

УДК 621.31

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ УНИПОЛЯРНЫХ МАШИН

А. И. Мизин, Т. И. Сокирко

Развитие промышленности и техники требует создания электрических машин, работающих в большом диапазоне регулирования скорости вращения ротора. Одной из разновидностей подобных машин являются униполярные двигатели. В основном подобные машины являются низковольтными и работают с большими постоянными токами, измеряемыми сотнями килоампер. В статье рассмотрена история развития, конструктивные особенности, преимущества и недостатки униполярных машин по сравнению с обычными коллекторными машинами постоянного тока, приведен сравнительный анализ применяемых узлов токосъема в разработках отечественных и иностранных производителей. Рассмотрены вопросы применения и перспективы развития униполярных машин, связанные с применением новых технологий в области высокотемпературных сверхпроводников и жидкометаллического токосъема.

Ключевые слова: униполярные генераторы, униполярные двигатели, конструктивные схемы униполярных машин.

История

Первым двигателем постоянного тока и первой электрической машиной, в которой преобразование энергии осуществлялось в магнитном поле, был униполярный двигатель Фарадея, предложенный им в 1821 г. (рис. 1). В этом двигателе проводник с током I вращался вокруг постоянного магнита 2. Контакт вращающейся части электрической цепи с неподвижной осуществлялся ртутью 3, налитой в чашку. Преобразование энергии в простейшем по конструкции двигателе Фарадея и других униполярных машинах строго не описывается математическими уравнениями электрических машин.

Униполярные машины в отличие от других электрических машин не получают из обобщенной машины путем простых рассуждений, так как в якоре ее протекает постоянный ток и нет преобразователя частоты, который применяется в обычных двигателях постоянного тока или вентильных двигателях.

В униполярных машинах как в обмотке возбуждения, так и в обмотке якоря протекает постоянный ток. Для непрерывной работы униполярной машины необходимо, чтобы было два участка электрической цепи, соединенных между собой скользящим контактом. Скользящий контакт в униполярных машинах бывает двух типов: система из щёток и контактных колец и жидкометаллический контакт. Нельзя построить бесконтактную униполярную машину [1].

Униполярный генератор с ртутным скоростным контактом в 1906 – 1910 гг. был разработан и исследован проф. Б. И. Угримовым, причем достигнутая им скорость в подвижном контакте, составляющая свыше 300 м/с, не превзойдена до сих пор. Однако предложенный Б. И. Угримовым ножевой контакт не был пригоден для длительной работы из-за большого расхода ртути от испарения на ноже (порядка 14 г/ч) и не приспособлен для передачи больших токов [2]. Ртутный контакт для униполярной машины в СССР исследован Ю.Ю. Каунасом [3], которым даны рекомендации для расчета

оптимальных размеров контакта кольцевого типа. В 1934 г. фирма Westinghouse Electric Corporation построила униполярный генератор мощностью 1125 кВт на 150 кА, 7,5 В для сварки стальных труб большого диаметра по методу сопротивления. Этот генератор (рис. 2) эксплуатировался в течение 25 лет [4].

На международной выставке в 1937 г. в Париже демонстрировалась компенсированная униполярная машина А. Пуарсона с массивным цилиндрическим якорем (рис. 3), предназначенная для целей электролиза [2].

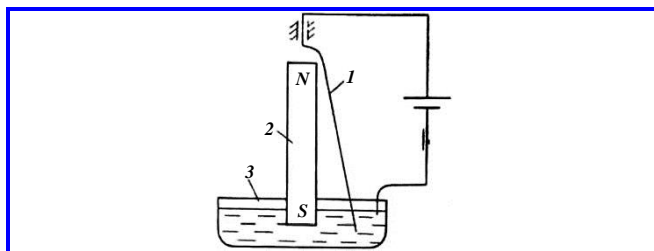


Рис. 1. Двигатель Фарадея (N – север; S – юг)

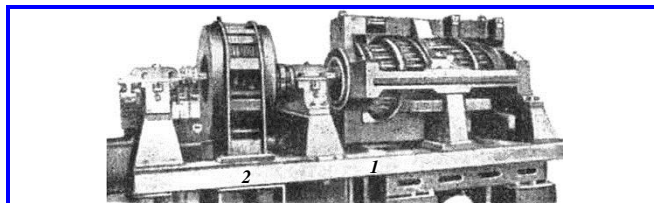


Рис. 2. Общий вид униполярного генератора для электросварки фирмы Westinghouse Electric Corporation на 150 кА, 7,5 В: 1 – генератор; 2 – приводной электродвигатель

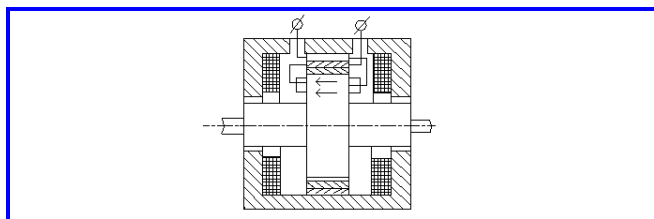


Рис. 3. Схема компенсированного униполярного генератора А. Пуарсона для электролиза

Развитие униполярной машины в СССР связано с именами инженеров И. П. Иванова и Б. В. Костина, по проектам которых на Ярославском электромеханическом заводе (ЯЭМЗ) были выполнены униполярные генераторы для электролитической промышленности [2]. В 1939 г. Отделением технических наук АН СССР совместно с Главным управлением электропромышленности (Главэлектропромом) на ЯЭМЗ была созвана конференция по униполярным машинам (и применению постоянных магнитов в электромашиностроении) с участием виднейших ученых-электротехников: академиков К. И. Шенфера, В. Ф. Миткевича, М. П. Костенко, В. С. Кулебакина, член-корреспондентов Г. Н. Петрова, А. Н. Ларионова и др.

В своих решениях конференция отметила необходимость постановки научно-исследовательских работ в области униполярных генераторов. Своевременному их осуществлению помешали обстоятельства военных лет 1941 – 1945 г.

С 1959 г. в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции авиационном институте имени Серго Орджоникидзе (Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)) проводятся исследования униполярных машин, в результате которых разработаны основы теории и методика расчета униполярных машин разных типов и построен опытный униполярный генератор с ртутными контактами на ток 4 000 А.

Успехи в развитии коллекторных (биполярных) машин постоянного тока сделали нерациональным применение униполярных машин при напряжениях 110 В и выше. Примерно до тридцатых годов считалось, что униполярные машины не имеют практического значения [5]. Однако при низком напряжении и больших токах они конкурируют с коллекторными машинами по весовым и энергетическим показателям.

В последнее десятилетие униполярные машины переживают период подъема. Объясняется это развитием новых областей техники и научных исследований – атомной энергетики, ускорителей заряженных частиц, физики плазмы, а также успехами в области жидкометаллических теплоносителей.

Изучение свойств жидких металлов и сплавов позволило применить их в подвижном контакте токосъемного аппарата униполярной машины. Это обусловило значительный прогресс в конструкции машин, расширило сферу их применения, так как при жидкометаллическом токосъеме наиболее заметны преимущества униполярных машин перед коллекторными машинами при больших токах.

Развитие униполярной машины шло по пути совершенствования униполярного генератора,

и только за последние 20 лет отмечаются попытки разработки униполярных электродвигателей и специальных видов униполярных машин, в частности униполярных преобразователей.

Преимущества

Интерес к униполярным машинам существенно возрос после появления возможности изготовления сверхпроводящих обмоток возбуждения. Последние могут создать большую магнитную индукцию, что позволяет значительно улучшить удельные показатели машин. На рис. 4 представлена конструктивная схема униполярной электрической машины со сверхпроводящей обмоткой возбуждения 3 и дисковым ротором 7. Важное значение имеет разгрузка обмотки возбуждения от механических сил взаимодействия с ротором. Это достигается использованием неподвижного диска, выполняющего роль шинпровода. В результате якорь становится бифилярной системой, и электромагнитный момент реакции якоря передается не на корпус криостата 1, который содержит тепловой экран 2, а на неподвижный диск. Токосъемное внешнее кольцо 4 передает ток на щетку 5, которая по токоотводу 6 через клеммы 8 подает ток на щетку 9 и токосъемное внутреннее кольцо 10. Следует заметить, что для увеличения магнитного потока 11, проходящего через диск, необходимо стремиться к уменьшению расстояния между обмоткой возбуждения и активной частью диска, в которой индуцируется электродвижущая сила (ЭДС) (т. е. между А и В на рис. 4), вал ротора 12 сплошной.

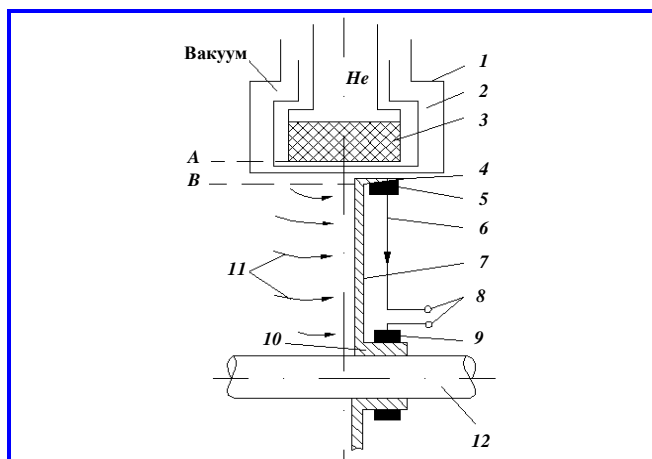


Рис. 4. Принципиальная схема дисковой машины со сверхпроводящей обмоткой возбуждения: 1 – корпус криостата; 2 – тепловой экран; 3 – сверхпроводящая обмотка; 4 – токосъемное внешнее кольцо; 5 – щетка; 6 – токоотвод; 7 – ротор; 8 – клеммы; 9 – щетка; 10 – токосъемное внутреннее кольцо; 11 – линии магнитного потока; 12 – вал

Расчеты, выполненные специалистами фирмы International Research and Development Ltd (IRD), относящейся к Военно-морскому флоту Министерства обороны Великобритании, для машин с дисковым ротором, показывают, что сверхпроводящие униполярные машины имеют существенно большую предельную мощность по сравнению с обычными коллекторными машинами постоянного тока (рис. 5). На рисунке обозначены предпочтительные области для двигателей Д и генераторов Г применительно к судовым установкам. Одной из наиболее трудных при разработке и создании сверхпроводниковых униполярных машин является проблема токосъема.

Здесь возможны два пути: применение щеток и жидкометаллический токосъем. Обычно угольные или графитные щетки допускают лишь весьма ограниченные плотности тока, составляющие приблизительно 30 А/см^2 . Даже такая плотность тока не может быть достигнута при окружной скорости на поверхности контактного кольца более 30 м/с . Поэтому возникла необходимость разработки щеток с повышенными плотностями тока. Наибольших успехов добилась IRD. В 1968 г. было обнаружено, что при металлизации угольных волокон тонким слоем металла значительно улучшаются характеристики щеток. Угольная нить имеет диаметр 7 мкм , а слой серебра около $0,7 \text{ мкм}$. Основная идея состоит в том, что в щетках, изготовленных из нитей, получается значительно большее число мест контактов по сравнению с цельными щетками. Это позволяет увеличить плотность тока и уменьшить падение напряжения. В качестве типичных результатов можно указать на плотность тока 90 А/см^2 при окружной скорости контактного кольца до 20 м/с и падения напряжения $0,1 \text{ В}$ для отрицательной щетки и $0,3 \text{ В}$ для положительной (рис. 6).

Есть основания полагать, что в будущем можно достичь плотности тока $100 - 150 \text{ А/см}^2$. Исследования показали сравнительно низкую скорость износа щеток нового типа (рис. 7), особенно для щеток отрицательной полярности при низкой окружной скорости.

К достоинствам щеток из угольных нитей следует отнести также малое давление, требуемое для их работы. Оно составляет $0,07 \text{ кг/см}^2$, что позволяет уменьшить потери на трение. Таким образом, создание нового типа щеток с повышенной плотностью тока, небольшим износом и низким давлением, а также возможностью иметь окружную скорость до 100 м/с открыли реальные пути для дальнейшего развития работ в области сверхпроводниковых униполярных машин значительной мощности.

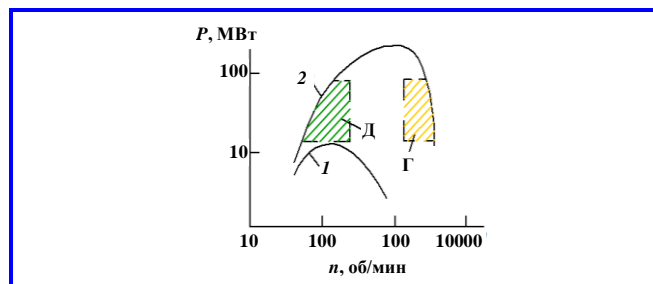


Рис. 5. Зависимость предельной мощности P от частоты вращения n : 1 – для коллекторных машин; 2 – для униполярных

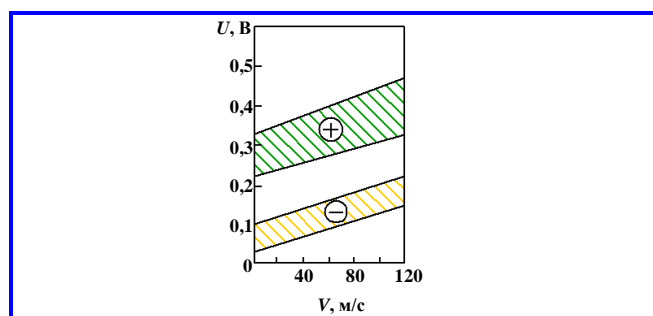


Рис. 6. Падение напряжения U на щетках в зависимости от окружной скорости V

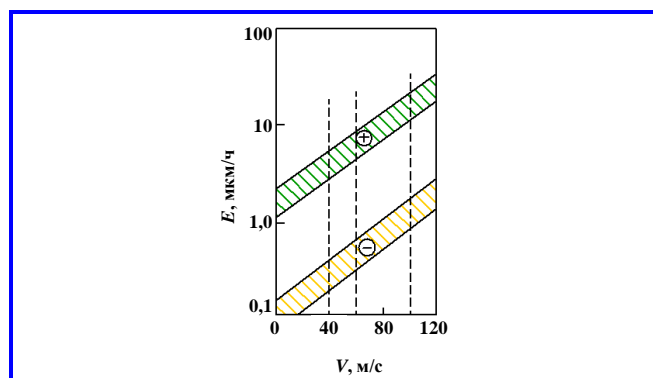


Рис. 7. Износ щеток в зависимости от окружной скорости V

В нашей стране были разработаны и изготовлены два типа сверхпроводниковых униполярных двигателей с дисковым и цилиндрическим роторами. Униполярная машина с дисковым ротором имеет сверхпроводящую обмотку возбуждения, выполненную проводом диаметром $0,85 \text{ мм}$ из ниобий-титанового (Nb-Ti) сплава НТ-50 в медной матрице. Неподвижность витков обмотки достигнута наложением с усилием $80 - 90 \text{ кг}$ банджа из стальной ленты толщиной $0,1 \text{ мм}$. Внутренний диаметр обмотки 630 мм , наружный – 730 мм , длина 250 мм . Расход жидкого гелия составил $2,7 \text{ л/ч}$, азота – $1,6 \text{ л/ч}$. Ротор двигателя представляет диск из титанового сплава, по обе стороны которого на изоляционных прокладках радиально размещены медные

стержни. Концы стержней у вала и на периферии соединены с коллекторами. Щетки обычные, медно-графитовые. Мощность двигателя 55,5 кВт при напряжении 260 В. Двигатель с цилиндрическим ротором имеет две встречные сверхпроводящие катушки возбуждения из провода диаметром 1,5 мм (ниобий-титановые (Nb-Ti) жилы в медной матрице). Внутренний диаметр обмотки 630 мм, наружный – 812 мм, длина каждой катушки 294 мм, общая длина 920 мм. Расход жидкого гелия 5 л/ч, жидкого азота – 3,5 л/ч. Токосъем осуществляется медно-графитовыми щетками. В пазах на поверхности расточки криостата размещена компенсационная обмотка, соединяемая последовательно с ротором. Мощность двигателя 119 кВт, частота вращения 1420 об/мин. Конструктивная схема модели показана на рис. 8.

Сверхпроводящая обмотка возбуждения 11 состоит из двух катушек, включаемых по магнитному полю встречно. Обмотка выполнена из неизолированной шины сечением $5 \times 1,1$ мм, полученной электролитическим сращиванием десяти многожильных проводов диаметром 0,5 мм. Каждый провод состоит из 50 ниобий-титановых (Nb-Ti) жил диаметром 45 – 68 мкм в медной матрице.

Катушка намотана с применением дистанционных электроизоляционных прокладок между слоями, которые перекрывают 50% поверхности шины. В осевом направлении витки изолированы лавсановой жилой диаметром 0,8 мм. Соединения проводов выполнены пайкой индием на длине одного витка и помещены внутри обмотки. Приняты меры для улучшения охлаждения мест соединения.

Каркасы катушек изготовлены из нержавеющей стали. В каркасах имеются отверстия для прохождения жидкого гелия. Сверхпроводящая обмотка помещена в гелиевый сосуд 8, который с помощью спиц из нержавеющей стали укреплен внутри азотного сосуда 9. Азотный сосуд в свою очередь с помощью спиц укреплен в корпусе криостата 10.

Корпус ротора генератора 7 представляет собой полый цилиндр с хвостовинами, вращающимися в подшипниках 4. Со стороны привода вал ротора 14 сплошной. С противоположной стороны он имеет стояк для крепления токовводов 3 с центральным отверстием, через которое проходят внутри ротора два неподвижных токоввода 1, 2, опирающиеся на ротор через подшипники 6, удерживаемые трубой 5. Токовводы внутри ротора заканчиваются дисками 12, 13, которые соединены с ротором через жидкий металл, подаваемый в ротор по трубкам, вмонтированным в токовводы. Электрическая изоляция токовводов и под-

шипников, а также трубки для подачи жидкого металла на схеме не показаны. Подобного рода оборудование используют в электрохимии – для получения меди, алюминия и других металлов методом электролиза; в ядерной физике – в токамаке (тороидальной камере с магнитными катушками) для возбуждения плазмы; в военном деле – для питания рельсотрона (рельсовой пушки); на флоте – в качестве генераторов, гребных электродвигателей [6]. Униполярные генераторы нашли применение в качестве источников питания электромагнитных кондукционных насосов, перемещающих жидкий металл в системах теплоотвода атомных реакторов, для питания электромагнитов ускорителей при создании сильных магнитных полей [7]. Униполярные микромашины применяются в качестве тахогенераторов [8, 9], датчиков скольжения при испытании индукционных машин [10], в электроизмерительной технике при определении единицы сопротивления [11]. Известны также униполярные электромагнитные муфты [12], преобразователи вращающего момента [13], электромеханические аккумуляторы [14] и другие виды специальных униполярных машин.

Однако применение новых технологий в области высокотемпературных сверхпроводников и жидкометаллического токосъема позволяет создавать машины достаточной мощности, удовлетворяющие жестким требованиям для применения их в системах электродвижения на судах. Передовые конструкции униполярных двигателей указывают на то, что эти электрические машины дают значительное уменьшение веса и пульсаций момента по отношению к существующим системам, таким образом, указывая на перспективность концепции применения их в составе ГЭУ [6].

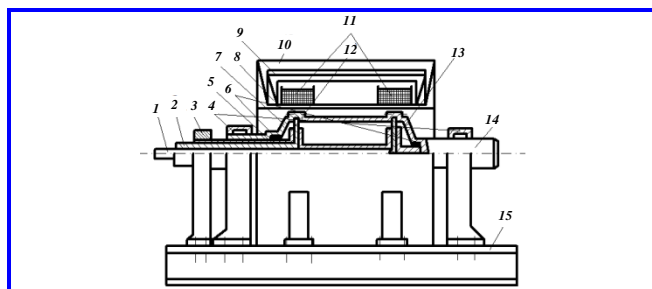


Рис. 8. Конструктивная схема униполярной машины со сверхпроводящей обмоткой возбуждения:

1, 2 – токовводы; 3 – стояк для крепления токовводов; 4 – подшипник ротора; 5 – труба для удержания токовводов; 6 – подшипник токовводов; 7 – корпус ротора; 8 – гелиевый сосуд криостата; 9 – азотный сосуд криостата; 10 – корпус криостата; 11 – сверхпроводящая обмотка; 12, 13 – диски токовводов; 14 – вал; 15 – фундаментная плита

Емкостные униполярные машины высокого напряжения представляют совершенно особую область электромеханических устройств [15].

Униполярные машины переменного тока с равномерным рабочим зазором отличаются изменяющимся во времени полем возбуждения. Законы изменения этого поля и напряжения на якоре машины определяются частотой и формой напряжения, приложенного к обмотке возбуждения. Частота тока якоря этих униполярных машин не зависит от скорости вращения. Магнитная система выполняется с радиальной шихтовкой. На якоре размещается стержневая обмотка. Подвижный контакт токосъема, находящегося внутри машины, не может выполняться кольцевым жидкометаллическим во избежание демпфирования поля возбуждения короткозамкнутым контуром. Примером униполярной машины переменного тока с периодически изменяющимся по величине рабочим зазором служат генераторы униполярных импульсов [16]. Якорь машины имеет стержневую обмотку, на полюсе статора чередуются зубцы и впадины. Частота импульсов определяется числом зубцов индуктора и скоростью вращения машины. Специальные униполярные машины с щетками, имеющими вращательное или возвратно-поступательное перемещение по поверхности якоря, предназначены для генерирования импульсов тока различной формы [17], форма и частота импульсов обуславливаются законом движения щеток. Различные схемы возбуждения униполярной машины показаны на рис. 9.

При комбинированном возбуждении (рис. 9, в) основная часть магнитного потока обуславливается постоянным магнитом, обмотка независимого возбуждения является управляющей. Подобные униполярные машины предложены в [15].

Вращательные униполярные машины обычно имеют твердый металлический якорь. Исключение составляют, например, униполярно-одноякорные преобразователи (УОЯП) – умформеры, где ротор генератора может представлять слой жидкого металла. В настоящее время умформеры повсеместно вытесняются полупроводниковыми преобразователями. К поступательным униполярным машинам относятся по принципу действия кондукционные жидкометаллические насосы и расходомеры и кондукционные магнитогазодинамические генераторы и ускорители. Роль якоря в них играет перемещающийся жидкий металл или ионизированный проводящий газ (плазма).

Схема более детальной классификации униполярных генераторов постоянного тока с ферромагнитным магнитопроводом индуктора представлена на рис. 10.

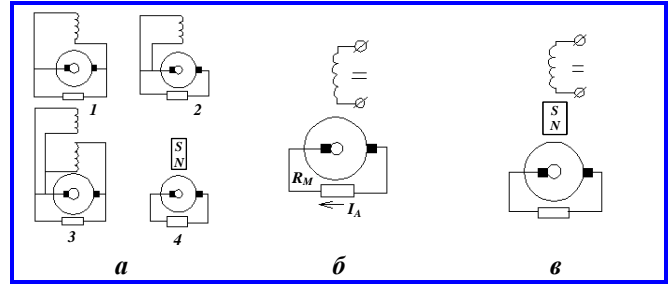


Рис. 9. Схемы возбуждения униполярных машин: а – с независимым возбуждением (1 – параллельным; 2 – последовательными; 3 – смешанным; 4 – от постоянного магнита); б – с самовозбуждением; в – с комбинированным (R_M – сопротивление обмотки возбуждения; I_A – сила тока; S – юг; N – север)

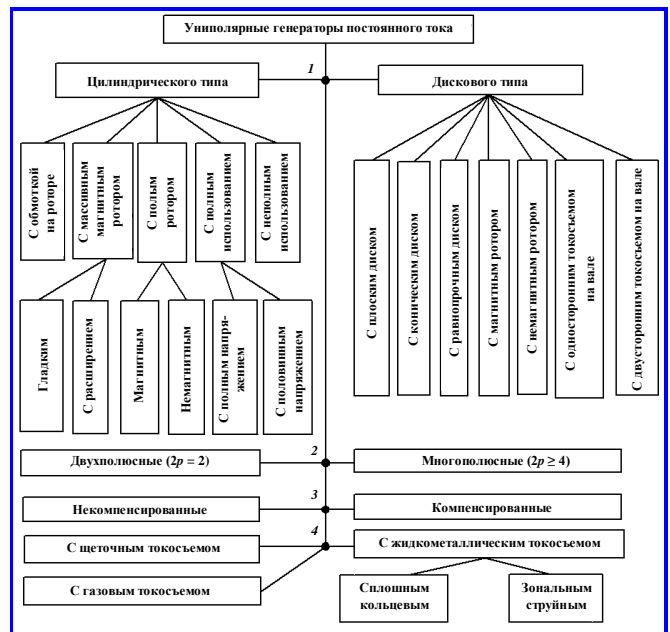


Рис. 10. Схема классификации униполярных электрических генераторов

Основными признаками классификации выбраны: конструктивный тип ротора (якоря) 1; число полюсов машины 2; наличие устройств для компенсации реакции якоря 3; тип токосъема 4. По ряду неспецифических для униполярных машин конструктивных признаков к ним применима общая классификация электрических машин [18].

Недостатки

Существенным недостатком дисковых униполярных машин является чувствительность к неточностям сборки при монтаже. В случае появления магнитной асимметрии возникают значительные осевые усилия, затрудняющие работу подшипников и щеточного аппарата. Это повышает потери в машине и обуславливает значительные толчки ротора при изменениях тока [19].

Униполярные машины характеризуются присутствием им низким напряжением и высокими рабочими токами, что делает задачу обеспечения связи между двигателями и генераторами трудновыполнимой.

Дисковые униполярные генераторы с магнитным якорем имеют существенный недостаток, заключающийся в сильном одностороннем магнитном притяжении ротора к полюсу статора при неравенстве зазоров по обеим сторонам диска и несимметрии потоков рассеяния. Данное обстоятельство усложняет конструкцию подшипниковых узлов машины. Для устранения одностороннего притяжения целесообразно применение немагнитных дисков. Якорные диски могут выполняться плоскими (равной толщины), с гиперболическим профилем (равнопрочными) при высоких окружных скоростях и коническими. Последние мало уступают по прочности гиперболическим, но более просты по технологии изготовления. Они обеспечивают более равномерное распределение тока в якоре, чем плоские диски. При двустороннем токосъеме на вале униполярного генератора дискового типа уменьшается диаметр вала и растет активная радиальная длина якоря, что способствует получению большей ЭДС. Однако появление дополнительного подвижного контакта снижает надежность и усложняет конструкцию машины по сравнению с униполярным генератором, имеющим односторонний токосъем на вале.

Заключение

Униполярные электрические машины просты по конструкции, имеют ряд преимуществ перед машинами традиционных конструкций: малые напряжения и большие токи, широкий диапазон частот вращения, удобная компоновка (встраиваемость) в механизмы и в приводные двигатели. Униполярные электрические машины характеризуются длительным эксплуатационным периодом обслуживания, высокой эффективностью, низким уровнем шума, а также низким коэффициентом веса на единицу мощности. Таким образом, униполярные машины имеют широкие перспективы применения во многих областях, таких как системы электродвижения на судах, применение в качестве источников питания электромагнитных кондукционных насосов, перемещающих жидкий металл в системах теплоотвода атомных реакторов, для питания электромагнитов ускорителей и в других областях. Общим недостатком униполярных машин с усложненной конструктивной схемой является необходимость обеспечения весьма точной сборки. В противном случае появление магнитной

асимметрии обуславливает возникновение вихревых токов, снижающих коэффициент полезного действия машины, а также сильных механических ударов при внезапном изменении тока нагрузки.

Литература

1. Униполярные двигатели // Специальные электромеханические преобразователи (ч. 2. Специальные машины постоянного тока). Конспект лекций : учебное пособие / Э. Г. Чеботков ; Самарский государственный технический университет. – Самара, 2008. – Раздел 11. – [без страниц] – URL: <https://studfile.net/preview/9439678/page:9/>.
2. Униполярные машины; применение постоянных магнитов в электромашиностроении : Материалы Конференции, созванной Отделением технических наук АН и Главэлектропромом на Ярослав. машиностр. заводе / [Отв. ред. акад. К. И. Шенфер]; Акад. наук СССР, Отд. тех. наук. – Москва ; Ленинград : Изд-во Акад. наук СССР, 1940 (Москва). – 180 с. : ил. и черт., граф.; 27 см.
3. Каунас Ю. Ю. Исследование ртутного контакта для униполярной машины : специальность 05.00.00 «Технические науки» : автореферат кандидатской диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Каунас Ю. Ю. ; Литов. с.-х. акад. – Каунас : [б. и.], 1954. – 16 с. : черт.; 22 см.
4. Myers E. H. Homopolar generator / E. H. Myers // Westinghouse Engineering. – 1956. – Vol. 16. – № 2. – P. 59–61.
5. Ugrimoff B. Die unipolare Gleichstrommaschine : dissertation на соискание ученой степени доктора технических наук / Boris von Ugrimoff. – Berlin, 1910. – 100 p.
6. Ефремов Д. В. Динамомашин в ее историческом развитии : Документы и материалы / Сост. Д. В. Ефремов, М. И. Радовский ; Под ред. акад.: В. Ф. Миткевича. – Ленинград : Изд-ва Акад. наук СССР, 1934. – 560 с., 3 вкл. л. ил., портр., черт. : ил. – (Труды Института истории науки и техники. Серия 3 / Акад. наук СССР; Вып. 1).
7. Гусев С. А. Очерки по истории развития электрических машин / С. А. Гусев. – Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1955. – 216 с. : ил.
8. Долина В. И. Применение униполярной машины для измерения скорости вращения / В. И. Долина // Электричество. – 1957. – № 2. – С. 80–82.
9. Авторское свидетельство СССР № 137574, Класс 21d, 6, 42с, 11. Тахогенератор типа униполярной машины : № 657074/24 : заявл. 02.03.1960 ; опубл. 1961 / Цирлин Ю. Л. – Бюл. № 8. – 3 с.
10. Кулебакин В. С. Испытание электрических машин и трансформаторов / В. С. Кулебакин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва ; Ленинград : Объединенное науч.-техн. изд-во НКТП СССР. Глав. ред. энергет. литературы, 1935. – 793 [1] 8 с. : ил.
11. Физические основы электротехники / [Перераб. пер. монографии: G. P. Harnwell, Principles of electricity and electromagnetism. 1949] ; Под общ. ред. проф. д-ра техн. наук К. М. Поливанова. – Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1960. – 556 с. : ил.
12. Боровских Ю. И. Электрооборудование подъемно-транспортных машин : Учебник для техникумов по специ-

альности «Подъемно-транспортные машины» / Ю. И. Боровских, Б. П. Басыгин. – Москва : Машиностроение, 1979. – 98 с.

13. Патент № RU 116636 U1 Российская Федерация, МПК G01L 3/20(2006.01). Измерительный преобразователь вращающего момента: № 2012106675/28 : заявл. 22.02.2012 : опубл. 27.05.2012 / Симанин Н. А., Голубовский В. В., Симанин С. Н., Расстегаев А. Н. – 2 с. : ил.

14. Патент № SU 1126746 A1 Российская Федерация, МПК F16H 33/02(2006.01). Аккумулятор электромеханической энергии : № 3639219 : заявл. 29.08.1983 : опубл. 30.11.1984 / Бураков Н. П. – 3 с. : ил.

15. Полотовский Л. С. Емкостные машины постоянного тока высокого напряжения / Л. С. Полотовский. – Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1960. – 154 с. : ил.

16. Лившиц А. Л. Генераторы периодических импульсов сильного тока / А. Л. Лившиц, И. С. Рогачев. – Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1959. – 199 с. : ил.

17. Авторское свидетельство № 140480 СССР, Класс 21d², 5, 21d¹, 6. Униполярный генератор электрического тока : № 661857/24 : заявл. 06.04.1960 : опубл. 1961 / Тихомиров В. А., Лавровский В. А. – Бюл. № 16. – 4 с.

18. Толвинский В. А. Электрические машины постоянного тока / В. А. Толвинский. – Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1956. – 466 с. : ил., граф.

19. Электрические униполярные машины / Л. А. Суханов, Р. Х. Сафиуллина, Ю. А. Бобков ; под ред. Л. А. Суханова. – Текст : электронный // Космонавтика : [сайт]. – URL : <http://www.vbega.ru/engineering/uniolyar/3/index.html>.

Поступила в редакцию 12.06.2023

*Александр Иванович Мизин, главный технолог, т. 8 (903) 229-26-06, e-mail: aimizin@vei.ru.
Татьяна Игоревна Сокирко, инженер-технолог, т. 8 (999) 615-35-82, e-mail: tibessonova@vei.ru.
(ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академика Е. И. Забабахина»).*

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF UNIPOLAR MACHINES

A. I. Mizin, T. I. Sokirko

The development of industry and technology requires the creation of electrical machines operating in a wide range of regulation of the rotor speed. One of the varieties of such machines are unipolar motors. Basically, such machines are low-voltage and operate with high direct currents measured in hundreds of kiloamperes. The article discusses the history of development, design features, advantages and disadvantages of unipolar machines in comparison with conventional collector DC machines, provides a comparative analysis of the current collection units used in the developments of domestic and foreign manufacturers. The issues of application and prospects for the development of unipolar machines associated with the use of new technologies in the field of high-temperature superconductors and liquid metal current collection are considered.

Key words: unipolar generators, unipolar motors, structural diagrams of unipolar machines.

References

- Unipolar motors // Special electromechanical converters (part 2. Special DC machines). Lecture notes: textbook / E. G. Chebotkov; Samara State Technical University. – Samara, 2008. – Section 11. – [No pages]. – URL : <https://studfile.net/preview/9439678/page:9/>.
- Unipolar machines; the use of permanent magnets in electrical engineering: Proceedings of the Conference convened by the Department of Technical Sciences of the Academy of Sciences and Glavelektroprom on Yaroslavl. mechanical engineering factory / [Answer. ed. acad. K. I. Shenfer]; Acad. Sciences of the USSR, Department of those. Sciences. – Moscow ; Ленинград : Acad. Sciences of the USSR, 1940 (Moscow). – 180 p. : ill. and hell., count.; 27 cm.
- Kaunas Yu. Yu. Investigation of mercury contact for a unipolar machine: specialty 05.00.00 «Technical sciences»: abstract of a candidate's dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Kaunas Yu. Yu. ; Lithuanian. s.-x. acad. – Kaunas : [b. and.], 1954. – 16 p. : crap. ; 22 cm.
- Myers E. N. Homopolar generator / E. N. Myers // Westinghouse Engineering. – 1956. – Vol. 16. – No. 2. – P. 59–61.
- Ugrimoff V. Die unipolare Gleichstrommaschine: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Boris von Ugrimoff. – Berlin, 1910. – 100 p.
- Efremov D. V. Dynamo machine in its historical development: Documents and materials / Comp. D. V. Efremov, M. I. Radovsky ; Ed. Academician: V. F. Mitkevich. – Ленинград : Publishing House Acad. Sciences of the USSR, 1934. – 560 p., 3 incl. 1. ill., portrait, devil. : ill. – (Proceedings of the Institute of the History of Science and Technology. Series 3 / Acad. Sciences of the USSR; Issue 1).
- Gusev S. A. Essays on the history of the development of electrical machines / S. A. Gusev. – Moscow ; Ленинград : State Energy Publishing House, 1955. – 216 p. : ill.
- Dolina V. I. The use of a unipolar machine for measuring the speed of rotation / V. I. Dolina // Electricity. – 1957. – No. 2. – P. 80–82.
- USSR author's certificate No. 137574, Class 21d¹, 6, 42c, 11. Tachogenerator of the type of a unipolar machine : No. 657074/24 : Appl. 03/02/1960 : publ. 1961 / Tsirlin Yu. L. – 1961. – Bull. No. 8. – 3 p.

10. Kulebakin V. S. Testing of electrical machines and transformers / V. S. Kulebakin. – 2nd ed., revised and additional. – Moscow ; Leningrad : United Scientific and Technical. publishing house of the NKTP USSR. Head. ed. energy Literature, 1935. – 793 [1] 8 p. : ill.
11. Physical foundations of electrical engineering / [Revised. per. monographs: G. P. Harnwell, Principles of electricity and electromagnetism. 1949]; Under total ed. prof. Dr. tech. Sciences K. M. Polivanova. – Moscow ; Leningrad : State Energy Publishing House, 1960. – 556 p. : ill.
12. Borovskikh Yu. I. Electrical equipment for hoisting and transport machines : A textbook for technical schools in the specialty «Hoisting and transport machines» / Yu. I. Borovskikh, B. P. Basygin. – Moscow : Mashinostroenie, 1979. – 98 p.
13. Patent No. RU 116636 U1 Russian Federation, IPC G01L 3/20(2006.01). Torque transducer : № 2012106675/28 : Appl. February 22, 2012 : published on May 27, 2012 / Simanin N. A., Golubovsky V. V., Simanin S. N., Rastegaev A.N. – 2 p. : ill.
14. Patent No. SU 1126746 A1, Russian Federation, IPC F16H 33/02(2006.01). Electromechanical energy accumulator: № 3639219 : Appl. 08/29/1983 : published 11/30/1984 / Burakov N. P. – 3 p. : ill.
15. Polotovskiy L. S. Capacitive high voltage direct current machines / L. S. Polotovskiy. – Moscow ; Leningrad : Gosenergoizdat, 1960. – 154 p. : ill.
16. Livshits A. L. Generators of periodic high current pulses / A. L. Livshits, I. S. Rogachev. – Moscow ; Leningrad: Gosenergoizdat, 1959. – 199 p. : ill.
17. Copyright certificate No. 140480 USSR, Class 21d2, 5, 21d1, 6. Unipolar electric current generator : No. 661857/24 : Appl. 04/06/1960 : publ. 1961 / Tikhomirov V. A., Lavrovsky V. A. – Bull. No. 16. – 4 p.
18. Tolvinsky V. A. DC electric machines / V. A. Tolvinsky. – Moscow ; Leningrad : State Energy Publishing House, 1956. – 466 p. : ill., graph.
19. Electric unipolar machines / L. A. Sukhanov, R. Kh. Safiullina, Yu. A. Bobkov ; ed. L. A. Sukhanova. – Text : electronic // Cosmonautics : [website]. – URL : <http://www.vbega.ru/engineering/uniolyar/3/index.html>.

Alexander Ivanovich Mizin, Chief process engineer, tel. 8 (903) 229-26-06, e-mail: aimizin@vei.ru.

Tatyana Igorevna Sokirko, Process engineer, tel. 8 (999) 615-35-82, e-mail: tibessonova@vei.ru.

(All-Russian Electrotechnical Institute – Branch of «RFNC – VNIITF named after academician E. I. Zababakhin»).