

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЩЕТОЧНО-КОЛЛЕКТОРНОГО УЗЛА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Е.П. Богданов

Томский политехнический университет

E-mail: bogdanov@t-sk.ru

Представлен вариант экранировки полей рассеивания воздушного зазора синхронного генератора. Показано, что экранированием магнитного и электрического помеховых полей и их плоских волн в диапазоне частот от 0,15 до 1000 МГц, а также выполнением нескольких рядов отдельных отверстий по ширине щетки в верхней части крылообразных приливов обеспечивается снижение потерь генератора и повышение электромагнитной совместимости с радиоэлектронными системами различного назначения.

Ключевые слова:

Электромагнитная совместимость, щеточно-коллекторный узел, электромагнитные помеховые волны, эффективность экранирования.

Key words:

Electromagnetic compatibility, brush-collector assembly, electromagnetic noise waves, shielding efficiency.

Интенсификация глобальных техногенных процессов связана с созданием новых искусственных интеллектуальных систем, многоуровневой информатизацией, развитием телекоммуникационных систем связи и сложнейшими технологическими процессами энергообмена и энергоснабжения на качественно высоком уровне.

Налицо интенсивный процесс компьютеризированного насыщения научной, производственной и бытовой сфер радиоэлектронными приборами, средствами связи и новыми технологиями, базирующимися на последних достижениях электро-, радиотехники и электроники. При этом любые радиоэлектронные системы особо чувствительны к воздействию промышленных паразитных электромагнитных полей радиопомех. Существенный фон в формирование сложной электромагнитной обстановки вносят излучения со стороны различного рода энергетических и промышленных электроустановок, вырабатывающих электрическую энергию. Действие таких промышленных электромагнитных помех распространяется практически на весь используемый спектр частот (от 0,15 до 1000 МГц и выше) [1]. Это приводит к нарушениям в работе как наземного, так и бортового или подвижного электрооборудования и радиоэлектронных систем различного применения, что может привести к выходу их из строя, сбоям, авариям и к катастрофическим последствиям.

Существенную роль в формировании сложной электромагнитной обстановки играют излучения со стороны различных энергетических и промышленных электроустановок, вырабатывающих электрическую энергию.

ГОСТ 13109-97 [2] определяет номенклатурный ряд показателей качества электрической энергии, обеспечивающих по сети питания повышенные требования к электромагнитной совместимости различных потребителей энергии. Так, к существенно энергоемким потребителям электрической энергии относятся исполнительные электродвига-

тели, сварочные аппараты, различные бытовые электроприборы и радиоэлектронная аппаратура.

Многими авторами в России и за рубежом [3–5] высказывается единогласное мнение, что для повышения качества электромагнитной совместимости источников электроснабжения и улучшения качества вырабатываемой ими электроэнергии необходимо применять новые технологии, обеспечивать высокий уровень производственного цикла. Кроме этого, следует разрабатывать конструктивные решения и встроенные системы фильтрации, обеспечивающие подавление паразитных электромагнитных полей радиопомех в местах их непосредственного возникновения.

Таким образом, возникла задача снижения допустимых уровней напряжений, токов и напряженностей полей радиопомех от энергетических и промышленных радиоустановок, вырабатывающих электрическую энергию, т. е. актуальна проблема обеспечения высокого качества электромагнитной совместимости, особенно автономных источников электро- и энергоснабжения.

Предложено следующее решение поставленной задачи. В щеточно-коллекторном узле электрической машины в нижней части по всей ширине щеткодержателя со стороны набегающего и сбегающего краев щетки выполнены полые крылообразные приливы, а между щеткой и полыми приливами со стороны набегающего и сбегающего краев щетки расположены перегородки. При этом над каждым узким продольным проёмом установлен на поворотной оси козырек. Его носовая часть отогнута вверх. Между полыми приливами через щетку и перегородки выполнен связующий канал, образованный за счет того, что в щетке между полыми приливами выполнены сквозные отверстия. Центры отверстий поочередно смещены вправо и влево от вертикальной оси щетки на расстояния, равные радиусу сквозных отверстий. В перегородках у набегающего и сбегающего краев щетки на одном уровне выполнены отверстия, которые по мере из-

носа щетки по высоте будут совмещены со сквозными отверстиями в щетке [3].

Согласно полезной модели в верхней части крылообразных приливов по ширине щетки выполнены отверстия диаметром от 2 до 4 мм, сгруппированные в ряды матричного типа с шагом от центров отверстий поочередно со смещением вправо и влево на величину удвоенного диаметра отверстий.

Поверхность щеткодержателя вместе с полыми крылообразными приливами, обращенная к коллектору, по своей геометрии соответствует геометрии коллектора. Расстояние между щеткодержателем вместе с приливами, а также с перегородками как со стороны набегающего, так и со стороны сбегающего краев щетки, относительно цилиндрической поверхности коллектора должно быть минимальным, но достаточным для обеспечения надежной механической работы электрической машины. Выполнение этого требования необходимо, чтобы обеспечить протекание большего количества воздуха вместе с захваченными продуктами износа щеток и коллектора поверх прилива. Тогда меньшая часть объема воздушного потока с минимальным количеством продуктов износа попадет в полость прилива щеткодержателя со стороны набегающего края щетки.

Характерной особенностью помеховых электромагнитных полей является их прямолинейное распространение путем отражения от препятствий.

Поэтому выполнение минимального воздушного зазора и расположение носовой части крылообразных полых приливов ниже уровня условной касательной линии, проведенной к точкам набегающего и сбегающего щеток, обеспечивает локализацию помеховых электромагнитных полей от коммутационного контакта внутри полых крылообразных приливов. Указанные приливы выполнены из ферромагнитного металла, так как при каждом отражении от внутренней поверхности полого прилива происходит и одновременное частичное поглощение (до 15 %) их электромагнитной энергии.

При многократном отражении с одновременным поглощением, электромагнитные помеховые поля от скользящего контакта теряют до 80...90 % своей энергии в приливах щеткодержателя, при этом паразитным рассеянным полем, проникающим через минимальный воздушный зазор между коллектором и ферромагнитным щеткодержателем, в первом приближении можно пренебречь.

Перегорodka, установленная между полостью прилива у набегающего и сбегающего краев щетки, сохраняет стабильность работы щетки при вращении коллектора независимо от высоты полости приливов. Предложенный щеточно-коллекторный узел электрической машины исключает возможность скопления продуктов износа щеток и коллектора в пространстве между щеткой и щеткодержателем. Это устраняет заклинивание щетки в колодце щеткодержателя, а также устраняет попадание продуктов износа в скользящий электриче-

ский контакт, чем обеспечивается надежное и стабильное контактирование щетки с коллектором независимо от направления вращения якоря машины. Кроме того, обеспечивается снижение искрения и уровня радиопомех данного класса электрических машин.

Замена узкого продольного проема в верхней части полых крылообразных приливов на отдельные отверстия, сгруппированные в ряды матричного типа, с шагом от центров отверстий поочередно со смещением вправо и влево, например, на величину удвоенного диаметра для круглых отверстий позволяет эффективно «разбивать» электромагнитные помеховые волны от силового коммутационного контакта. Для верхней частоты защищаемого диапазона 1000 МГц длина волны $\lambda = 3 \cdot 10^{-1}$ м. Проникающая способность электромагнитных помеховых полей оценивается как $\lambda/2$. В машинах малой мощности при длине узкого продольного проема более $(1,2...1,4) \cdot 10^{-2}$ м срабатывает пороговое условие проникновения электромагнитных помеховых волн. Эти волны наводят паразитные ЭДС в лобовых частях обмоток, соединительных проводах и щеточных канатиках машины, чем обуславливаются повышенные уровни радиопомех от данного класса машин. При выполнении вместо узкого продольного проема отдельных круглых отверстий, сгруппированных в ряды матричного типа с экспериментально определенным диаметром 2...4 мм, условие для проникновения паразитных электромагнитных волн даже для частоты 1000 МГц не выполняется. Это происходит из-за того, что диаметр отдельных отверстий заведомо меньше половины длины волны $d < \lambda/2$. Поэтому электромагнитные волны как бы «разбиваются» и не проникают через указанные отверстия. Этим, *во-первых*, повышается экранировка скользящего контакта за счет увеличения заградительного волнового эффекта каждого отдельного отверстия независимо от его конфигурации. *Во-вторых*, отверстия указанного типа вместо узкого продольного проема, меньше препятствуют свободному замыканию вихревых токов в крылообразном приливе (экране).

Таким образом, данная конструкция щеточно-коллекторного узла электрической машины в совокупности обеспечивает более стабильную работу коммутационного скользящего контакта в сравнении с прототипом [4]. Кроме этого, эффективно экранирует его паразитные электромагнитные поля, чем существенно повышает качество электромагнитной совместимости коллекторных электрических машин с радиоэлектронными системами различного назначения во всем защищаемом диапазоне частот от 0,15 до 1000 МГц.

Предложенная конструкция щеточно-коллекторного узла электрической машины поясняется чертежами: на рис. 1 показан поперечный разрез щеточно-коллекторного узла, где стрелкой V показано направление вращения коллектора, на рис. 2 показана увеличенная часть вида А с вырывом.

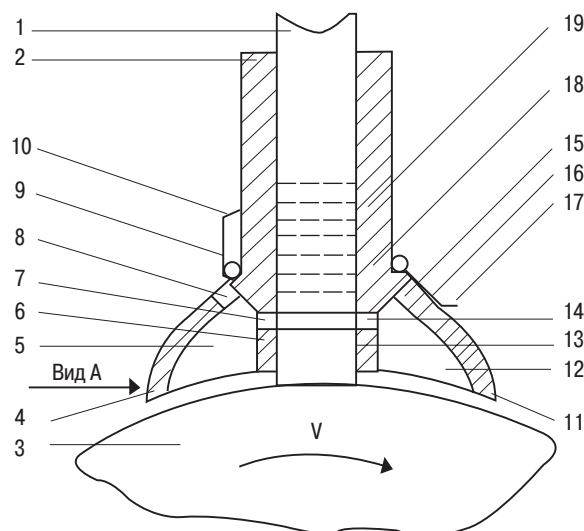


Рис. 1. Поперечный разрез щеточно-коллекторного узла

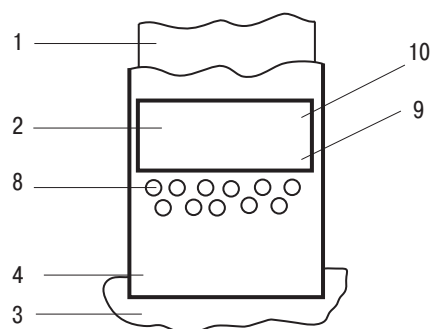


Рис. 2. Увеличенная часть вида А с вырывом

Щеточно-коллекторный узел электрической машины содержит щетку — 1, щеткодержатель — 2, коллектор — 3, крылообразный прилив щеткодержателя со стороны набегающего края щетки — 4, полость прилива — 5, перегородку — 6, овальное отверстие в перегородке — 7, отдельные круглые отверстия — 8 (сгруппированы в два ряда по ширине щетки в верхней части прилива), козырек — 9 из тонкой металлической фольги на поворотной оси, носовая часть — 10 которого отогнута вверх. Прилив — 11 с полостью — 12 со стороны сбегающего края щетки, 13 — перегородка между щеткой и полостью прилива, 14 — отверстие овальной формы в перегородке, 15 — отдельные отверстия в верхней части прилива, выполненные в несколько рядов по ширине щетки. 16 — козырек, закрывающий все отдельные отверстия, выполненные в несколько рядов в верхней части прилива, 17 — носовая часть козырька, отогнутая вверх, 18 — связующий канал между полостями приливов, 19 — сквозные отверстия в щетке, центры которых поочередно смещены от вертикальной оси щетки на расстояние, равное радиусу отверстий.

Устройство работает следующим образом. Основной поток воздуха с продуктами износа, захваченный коллектором, отсекается приливом и напирает на отогнутую вверх носовую часть козырька, поднимает его в вертикальное положение и тем

самым открывает все отдельные отверстия, выполненные в несколько рядов в верхней части прилива со стороны набегающего края щетки. Поток воздуха в работающей машине удерживает козырек с набегающей стороны щетки в открытом вертикальном положении, пока не произойдет реверс машины. За счет аэродинамического эффекта давление в струе основного отсеченного потока воздуха над приливом со стороны набегающего края щетки всегда будет меньше давления в полости и тем более давления в полости прилива со стороны сбегающего края щетки. Козырек со стороны сбегающего края щетки плотно прикрывает отверстия, выполненные в несколько рядов, и исключает подсос воздуха через них.

Таким образом, создается отсасывающий эффект. Небольшая часть продуктов износа, попавшая в полость через зазор между приливом и коллектором, и продукты износа, попавшие в эту полость через связующий канал и овальные отверстия из полости со стороны сбегающего края щетки, удаляются из полости через отверстия. Отверстия выполнены в несколько рядов в верхней части прилива. Продукты износа, подхваченные общим вентиляционным потоком, выбрасываются из машины. При реверсе машины прилив становится уже со стороны набегающего края щетки, а за счет полной симметрии приливов работа данного щеточно-коллекторного узла аналогична описанной выше.

При работе машины с постоянным износом щетки по высоте, для обеспечения постоянного поперечного сечения связующего канала между полостями, в щетке выполнены сквозные отверстия, центры которых смещены поочередно вправо и влево от вертикальной оси щетки на расстояния равные радиусу этих отверстий. Отверстия в щетке выполняют по высоте, заложенной на размер допустимого износа в щетке. По мере износа щетки, отверстия одновременно совмещаются с овальными отверстиями, выполненными в перегородках, тем самым непрерывно обеспечивается работа связующего канала между полостями с постоянным поперечным сечением.

Перегородки сохраняют стабильность работы щетки независимо от высоты полости приливов. Толщина перегородок выбирается из условия обеспечения механической прочности щеточно-коллекторного узла.

Угол атаки и кривизну профиля полых крылообразных приливов выбирается из условия образования лучшего аэродинамического эффекта и эффективности экранирования высокочастотных электромагнитных полей радиопомех от коммутирующего скользящего контакта. На практике при правильной настройке нейтрали в электрической машине, как правило, наиболее интенсивное искрение наблюдается под сбегающим краем щетки. Именно у полого крылообразного прилива все отверстия, выполненные в несколько рядов, плотно прикрываются козырьком, что и обеспечивает

полное и эффективное экранирование отверстий со стороны сбегающего края щетки. Высококачественное электромагнитное поле радиопомех, характерной особенностью которого является прямолинейное распространение путем отражения от препятствий, выходит из зазора между щеткодержателем и коллектором и попадает в полости крылообразных приливов, носовые части которых находятся ниже уровня условной касательной линии, проведенной к точкам набегания и сбега щетки. За счет того, что внутренняя поверхность крылообразных приливов имеет кривизну параболического вида, высокочастотное электромагнитное поле радиопомех, т. е. его электромагнитные волны многократно отражаются от внутренней поверхности крылообразных приливов, выполненных из ферромагнитного металла, где при каждом отражении происходит и частичное поглощение их электромагнитной энергии.

Эффективность экранирования полей рассеивания с длиной волны $\lambda \geq \pi d$ исчисляется в децибелах по формуле [5]:

$$\Xi = -20 \lg(d/0,3\lambda) - 20 \lg \left\{ \exp \left\{ \frac{-(2\pi h/1,707d) \times}{\times [1 - (1,707d/\lambda)^2]^{1/2}} \right\} \right\},$$

где d — диаметр отверстий, м; h — толщина обечайки, м. Первый член в выражении описывает влияние отверстий, второй — запредельный волноводный эффект. В общем случае диаметр отверстия не должен превышать $d \leq 0,05\lambda$. Экранирующий эффект нескольких отверстий также зависит от расстояния между ними и удаленности от источника помех.

Расстояние между отверстиями s , экраны (экранирующая шайба и обечайка) выполнены из мате-

риала с удельным сопротивлением ρ и магнитной проницаемостью μ . Источник удален от экрана на расстояние r . Помеховые сигналы генерируются с частотой f и длиной волны λ . При соблюдении перечисленных условий эффективность экранирования перфорированным экраном в общем случае выражается в децибелах формулой [5]:

$$\Xi = A_a + R_a + B_a + K1 + K2 + K3,$$

где

$$A_a = 32,0(h/d); R_a = 20 \lg[1 + k^2/4|k|];$$

$$B_a = 20 \lg[1 - (k-1)^2]/(k+1)^2 \cdot 10^{-3,20h/d}];$$

Для магнитных полей $k=d/3,82r$, для плоских волн $k=j2\pi d/3,682\lambda$, для электрических полей $k=-4\pi dr/3,682\lambda^2$.

$$K1 = 10 \lg[4(d+s)^2/\pi d^2];$$

$$K2 = -20 \lg[1 + 35/(s/\delta)^{2,3}], \text{ где } \delta = (\rho/\pi\mu f^{1/2});$$

$$K3 = 20 \lg[\exp(7,37h/d+1)/\exp(7,37h/d-1)].$$

Выводы

Предложен вариант экранировки полей рассеивания воздушного зазора синхронного генератора. Показано, что выполнение нескольких рядов отдельно сгруппированных в ряды матричного типа отверстий по ширине щетки в верхней части крылообразных приливов вместо узкого продольного проёма позволяет «разбивать» электромагнитные помеховые волны от силового коммутирующего контакта в диапазоне частот 0,15...1000 МГц. Эффективность экранирования увеличивается на 11 %. Повышается запредельный волноводный эффект отдельно выполненных отверстий, в том числе за счет восстановления свободного замыкания вихревых токов в приливах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51320-99. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные. Методы испытаний технических средств — источников промышленных радиопомех. — М.: Госстандарт РФ, 2000. — 26 с.
2. ГОСТ 13109-97. Совместимость технических средств электромагнитная. Норма качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — Минск: Межгосударственный стандарт, 1997. — 59 с.
3. Щеточно-коллекторный узел электрической машины: пат. на ПМ 85268 Рос. Федерация. № 2009112631; заявл. 06.04.09; опубл. 27.07.09, Бюл. № 21. — 3 с.: ил.
4. Синхронный генератор торцевого типа: свид. на ПМ 10495 Рос. Федерация. № 98121285; заявл. 23.11.98; опубл. 16.07.99, Бюл. № 7. — 3 с.: ил.
5. Барнс Дж. Электронное конструирование. Методы борьбы с помехами: пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 238 с.

Поступила 19.01.2011 г.