

УДК 621.3

*А. И. Изотов, В. Н. Тимошенко,
А. А. Фоминых, Н. В. Тимина, К. О. Трушков*

ВЛИЯНИЕ СМЕЩЕНИЯ ЩЁТОК В КОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИНАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Рассматривается методика определения оптимального положения щеток в коллекторных машинах переменного тока, у которых щёткодержатели жёстко установлены в корпусе, за счёт смещения магнитной системы с целью снижения степени искрения. Проведена оценка эффективности применения методики по результатам испытаний коллекторных электродвигателей переменного тока привода машины шлифовальной угловой (МШУ) мощностью 1,8 кВт, 2 кВт и 2,4 кВт. В электродвигателях мощностью 2 кВт, минимальное искрение было получено при смещении щёток на одно коллекторное деление против направления вращения. В двигателях мощностью 1,8 и 2,4 кВт при смещении щёток по направлению вращения – на 1 и 0,2 коллекторных деления соответственно. Во всех случаях искрение было уменьшено на один балл. В двигателях мощностью 1,8 кВт под действием подмагничивающей продольной реакции якоря произошло значительное снижение частоты вращения. Для повышения частоты вращения с полюсов было снято по 5 витков. В окончательном варианте искрение было на один балл меньше, чем в случае штатной машины. В двигателе мощностью 2 кВт коррекция числа витков не проводилась. Двигатели мощностью 1,8 и 2 кВт внедрены в серийное производство. За счёт уменьшения числа витков обмотки возбуждения получен реальный экономический эффект.

Ключевые слова: коммутлируемая секции, геометрическая нейтраль, реакция якоря.

Для анализа причины снижения искрения при не традиционном смещении щёток по направлению вращения и отсутствия в некоторых случаях эффективности смещения щёток против направления вращения рассмотрены процессы, происходящие в коммутлируемой секции при постоянном тормозном моменте в

трёх случаях: щётки установлены на геометрической нейтрали, щётки смещены по направлению вращения, щётки смещены против направления вращения (рис. 1, 2, 3) [1]. На рисунках указаны: МДС реакции якоря по продольной и поперечной осям F_{ad} и F_{aq} , ЭДС индуцируемые в коммутируемых секциях (при работе машины в режиме двигателя) и их направление (трансформаторной ЭДС пренебрегается, так как вне зависимости от направления смещения траверсы происходит её уменьшение).

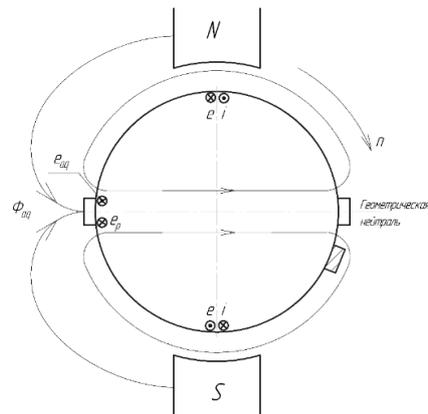


Рис. 1. Щётки на геометрической нейтрали

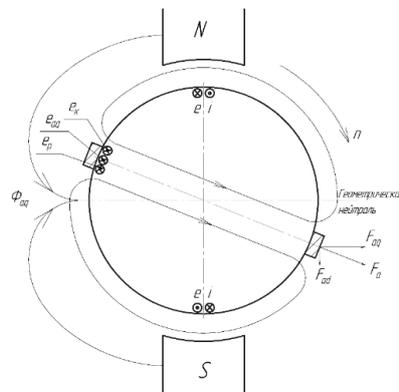


Рис. 2. Смещение щёток по направлению вращения

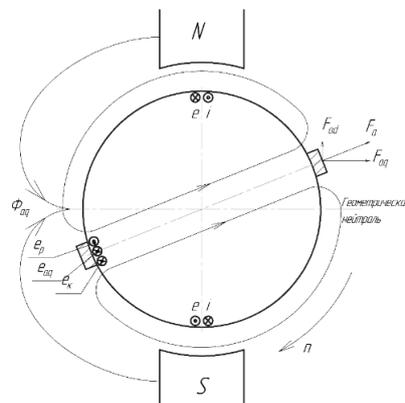


Рис. 3. Смещение щёток против направления вращения

На рисунках приняты следующие обозначения:

- e_p – реактивная ЭДС,

$$e_r = 2W_c \cdot V \cdot A \cdot \xi_r; \quad (1)$$

где W_c – число витков в секции;

V – линейная скорость вращения якоря;

A – линейная нагрузка;

ξ_r – проводимость для полей рассеяния, замыкающихся вокруг коммутируемой секции, которая за счёт насыщения зубцовой зоны нелинейно связана с током якоря.

- e_{aq} – ЭДС вращения, обусловленная полем поперечной реакции якоря,

$$e_{aq} = 2W_c \cdot B_{aq} \cdot V \cdot L; \quad (2)$$

где B_{aq} – индукция, обусловленная поперечной МДС реакции якоря, которая нелинейно связана с током якоря за счёт определённого насыщения магнитной системы.

- e_k – ЭДС вращения от поля главных полюсов,

$$e_k = 2W_c \cdot B_k \cdot l \cdot V_a; \quad (3)$$

где B_k – индукция, обусловленная полем главных полюсов.

При анализе делается допущение, что магнитные поля, созданные реакцией якоря и главными полюсами, существуют раздельно.

Как известно [2], смещение щёток с геометрической нейтрали не зависимо от направления приводит к уменьшению полезного потока, создаваемого главными полюсами, который участвует в создании ЭДС параллельной ветви и электромагнитного момента (рис. 4). На полезный поток главных полюсов определённое влияние оказывает характер коммутации за счёт коммутационной реакции якоря. При прямолинейной коммутации влияние коммутационной реакции

якоря отсутствует. При ускоренной коммутации коммутационная реакция якоря размагничивает магнитную систему уменьшая полезный магнитный поток, а при замедленной – подмагничивает (рис. 5, 6). Ускорение процесса реверса тока в коммутируемой секции относительно исходного состояния при замедленной коммутации приводит к уменьшению коммутационной реакции якоря и снижению эффекта подмагничивания магнитной системы.

При смещении щёток с геометрической нейтрали по и против направления вращения возникает продольная реакция якоря F_{ad} , которая в первом случае подмагничивает магнитную систему, а во втором размагничивает (рис. 2, 3, 6).

Таким образом, на изменение полезного магнитного потока двигателя активно влияет смещение щёток с геометрической нейтрали, продольная реакция якоря и коммутационная реакция якоря.

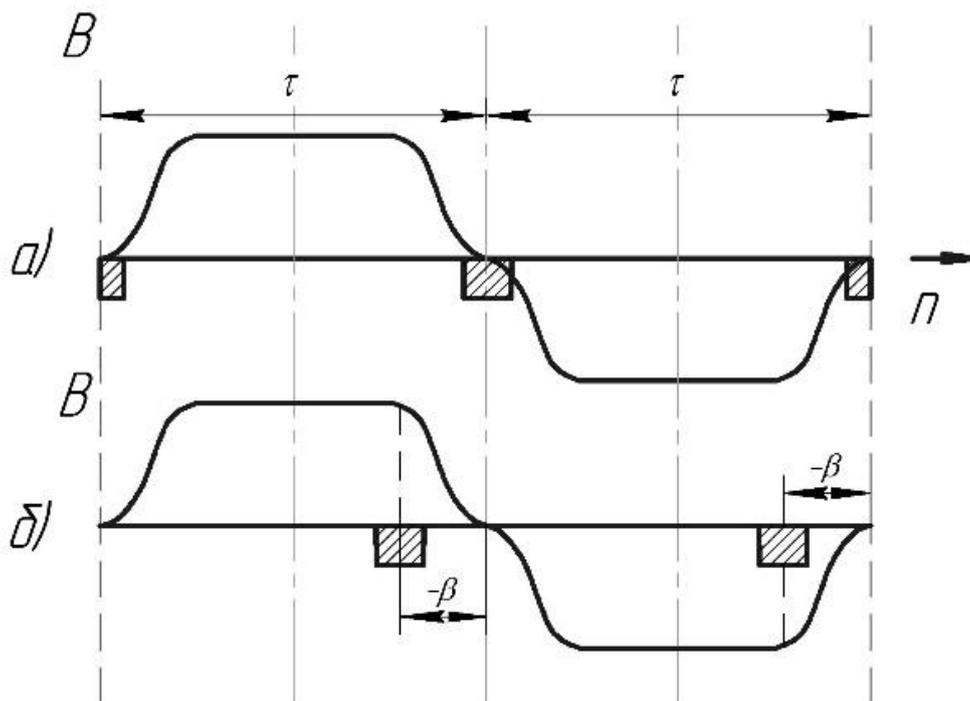


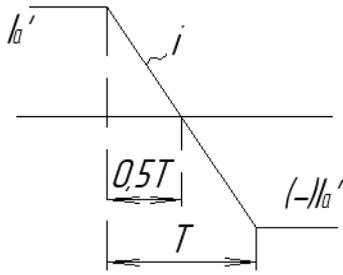
Рис. 4 – Влияние смещения щёток на полезный магнитный поток

а) Щётки на геометрической нейтрали

б) Смещение щёток против направления вращения

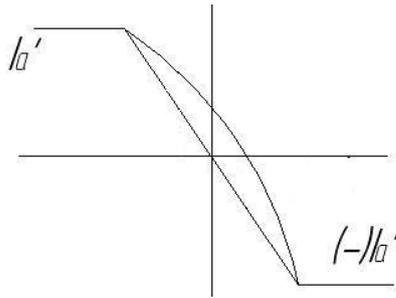
β – величина смещения щёток

Технические науки



1) Прямолинейная коммутация

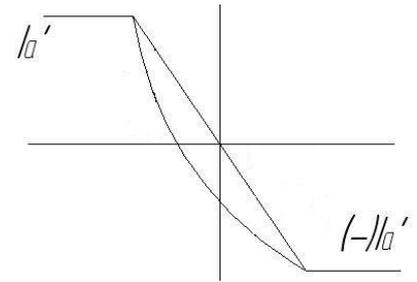
$$\sum e = e_r - e_k \quad (e_r = e_k) \quad i_k = 0$$



2) Замедленная коммутация

$$\sum e = e_r - e_k \quad (|e_r| > |e_k|)$$

$$i = i_n - i_k$$



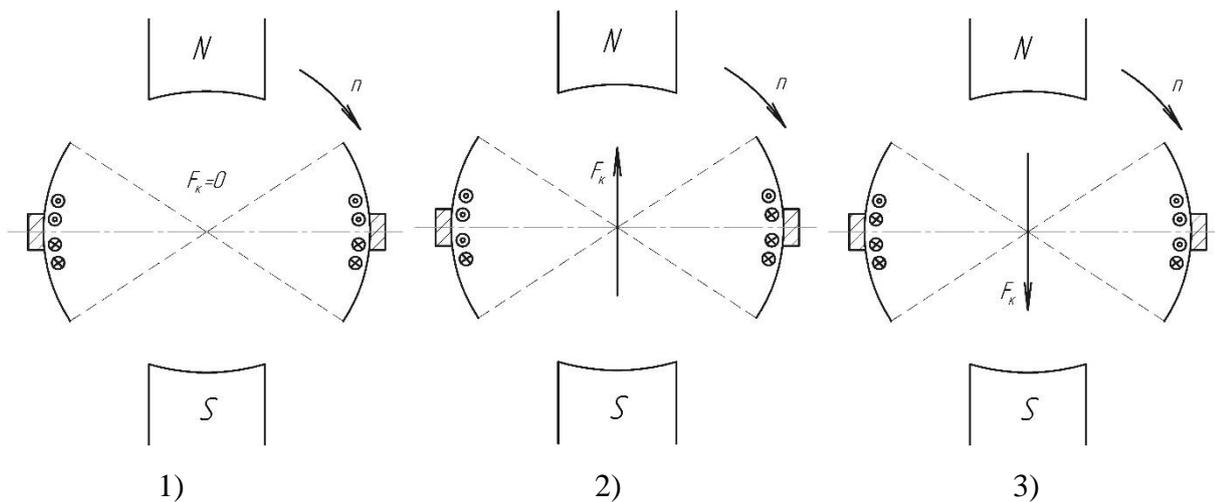
3) Ускоренная коммутация

$$\sum e = e_r - e_k \quad i = i_n + i_k$$

i_n – ток прямолинейной коммутации;

i_k – добавочный ток коммутации.

Рис. 5. Виды коммутации



1) $F_k = 0$

2) Ускоренный характер (F_k будет размагничивать магнитную систему).

3) Замедленный характер (F_k будет подмагничивать магнитную систему).

Рис. 6. Влияние намагничивающей силы коммутационной реакции якоря

на основной поток машины

Следовательно, при смещении щёток по направлению вращения с геометрической нейтрали будет происходить уменьшение магнитного потока за счёт смещения щёток, за счёт ускорения процесса коммутации (искрение уменьшается) и увеличения магнитного потока под действием продольной составляющей

Технические науки

1	Смещение на одно коллекторное деление против направления вращения	2	8,7	16200	1700	0,909	67,5
2	Щетки на нейтрالي	2	8,4	15760	1660	0,898	71,9
3	Смещение на одно коллекторное деление по направлению вращения	1 ½	8,14	15530	1600	0,898	75,5

Из анализа приведённых данных можно сделать предположение, что ведущим фактором, обеспечивающим изменение рабочих характеристик двигателей переменного тока при смещении щёток, является действие продольной составляющей реакции якоря.

Как известно [1], причиной искрения электромагнитного характера является электромагнитная энергия A , запасённая в коммутационном контуре в момент, предшествующий его разрыву щёткой. Если в момент, предшествующий окончанию коммутационного процесса запас электромагнитной энергии окажется больше критического значения ($A > A_{крит}$) возникает искрение.

$$A = L_r \frac{i_k^2}{2}, \quad (4)$$

где: i_k – добавочный ток в коммутируемой секции;

$$i_k = \frac{\sum E}{r_1 + r_2} \quad (5)$$

L_r – коэффициент результирующей самоиндукции секции;

r_1, r_2 – сопротивления перехода щётка-коллектор в набегающем и сбегавшем краях.

$\sum E$ – суммарная ЭДС коммутируемого контура:

$$\sum E = e_{aq} + e_r \pm e_k \quad (6)$$

При смещении щёток по и против направления вращения возникает ЭДС, обусловленная полем главных полюсов e_k . При смещении щёток против направления вращения e_{aq} , e_r действуют встречно с e_k которая ускоряет коммутацию, а при смещении по направлению вращения – согласно, делая коммутацию более замедленной.

ЭДС e_{aq} , e_r и e_k нелинейно связаны с током за счёт насыщения элементов магнитной системы.

Смещение щёток против направления вращения, как видно из рабочих характеристик (таблица 1) связано с увеличением частоты вращения и потребляемым током (при постоянном тормозном моменте на валу), что приводит к увеличению ЭДС e_{aq} и e_r . ЭДС e_k также увеличивается, однако при определённой степени насыщения магнитной системы и зубцовой зоны, а также величины отношения (где $b_{кз}$ – ширина зоны коммутации, τ – полюсное деление, b – ширина полюсного наконечника) и эксцентричным магнитным зазором между полюсным наконечником и якорем приращение e_{aq} и e_r может быть не скомпенсировано ЭДС e_k . То есть снижение искрения будет отсутствовать и даже может увеличиться. Что и наблюдается при проведении исследований.

При смещении щёток по направлению вращения все три ЭДС действуют согласно, однако уменьшение тока и частоты вращения (при постоянном тормозном моменте на валу) за счёт уменьшения e_{aq} и e_r даже при появлении e_k может привести к уменьшению суммарной ЭДС коммутируемого контура и улучшению коммутации.

Таким образом, проведённые исследования позволяют сделать заключение о возможности в некоторых случаях улучшать коммутацию в коллекторных машинах переменного тока за счёт смещения щёток по направлению вращения, что позволяет улучшить технико-экономические показатели двигателя (уменьшить число витков обмотки возбуждения, $\cos\varphi$) за счёт использования продольной подмагничивающей реакции якоря.

Список литературы

1. *Костенко М. П., Пиотровский Л. М.* Электрические машины. Ч. 1. Энергия, 1972. 648 с.
2. Влияние механических факторов в коллекторных машинах переменного тока на уровень радиопомех / *А. И. Изотов, В. Н. Тимошенко; А. А. Фоминых, С. В. Никулин, Л. И. Новиков, С. А. Изотов, Г. А. Мамаев* // *Электротехника*. 2013. № 8. С. 57–59.

ИЗОТОВ Анатолий Иванович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Электрические машины и аппараты», Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: izotov@vyatsu.ru

ТИМОШЕНКО Вячеслав Николаевич – ассистент кафедры «Электрические машины и аппараты», Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: timoshenko@vyatsu.ru

ФОМИНЫХ Антон Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические машины и аппараты», Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: aa_fominyh@vyatsu.ru

ТИМИНА Наталья Владимировна – доцент кафедры «Электрические машины и аппараты», Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: timina@vyatsu.ru

ТРУШКОВ Константин Олегович – магистрант кафедры ЭМА, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: izotov@vyatsu.ru