрической прочности П коллектора рассчитывается как:

$$П = (|\vec{I}'_s - \vec{I}_s| / \vec{I}_s) \cdot 100 \% \quad (14)$$

Увеличение электрической прочности П коллектора в широком диапазоне расчетных параметров оставалось практически постоянным и находилось в пределах 29...31%. Так как расчеты проводились при достаточно идеализированных условиях, очевидна необходимость экспериментальной проверки теоретически полученного эффекта увеличения электрической прочности коллектора МПТ, что будет представлено во второй части работы.

**Выводы.** Основным выводом данной части работы является то, что теоретически показана возможность увеличения электрической прочности коллектора без изменения электромагнитных и геометрических параметров МПТ.

**Список литературы:** 1. Мантров М. И. Электрические разряды на поверхности диэлектрика / М. И. Мантров // Электричество. – 1940. – № 9. – С. 23-27. 2. Иоффе А. Б. Потенциальные условия на коллекторе высоковольтных тяговых электродвигателей и пути их облегчения / А. Б. Иоффе // Электричество. – 1954. – № 1. – С. 12-18. 3. Рабешко А. С. Экспериментальное исследование кругового огня на тяговом некомпенсированном электродвигателе / А. С. Рабешко, В. Я. Элснис, Б. Г. Хануков // Электромашиностроение и электрооборудование. – 1979. – № 29. – С. 78-81. 4. Саенко Н. Л. Возникновение кругового огня по коллектору тягового электродвигателя / Н. Л. Саенко // Электротехническая промышленность. Сер.: Тяговое и подъемно-транспортное

электрооборудование. – 1976. – № 1. – С. 16-18. 5. *Ермолин Н. П.* Переходные процессы в машинах переменного тока / *Н. П. Ермолин.* – М. : Энергоиздат, 1951. – 336 с.

*Надійшла до редколегії 21.10.2013*

УДК 621.315

**Повышение электрической прочности коллектора МПТ / С. Г. Ломов // Вісник НТУ «ХПІ».** Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 59 (1032). – С. 84–91. – Бібліогр.: 5 назв.

Теоретично показана можливість збільшення електричної міцності колектора машин постійного струму за рахунок використання в поверхневому шарі міжлAMEЛЬНОЇ ізоляції композиційного діелектричного матеріалу із різними значеннями діелектричної проникності.

**Ключові слова:** ізоляція, колектор машин постійного струму.

Possibility of incensement electric strength of electric machine electric insulation is shown.

**Keywords:** insulation, collector of electric machine

УДК 644.11:УДК 728.1

**Л.І.ЛИСЕНКО**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»  
**І.Ю.КОЗЛОВА**, студент НТУ «ХПІ»

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСУ НТУ «ХПІ»**

У статті проаналізовано засоби підвищення якості теплопостачання спорткомплексу НТУ «ХПІ» і класу енергетичної ефективності його будівлі. Оцінено економічна та екологічна ефективність запропонованих засобів.

**Ключові слова:** теплопостачання, клас енергетичної ефективності, підвищення ефективності.

**Вступ.** Першим кроком до забезпечення енергетичної ефективності в Україні є енергетична паспортизація будівель, яка оцінює об'єми споживаної об'єктом енергії (електроенергії, опалення, гарячого і холодного водопостачання, каналізації). Ефективне використання енергозберігаючих технологій є актуальним для України, оскільки це дозволить значно зменшити споживання первинних енергоресурсів.

Об'єктом дослідження в даній роботі є спортивний комплекс НТУ «ХПІ», який являє собою окремо розташовану триповерхову споруду, побудовану з білої силікатної цегли. Спорткомплекс має легкоатлетичний манеж, 14 спортивних залів, два басейни. Також є конференц-зал, навчальні аудиторії, зал для занять спеціальної медичної групи. Особливістю даного об'єкта з точки зору проектування системи теплопостачання є підтримка різних температурних режимів у об'ємно-планувальних елементах споруди.

Метою даної роботи є аналіз деяких засобів підвищення енергетичної ефективності спорткомплексу НТУ «ХПІ».

**Розрахунок індивідуального теплового пункту для теплопостачання спорткомплексу НТУ «ХПІ»**

Системи опалення будівлі і гарячого водопостачання підключені до системи централізованого теплопостачання (ЦТП). Плавальні басейни обладнані системами водообміну рециркуляційного типу, підігрів води здійснюється в опалювальний період за допомогою централізованої системи опалювання. в літні місяці - електричними установками.

Фактичне теплоспоживання спорткомплексу за 2012 рік, за наданими даними, склало 1,914 млн. кВт·год на опалення та 329,7 тис кВт·год на гаряче водопостачання. Проектні річні витрати теплової

© Л. І. Лисенко, І. Ю. Козлова, 2013