

УДК 621.81

КОЛЕКТОРНО-ЩЁТОЧНЫЙ УЗЕЛ В МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Студент гр. 10601218 Дрозд П.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Николаенко В.Л.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Повышение технико-эксплуатационных характеристик машин постоянного тока (МПТ) ограничивается в большей степени надежностью работы коллекторно-щеточного узла (КЩУ). Коммутационная устойчивость МПТ в значительной мере определяется электромеханическими факторами, связанными с работой коллекторно-щеточного узла (КЩУ).

Одна из причин неудовлетворительной коммутации — нестабильность скользящего контакта, приводящая в том числе к отрыву щеток и, следовательно, к искрообразованию даже при малых частотах вращения. В связи с этим актуальной является задача по определению воздействия профиля коллектора на устойчивость работы контакта «щетка — коллектор».

1 Оценка влияния профиля коллектора машины постоянного тока на работу скользящего контакта

1.1 Конструкция КЩУ

Наиболее распространенные конструкции КЩУ включают в себя следующие элементы: щетку, опирающуюся на поверхность коллектора, корпус щеткодержателя и рычаг с нажимной пружиной.

Особенностью работы КЩУ как механической системы является тот факт, что, за счет вращения коллектора и силы нажатия щетки на него, на щетку действует сила трения, направленная в сторону вращения коллектора по касательной к его поверхности.

При составлении схемы и дифференциальных уравнений были приняты следующие допущения:

- угловая скорость коллектора считается постоянной.
- силы взаимодействия щетки со стенками щеткодержателя и поверхностью коллектора считаются упругими.

- вязкими силами в точках контакта щетки с боковыми стенками щеткодержателя и поверхностью коллектора пренебрегаем ввиду малых величин скорости перемещения щетки.
- воздействие пружины на щетку осуществляется через рычаг щеткодержателя.
- силы трения между щеткой и другими элементами пропорциональны нормальному давлению (линейные).
- щетка является абсолютно твердым телом, деформация щетки отсутствует.

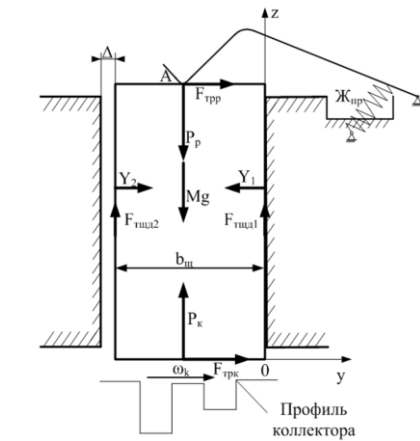


Рис.1.1 – Расчётная схема коллекторно-щёточного узла

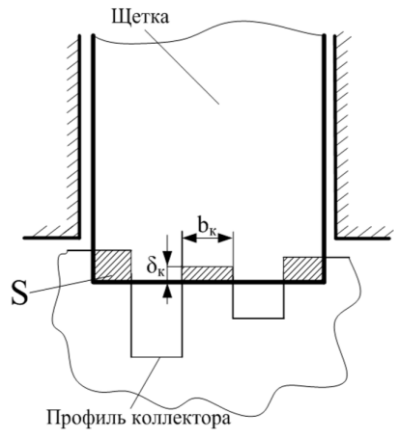


Рис. 1.2 – Контакт щётки с поверхностью коллектора

1.2 Расчёт перемещения КЩУ

Для оценки расчета перемещений щетки в щеткодержателе (с учетом сил, действующих на щетку) при вращении коллектора составим и запишем систему дифференциальных уравнений движения щетки в виде

$$M\dot{z} + F_{mц\partial 1} + F_{mц\partial 2} - P_h - Mg + P_K = 0,$$

$$M\ddot{y} + F_{трp} + F_{трк} - Y_1 + Y_2 = 0$$

где $z(t)$ – обобщенная координата щетки по вертикальной оси (соответствует координате правого края щетки);

$y(t)$ – обобщенная координата щетки по горизонтальной оси (соответствует координате нижнего края щетки);

M – масса щетки с учётом массы рычага щёткодержателя;

ω – угловая скорость якоря электродвигателя, рад/с;

P_k – упругая сила в контакте щетки и коллекторной пластины;

P_p – вертикальная сила нажатия на щётку в точке А;

$F_{\text{трр}} = f_{\text{шд}} \cdot P_p \cdot \text{sign}(\dot{y})$ – сила трения между щёткой и коллекторной пластиной;

f_k – коэффициент сухого трения скольжения между поверхностью контакта щетки и коллекторной пластиной;

$F_{\text{тшд1}} = f_{\text{шд}} \cdot Y_1 \cdot \text{sign}(\dot{z})$; $F_{\text{тшд2}} = f_{\text{шд}} \cdot Y_2 \cdot \text{sign}(\dot{z})$; – сила трения между щёткой и стенками щёткодержателя;

$f_{\text{шд}}$ – коэффициент сухого трения скольжения между поверхностью контакта щетки и боковыми стенками щёткодержателя;

Y_1, Y_2 – горизонтальные упругие силы в точках контакта щетки с боковыми стенками щёткодержателя, пропорциональные упругой деформации;

Mg – сила тяжести, действующая на щётку.

Контакт щетки в зависимости от щеточного перекрытия возможен одновременно с несколькими коллекторными пластинами (рис. 1.2). Поэтому механическое воздействие со стороны коллектора на щётку передается от каждой коллекторной пластины. Таким образом, упругую силу воздействия со стороны коллектора на щётку можно определить следующим образом:

$$P_k = \sum_n^{n+\gamma} S_i c_k$$

где $S_i = \sum_n^{n+\gamma} b_{ki} \delta_{ki}$ – проекция объема деформируемого материала коллектора на вертикальную плоскость;

b_{ki} – ширина перекрытия щеткой i -й пластины коллектора;

$\delta_{ki} = (\eta_i(t) - z(t))$ – величина линейной деформации i -й пластины коллектора, находящейся под щёткой;

$\eta_i(t)$ – высота i -й пластины коллектора;

n – номер пластины, контактирующей со сбегающим краем щетки;

γ – величина щеточного перекрытия, округленная в большую сторону до целого числа;

C_k – коэффициент упругости материала коллектора.

В результате решения системы дифференциальных уравнений (1) численным методом Рунге — Кутта с использованием математического программного пакета Mathcad 14 получены следующие результаты по горизонтальному и вертикальному перемещению щетки при движении ее по коллектору, приведенные на рис. 1.3.

На рис. 1.4 приведены фрагменты графика движения щетки по одному участку коллектора и упругие силы в зоне контакта «щетка – коллектор» при различных скоростях вращения двигателя.

На графике радиальных перемещений можно выделить две зоны, на участке от точки К до точки L происходит отрыв щетки от поверхности коллектора ($P_k=0$), а на участке LM щетка прижата к коллектору.

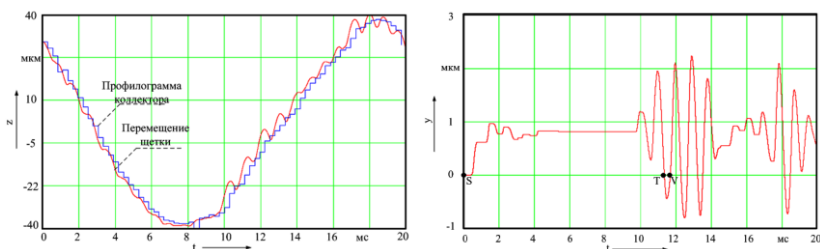


Рис. 1.3 – Перемещение щётки при движении ее по коллектору:
а – радиальное перемещение; б – тангенциальное перемещение щётки

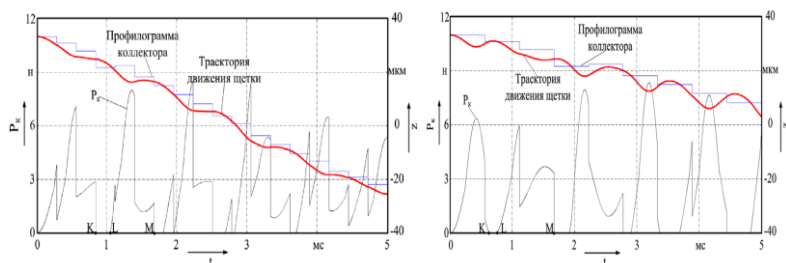


Рис. 1.4 – Фрагменты графика движения щётки по одному участку коллектора и упругие силы в зоне контакта «щетка–коллектор» при скорости вращения двигателя: а – 3000 об/мин; б – 1500 об/мин

Радиальные колебания щетки приводят к изменению силы упругого контакта P_k' , вследствие чего происходит изменение падения напряжения под щеткой, а следовательно, и нарушение оптимальных условий коммутации. Тангенциальные же колебания, в свою очередь, приводят к изменению периода коммутации секций якорной обмотки, что также обуславливает появление неидентичности коммутационных циклов.

Анализ полученных данных показывает, что воздействие профиля коллектора в значительной мере влияет на состояние коммутации МПТ, а, следовательно, и на износ элементов КЩУ. В работе [6] приводится алгоритм по определению износа элементов КЩУ, где автор учитывает механическое воздействие на щетку со стороны коллектора путем введения, соответствующего виброускорения в алгоритм прогнозирования износа.

Представленная математическая модель может быть использована для определения виброускорения щетки, обусловленного воздействием со стороны коллектора, и, таким образом, для прогнозирования ресурса работы щеток с учетом режимов работы двигателя.

Литература

1. Авилов, В. Д. Методика нормирования качества коммутации в тяговых электрических машинах / В. Д. Авилов, Ш. К. Исмаилов // Известия Транссиба. – 2012. – № 2 (10). – С. 2–6. 2.
2. Харламов, В. В. Совершенствование технологии диагностирования технического состояния коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей электровозов : моногр. / В. В. Харламов, Д. А. Ахунов, А. В. Долгова. – Омск, 2015. – 233 с.
3. Ахунов, Д. А. Совершенствование методов оценки технического состояния коллектора электрических машин постоянного тока : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.01 / Ахунов Данил Асгатович. – Омск, 2013. – 133 с.
4. Харламов, В. В. Диагностирование состояния коммутации коллекторных электродвигателей с использованием прибора ПКК-5М / В. В. Харламов, П. К. Шкодун, А. П. Афонин // Известия Транссиба. – 2013. – № 1 (13). – С. 42–48. УДК 629.735