

КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 621.313

ВАРИАНТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ТОКОСЪЁМНЫХ УЗЛОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ КАТЯЩИЙСЯ КОНТАКТ

В.Я. Геча, А.Б. Захаренко, А.И. Мизин,
А.К. Надкин, М.А. Якубович

Рассматриваются токосъёмные устройства катящегося типа. Приведён анализ некоторых типов токосъёмов униполярных электрических машин (УЭМ). Рассматривается проблема выбора наиболее эффективного токосъёма для униполярных машин малой и средней мощности. В качестве альтернативы широко известному токосъёму на основе жидкого металла предложены конструкции катящихся токосъёмов в составе УЭМ. Предложены и рассмотрены схемы токосъёма с люфтовывирающими шестернями сателлитов, на основе роликовых конических подшипников, с витыми роликами, с разрезной внешней обоймой, с парными роликовыми сателлитами. Проводится описание принципа действия и сравнительный анализ предлагаемых токосъёмов. Сформулированы основные требования, применяемые к катящемуся токосъёму. Рассмотрены схемы УЭМ с катящимся зубчатым токосъёмом и токосъёмом на основе конических роликов.

Ключевые слова: катящийся токосъём, униполярная электрическая машина, электрический контакт.

Передача электроэнергии к вращающемуся ротору электрической машины является важным вопросом во многих разделах электромеханики. Подвижный электрический контакт между цепью якоря и внешним электрическим контуром является неотъемлемой частью униполярных электрических машин (УЭМ). При проектировании УЭМ одной из наиболее актуальных задач является разработка токосъёма, обладающего простой конструкцией, высокой надёжностью, наименьшим переходным контактным сопротивлением и вызывающим наименьшие механические потери. Для мощных УЭМ с успехом применяются жидкометаллические токосъёмы [1], которые обладают малым электрическим сопротивлением, но являются инвазивными для обслуживающего персонала и требуют создания сложной подсистемы, обеспечивающей его работу. Для УЭМ малой и средней мощности наиболее перспективным представляется «сухой» токосъём на основе катящихся роликов, зубчатых колёс и т. п. [2].

Предлагаемый катящийся токосъём с люфтовывирающими шестернями сателлитов схематично показан на рис. 1. Рассмотрим принцип его действия. Цепь протекания постоянного тока включает следующие позиции: вывод 1, внешнюю шестерню 2, сателлиты 3, внутреннюю шестерню 4, токопроводящее кольцо 5, проводники ротора 6, ответное кольцо, шестерни и сателлиты, токопроводящее кольцо 7, токоподвод статора 8, проводники статора 9, токоподвод статора, вывод 10.

Кольца 11, 12 и 13 являются электроизоляционными. Полумуфта 14 служит для передачи крутящего момента на ротор, вал которого вращается в подшипниках 15. Стальная пружина 16 позволяет осуществлять стабилизацию положения ротора. Токосъём опирается на основание 17 с помощью фиксатора.

Для УЭМ характерны токи, достигающие значений в сотни и тысячи ампер. Электрические потери и выделяющееся тепло прямо пропорциональны квадрату тока. Трубопровод 18 предусмотрен для охлаждения токосъёма. Охлаждение может быть газовым, при котором охлаждающей средой является воздух, водород и т. д. или жидкостным, с использованием воды, масла и т. д.

Постоянство электрического контакта в токосъёме определяется применением разрезных сателлитов, которые показаны на рис. 2.

Внутри каждого сателлита, состоящего из двух половин, находится пружина 1 в сжатом состоянии, которая крепится к фиксатору 4. Благодаря своей упругости, пружина стремится развернуть половины разрезного сателлита в противоположные стороны.

Половины разрезных сателлитов имеют возможность вращаться относительно друг друга благодаря насыпному подшипнику 5. Постоянство механического и электрического контакта между шестернями позволяет получить такие положительные качества, как постоянная передача электрической мощности, отсутствие искрения понижен-

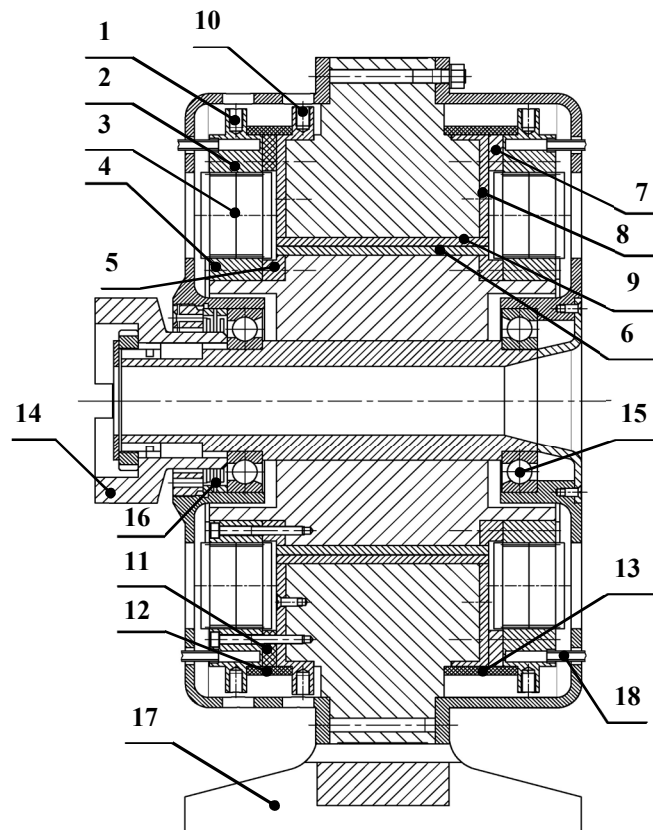


Рис. 1. Катящийся токосъём с люфтовывирающими шестернями сателлитов

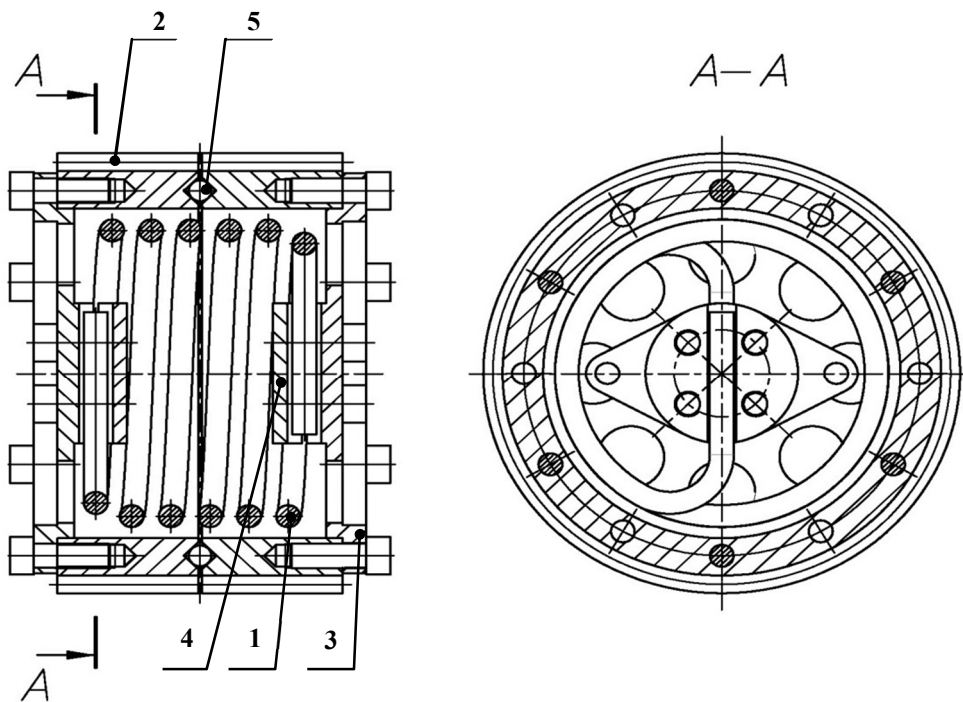


Рис. 2. Сателлит: 1 – пружина; 2 – шестерня; 3 – фланец; 4 – фиксатор; 5 – насыпной подшипник

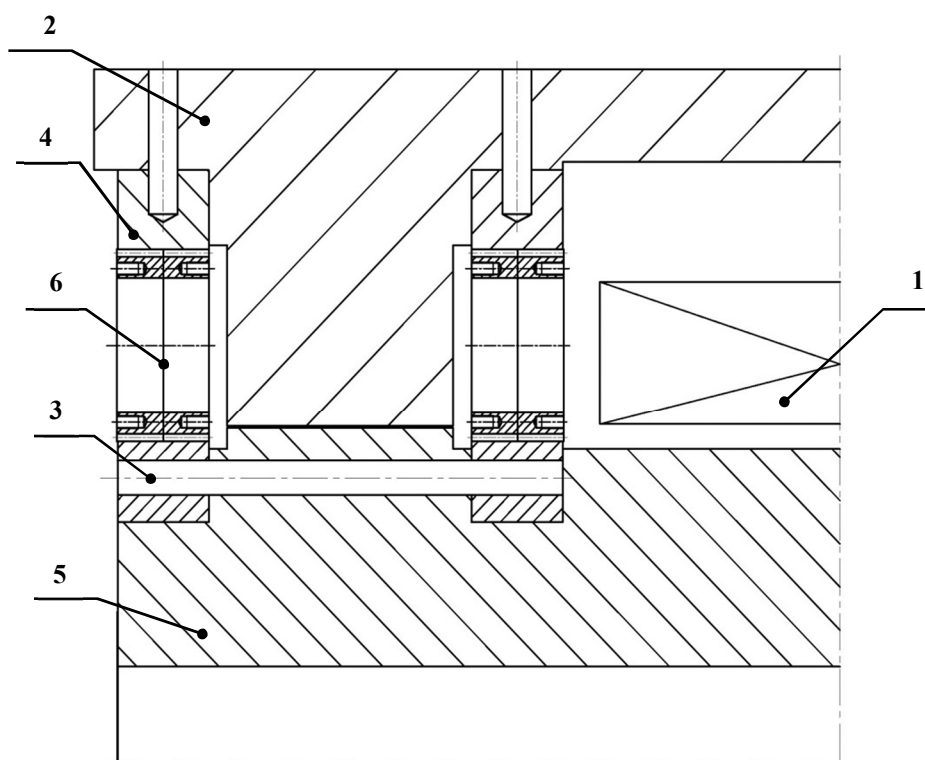


Рис. 3. Схема УЭМ с катящимся зубчатым токосъёмом: 1 – обмотка возбуждения; 2 – магнитопровод статора; 3 – обмотка якоря; 4 – шестерня; 5 – магнитопровод ротора; 6 – разрезные сателлиты

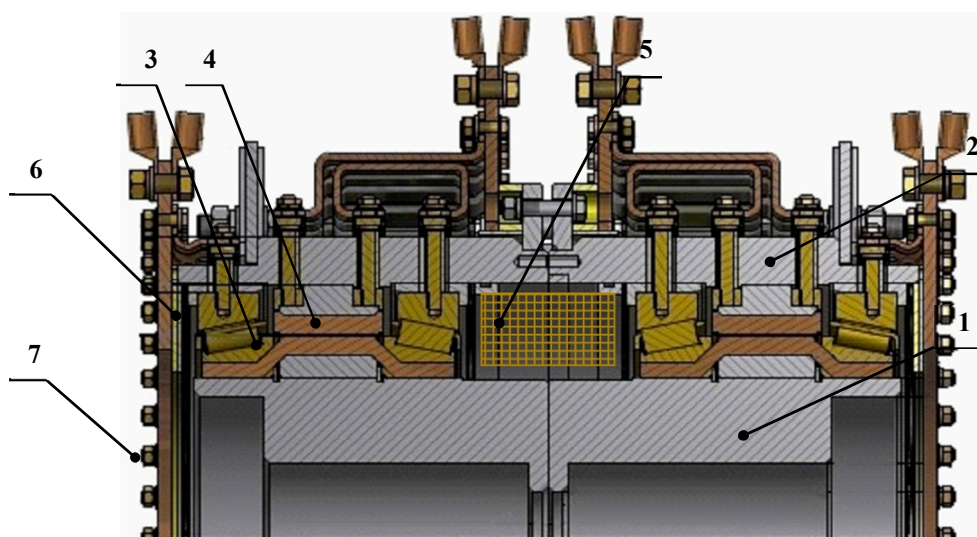


Рис. 4. УЭМ с токосъёмом на основе роликовых конических подшипников: 1 – ротор; 2 – статор; 3 – обмотка якоря; 4 – обмотка компенсационная; 5 – обмотка возбуждения; 6 – катящийся токосъём; 7 – волновая пружина



Рис. 5. Роликовый радиальный подшипник с витыми роликами

ный уровень шумов и вибраций за счёт отсутствия соударения зубьев. Для увеличения эффективной контактной поверхности следует увеличивать количество параллельно вращающихся сателлитов.

Конструктивная схема УЭМ с данным типом токосъёма показана на рис. 3 [2].

Более простая конструкция УЭМ с токосъёмом на основе подшипников качения показана на рис. 4.

Особенностью этой конструкции является то, что конические токоведущие подшипники поджимаются в осевом направлении волновыми пружинами, что обеспечивает постоянный контакт между роликами и обоймами. Волновая пружина по сравнению с витой позволяет совершать одинаковые перемещения рабочего тела при меньшей рабочей высоте самой пружины. Недостаток конструкции заключается в том, что бронзовые ролики обладают большой жёсткостью. Отсутствие упругости значительно сокращает площадь контактной поверхности и количество мест контактов. Однако конструкция отличается простотой по сравнению с другими типами токосъёмов.

Результаты исследования контактного электрического сопротивления в катящемся токосъёме приведены в [3].

Известны роликовые радиальные подшипники с витыми роликами (рис. 5), воспринимающие только радиальные силы, не фиксируя вал в осе-

вом направлении. Пустотелые ролики, изготовленные из стальной ленты прямоугольного сечения, характеризуются повышенной упругой податливостью. Подшипники имеют увеличенный радиальный зазор, способны воспринимать ударные нагрузки, мало чувствительны к загрязнению; грузоподъёмность примерно в 2 раза меньше, чем у подшипников со сплошными цилиндрическими роликами.

Обычно применяются в неответственных узлах, подверженных действию ударных нагрузок, не требующих высокой точности вращения и работающих при невысоких частотах вращения. В настоящее время считаются малоперспективными, их применение сокращается. Однако возможность осуществления постоянного контакта тел качения с контактными поверхностями определяет важное преимущество данных подшипников.

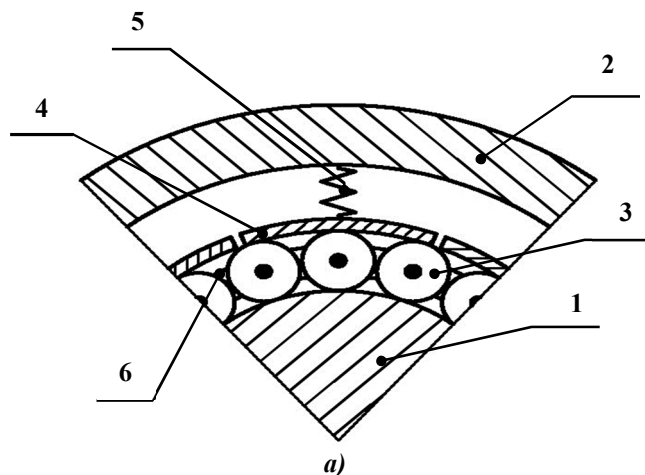


Рис. 6. Катящийся токосъём с разрезной обоймой: а – схема, б – 3D вид токосъёма

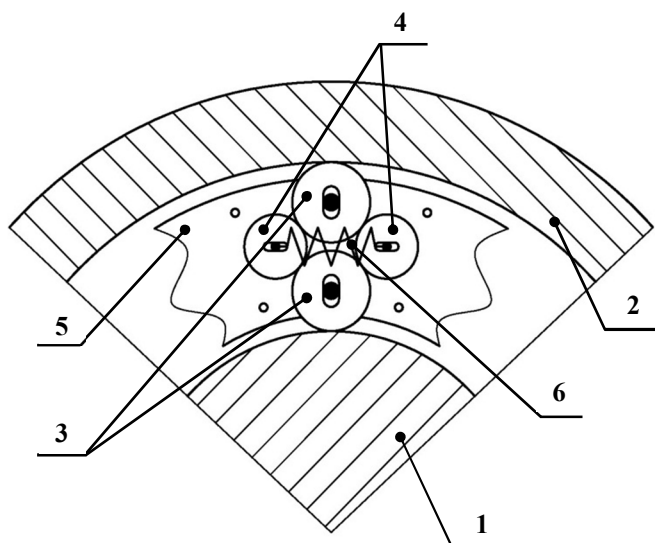


Рис. 7. Схема катящегося токосъёма с парными роликовыми сателлитами

Известно, что бронзовые сплавы отличаются механической прочностью, жаропрочностью, упругостью, низким коэффициентом трения качения и скольжения при электрической проводимости сопоставимой с медью.

Замена стальных витых роликов и обойм бронзовыми и применение принудительного жидкостного или воздушного охлаждения позволяет использовать данный тип подшипников в качестве катящегося токосъёма. При этом необходимо разделять подшипники для механической и токовой нагрузки.

Другой способ достижения постоянного электрического и механического контакта между ротором 1 и статором 2 в катящемся токосъёме это применение внешней обоймы из отдельных сегментов 4, каждый из которых поджимается к роликам 3, разделённым сепаратором 6, упругой пружиной 5 (рис. 6).

На рис. 7 показана схема катящегося токосъёма с роликовыми сателлитами.

Рассмотрим конструкцию и принцип действия приведённой схемы. Между валом 1 и внешним ободом 2 находятся две пары сателлитов 3 и 4, закреплённые на сепараторе 5. Сателлиты 4 стягиваются пружиной 6, при этом сателлиты 3 поджима-

ются к валу и внешнему ободу. Приведённая конструкция отличается своей простотой, небольшим количеством составных элементов и относительной надёжностью. Из недостатков следует выделить то, что количество подвижных контактов равно четырём, вместо двух, как в рассмотренных выше конструкциях.

Таким образом, показано, что одним из важнейших качеств катящегося токосъёма является постоянный механический и электрический контакт тел качения с контактными поверхностями. Отсутствие постоянного контакта приводит к искрению, повышенному износу контактных поверхностей, повышенным электрическим и механическим потерям, повышенным виброшумовым характеристикам электрической машины. Перечисленные факторы ухудшают эффективность машины, снижают КПД и надёжность.

Выводы

1. Сформулированы основные требования к катящемуся токосъёму для машин малой и средней мощности.
2. Предложены новые конструкции УЭМ с катящимся токосъёмом, одна из которых защищена патентом на полезную модель РФ.
3. Предложенные конструкции токосъёмов отличаются простотой по сравнению с жидкометаллическим токосъёмом и являются наиболее подходящими для УЭМ малой и средней мощности.

Литература

1. Бертинов А. И., Алиевский Б. Л. Униполярные электрические машины с жидкометаллическим токосъёмом / А. И. Бертинов, Б. Л. Алиевский. – М. – Л. : Энергия, 1966.
2. Патент на полезную модель РФ № 146918. Конструкция униполярной электрической машины с катящимися контактами / В. Я. Геча, А. Б. Захаренко, А. К. Надкин. № 2014121245. Оpubл. 20.10.2014. Бюлл. № 29.
3. Геча В. Я., Захаренко А. Б., Надкин А. К. Определение контактного сопротивления для токосъёма униполярной электрической машины / В. Я. Геча и др. // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2015. – Т. 145. – С. 3 – 7.

Поступила в редакцию 14.12.2016

Владимир Яковлевич Геча, доктор технических наук,
заместитель генерального директора,
т. (495) 365-26-69.

Андрей Борисович Захаренко,
доктор технических наук, начальник отдела,
т. (495) 366-26-44.

Александр Каренович Надкин,
младший научный сотрудник, магистр,
т. (495) 366-54-24.

Марк Айзекович Якубович,
инженер.

(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

Александр Иванович Мизин,
начальник сектора, ФГУП ВЭИ.

EXECUTION OPTIONS RELATED TO the CURRENT-COLLECTING NODES USING the ROLLING CONTACT

**V.Ia. Gecha, A.B. Zakharenko, A.I. Mizin,
A.K. Nadkin, M.A. Iakubovich**

Current-collecting devices of the rolling type are being revised. The analysis of several types of current-collecting devices within the homopolar electrical machines has been performed. Several issues related to the most effective way of current collection for low-power and medium-power homopolar machines are being revised. New designs of rolling current collectors within homopolar machine are suggested as the alternative to the widely-spread current-collection method based on the liquid metal. Current-collection schemes are suggested that contain loft-selecting planetary gears based on the tapped bearings, as well as the flexible rollers, split bearing body and paired planetary gears. Operating principles description and comparison analysis is performed regarding the assumed current-collecting devices. General requirements to the rolling current-collecting devices are being formulated. Diagrams of homopolar electrical machines with rolling gear current-collecting device and with tapped roller-based current collecting device are being revised.

Key words: rolling current-collecting device, homopolar electric machine, electric contact.

References

1. Bertinov A. I., Alievskii B. L. Homopolar electric machines with liquid metal current-collecting device / A. I. Bertinov, B. L. Alievskii. – M. – L. : Energy, 1966.
2. Utility model patent No. 146918. The design of the homopolar electric machine with rolling contacts / V. Ia. Gecha, A. B. Zakharenko, A. K. Nadkin. No. 2014121245. Published on October 20, 2014. Bulletin No. 29.
3. Gecha V. Ia., Zakharenko A. B., Nadkin A. K. Determining contact resistance for the current-collecting device of the homopolar electric machine / V. Ia. Gecha and others. // Electromechanical Matters. VNIIEEM Studies. – 2015. – Т. 145. – Pp. 3 – 7.

Vladimir Yakovlevich Gecha, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.),
Deputy Director General,
tel. (495) 365-26-69.

Andrei Borisovich Zakharenko,
Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Head of the Department,
tel. (495) 366-26-44.

Aleksandr Karenovich Nadkin,
Junior Researcher, master,
tel. (495) 366-54-24.

Mark Aizekovich Iakubovich,
engineer.

(JC «VNIIEEM Corporation»).

Aleksandr Ivanovich Mizin,
Head of the Division of the FSUE Electronic Technical Institute.