

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Ю.С. Смирнов, Д.А. Кацай, Е.В. Юрасова, Т.А. Козина

В работе рассмотрены назначение, области применения и варианты выполнения электромехатронных преобразователей (ЭМТП), предназначенных для преобразования вида энергии и форм информации в функциональное движение рабочего механизма (РМ). Показано, что рекомендуемое в мехатронике интегрирование электромеханической и микроэлектронной компонент в едином агрегате нецелесообразно в связи с тем, что компоненты имеют отличающиеся уровни радиационной стойкости.

Поэтому рекомендовано раздельное размещение компонент с минимизированным по сложности интерфейсом между ними. Особое внимание уделено выбору электромашин, наиболее полно удовлетворяющих требованиям работы при техногенных воздействиях. Показано, что этим требованиям наиболее полно удовлетворяют вентильные электромашин (ВЭМ).

Рассмотрены способы повышения эффективности ВЭМ с постоянными магнитами на роторе путём перехода от цилиндрического размещения магнитных материалов к дисковому размещению.

Ключевые слова: радиационная стойкость, электромехатронный преобразователь, энергоэффективность, дистанционное управление.

Назначение и области применения

Электромехатронные преобразователи (ЭМТП) предназначены для преобразования аналоговой или цифровой информации в функциональное движение рабочего механизма (РМ). Логотип ЭМТП представлен на рис. 1. Электромеханическая компонента (ЭМК), связанная непосредственно с РМ, должна обладать соответствующим уровнем радиационной стойкости на весь период безрегламентного функционирования. В соответствии с CALS-технологией ЭМК после завершения функционирования подлежит утилизации в качестве источника накопленной радиации и вторичному использованию не подлежит.



Рис. 1

Имеются три области применения ЭМТП при повышенной радиации:

- 1) для проведения исследований с радиоактивными материалами;
- 2) при автоматизации технологических процессов (ТП) ядерного цикла;
- 3) в процессе ликвидации последствий техногенных аварий [1].

Роботизированные манипуляторы с ЭМТП

Устройства, обеспечивающие безопасность проведения исследовательских работ, используются более ста лет и в большинстве своем являются

механическими и электромеханическими манипуляторами, которые представляют начальный этап робототехники. Повышение их эффективности достигнуто за счет очувствления. Использование достижений технической кибернетики позволило создать манипуляторы с адаптацией, оптимизацией, интеллектуализацией и самоорганизацией. Это способствовало повышению функциональных возможностей манипуляторов, их точности и быстродействию. Роботизированные манипуляторы заменяют мускульную силу человека в процессе выполнения технологических операций, требующих применения ЭМТП [2]. Основная задача ЭМТП в манипуляторах состоит в исключении нахождения оператора в зоне повышенной радиации и обеспечения условий для его эффективного взаимодействия с РМ, находящимся в условиях повышенной радиации.

В роботизированных манипуляторах широко использовались асинхронные агрегаты «двигатель-генератор» в одном корпусе. До появления транзисторов в качестве предусилителей использовались электронные лампы, одна из разновидностей которых «механотрон» преобразовывала перемещения в электрический сигнал и имела чрезвычайно высокую чувствительность. Промежуточные и выходные каскады усиления сигналов управления электродвигателями выполнялись магнитными усилителями. Высокой радиационной стойкостью обладали агрегаты «двигатель-магнитный усилитель» и «двигатель-электромашинный усилитель», осуществлявшие аналоговое управление РМ.

Низкая энергоэффективность линейных транзисторных усилителей мощности для управления агрегатами с асинхронными электромашинными (АЭМ) привела к необходимости перехода к дискретным усилительно-преобразовательным устройствам, часто именуемым электронными коммутаторами (ЭК). В робототехнике стали применяться удобные в управлении шаговые электродвига-

тели (ШЭД). Недостатки, связанные с использованием разомкнутых шаговых приводов в РМ были устранены за счет перехода к локально-замкнутым и замкнутым структурам [3].

Особо следует отметить, что пассивные компоненты, диоды и транзисторы, за исключением мощных и высоковольтных, считаются относительно радиационно стойкими и не требуют специальных мер по обеспечению их работоспособности [4].

Это обстоятельство в значительной мере способствовало внедрению в радиационно стойкую робототехнику ШЭД с ЭК на основе низковольтных транзисторов и интегральных микросхем (ИМС) со средней степенью интеграции [3].

Применение матричных ИМС, содержащих четыре отдельных транзистора в одном корпусе, позволило реализовать ЭК с чрезвычайно высокой наработкой на отказ. В этих ЭК каждый ключевой элемент, коммутирующий одну из четырех обмоток ШЭД, заменен четырьмя транзисторами из различных матриц, включенными последовательно-параллельно. Это позволяет обеспечить сохранение работоспособности ЭК при любых видах отказа транзистора. Схемотехника ЭК позволяет равномерно распределить тепловые потери по матрицам с учетом используемого алгоритма коммутации ШЭД.

На рис. 2 показан РМ и плата микроэлектронной компоненты (МЭК) с транзисторным ЭК, обеспечивающим фиксированный алгоритм коммутации ШЭД типа ДШ-0,04В с мощностью управления 30 Вт. Применение матричных ИМС позволило реализовать на стандартной плате МЭК самоорганизующийся ЭМТП, автоматически изменяющий алгоритм коммутации ШЭД в зависимости от величины сигнала рассогласования для ДШ-0,1В с мощностью управления 50 Вт. (рис. 3).

Представленный на рис. 3 вариант МЭК, обладающий интеллектуальными свойствами, позволяет получить синергетический эффект, состоящий в повышении энергоэффективности и снижении погрешности позиционирования.

В связи с переходом на дискретное управление ВЭМ стали применяться агрегаты, содержа-

щие электродвигатель с кинестетическими и генераторными встроенными сенсорами. Современный этап эволюции радиационно стойких ЭМТП для исследовательских работ происходит в рамках робототехники при взаимодействии с мехатроникой.

Варианты ЭМТП для автоматизации ТП ядерного цикла

Что касается использования ЭМТП для автоматизации, то принципиально возможны два варианта построения: агрегатный и отдельный. Первый вариант предусматривает близкое или встраиваемое размещение МЭК по отношению к ЭМК (см. рис. 1). Основным достоинством этого варианта является предельное упрощение интерфейса между компонентами, исключающее необходимость применения кабелей. Это преимущество становится особо важным в случаях, где длина кабелей ограничивает радиус действия мобильного агрегата [1].

Однако применение агрегатного варианта приводит к тому, что микроэлектронная компонента оказывается под действием повышенной радиации со всеми вытекающими последствиями для электронной компонентной базы (ЭКБ). Требования радиационной стойкости ЭКБ сегодня является наиболее критичными и дорогостоящими для потребителей этих устройств [4]. Наиболее критичными в ЭКБ с максимальной чувствительностью к радиационным воздействиям являются большие интегральные схемы (БИС) микропроцессоров, микроконтроллеров, программируемых логических интегральных схем, запоминающие устройства, преобразователи аналоговых и цифровых сигналов, оптико-электронные приборы с зарядовой связью [5].

В ряде случаев при использовании электропривода (ЭП) в применениях, не оказывающих влияние на ход технологий ядерного цикла, удается агрегатировать радиационно стойкие электронные элементы с ЭМК. С целью упрощения эксплуатации оборудования следует избегать установки в ЭП дополнительных датчиков положения ротора (ДПР). Информация о положении ротора может быть получена косвенным путем [6]. Вир-

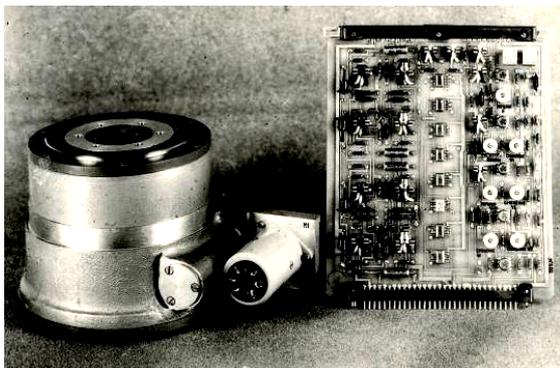


Рис. 2

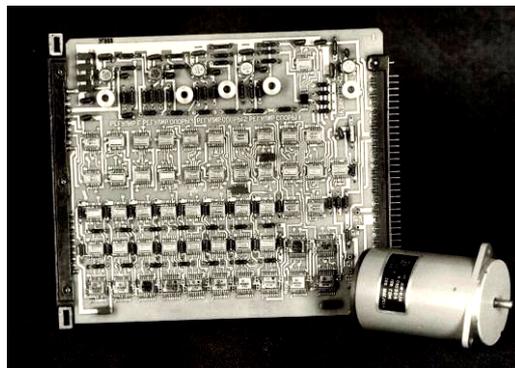


Рис. 3

туальный вариант ДПР может использоваться с РМ, у которых по условиям ТП желательно и допустимо относительно длительное снижение скорости, сопровождающееся, как правило, малыми нагрузочными моментами при умеренных требованиях к скоростному режиму (вентиляторы, насосы гидрострессов). В данных РМ нежелательна полная остановка ЭП, предпочтителен перевод на пониженную скорость, позволяющий экономить энергию и ресурсы.

Это приводит к необходимости поиска предельно простых схмотехнических решений, основанных на применении относительно радиационно стойких элементов. Однако реализация этого метода на практике оказывается связанной с применением ЭКБ, обладающей максимальной чувствительностью к радиации в лице программируемого контроллера. При выносе схмотехники из зоны повышенной радиации для вывода сигналов датчиков напряжения потребуется шестиканальный аналоговый интерфейс, т. е. в 2 раза большее число каналов, чем для варианта с синусно-косинусным датчиком угла (СКДУ), в качестве которого может использоваться редуктосин или синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ) на валу электродвигателя (рис. 4, а).

Использование инкрементальных датчиков и бессенсорного информационного обеспечения [6] исключается из-за недостаточной достоверности и надежности формирования цифровых эквивалентов составляющих перемещения. Они требуют начальной выставки и предварительной прокрутки после обесточивания, что недопустимо в ответственных применениях.

В ответственных применениях, предназначенных для автоматизации ТП ядерного цикла, следует в первую очередь обеспечить надежность работы ЭМТП и достоверность преобразуемой информации. Совокупность выполнения этих требований обеспечивается за счет:

1) применения безредукторной структуры, позволяющей достаточно просто конструктивно ре-

ализовать «горячее» или «холодное» резервирование подшипников, электродвигателя и первичных преобразователей (ПП);

2) использования принципа единого информационного обеспечения (ЕИО) на основе ПП, в качестве которого используются СКДУ или тахометр, выходные сигналы которых подвергаются аналого-цифровому преобразованию для сопряжения с микропроцессорными средствами (МПС);

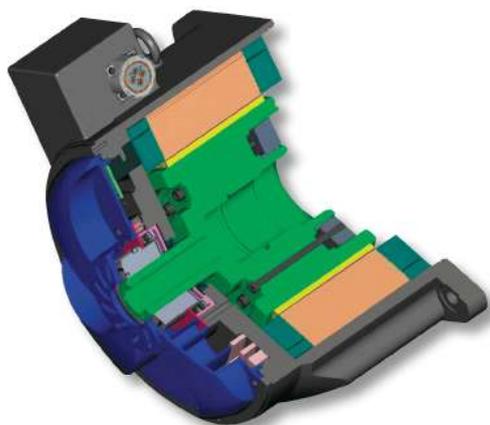
3) сопряжения по информационным каналам, которое производится в аналоговой форме, а управление осуществляется в дискретной форме по силовым цепям;

4) возможности реализации МЭК на обычных ИМС, работающих в комфортных условиях с «горячим» резервом, обеспечивающим надежность работы на протяжении всего срока эксплуатации;

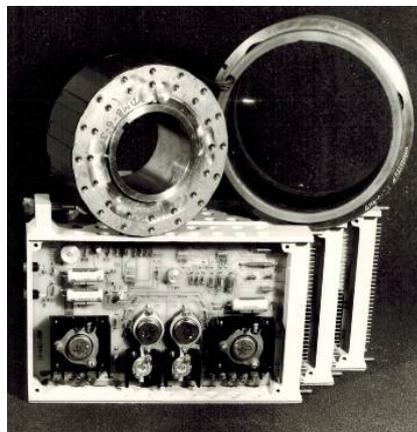
5) особенностей построения ЭМК и МЭК, предусматривающих автоматический контроль работоспособности ЭМТП и переключение основного и резервного комплектов с соответствующей световой и звуковой сигнализацией.

Выполнение этих требований позволило реализовать двухкоординатный безредукторный прецизионный ЭМТП с транзисторным ЭК и моментным трехфазным электродвигателем (МЭД) типа ДБМ-185, радиационно стойкий вариант ЭМК которого представлен на рис. 4, б. В МЭК формируется информационное обеспечение процесса позиционирования, обеспечивающее задание профилей составляющих перемещения по величине угла Θ , угловой скорости Ω и угловому ускорению ε (рис. 5). При аварийных ситуациях, когда необходимо осуществить быстрое перемещение РМ, может использоваться форсированное перемещение путем кратковременного включения режима «рывок» р от источника питания с повышенным уровнем напряжения питания.

Обеспечение требуемого ресурса безрегламентной работы ЭМТП реализовано за счет безредукторного варианта с последовательным резерви-



а)



б)

Рис. 4

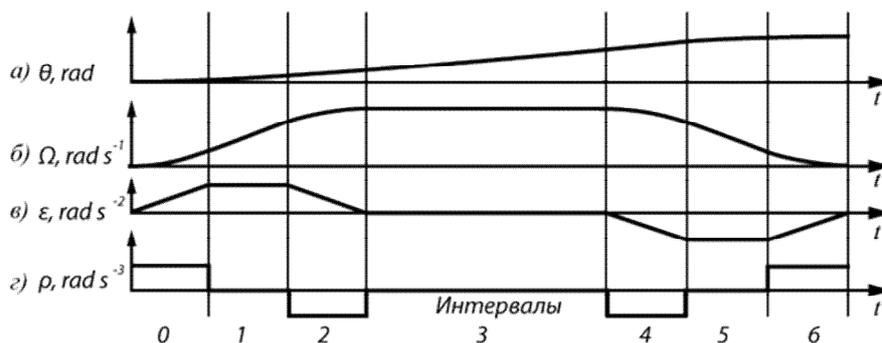


Рис. 5

рованием подшипникового узла, работающего на низких скоростях вращения РМ.

Гамма-процентная наработка до отказа в течение 25 лет эксплуатации превысила 55 000 ч. В качестве ПП использован многополюсный СКВТ с электрической редукцией [2]. Это существенным образом упростило аналоговый интерфейс с микроэлектронным полифункциональным преобразователем (МПП) выходных сигналов СКВТ в цифровые эквиваленты: величины и ее ортогональных составляющих, скорости и ускорения перемещения [7]. Поскольку МПП выполнен с использованием БИС, не удовлетворяющих заданным требованиям радиационной стойкости, то он размещен в помещении, свободном от радиоактивного облучения, на значительном расстоянии от ЭМК. Взаимодействие компонент осуществляется через кабельный интерфейс, обеспечивающий передачу аналоговых ортогональных составляющих точного и грубого каналов ПП от ЭМК к МЭК по кабелю с «витой парой».

Проведенные исследования и многолетний опыт эксплуатации показали, что различные конструкции бесконтактных ВЭМ с постоянными магнитами имеют существенные различия в радиационной стойкости [2]. Распространенные в настоящее время конструкции бесконтактных ВЭМ с постоянными магнитами, выполненные по технологии с поверхностными постоянными магнитами [surface permanent magnets (SPM)] (рис. 6), уступают по радиационной стойкости электродвигателям с встроенными постоянными магнитами [interior permanent magnets (IPM)] (рис. 7) [8].

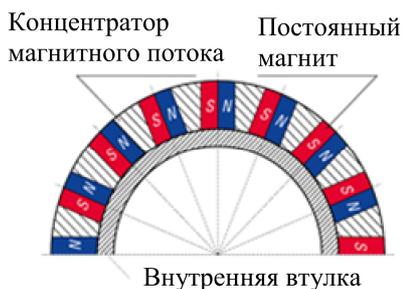


Рис. 6

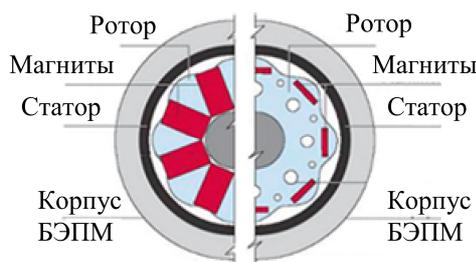


Рис. 7

Пути совершенствования электромашин для ЭМТП

Начиная с 60-х годов прошлого века в электромашиностроении явно преобладает тенденция перехода на ВЭМ, которые в сочетании с ДПР, ЭК и МПС управления образуют ЭМТП, являющийся преобразователем вида энергии и форм информации. Такой ЭМТП по сравнению с ШЭП обладает более высокой адаптацией и определенными элементами искусственного интеллекта, обеспечивающего принятие решения о движении в определенном направлении на каждом шаге перемещения. При этом несомненным является получение синергетического эффекта, заключающегося в существенном повышении энергоэффективности ВЭД по сравнению с ШЭД при охвате ВЭМ контуром местной обратной связи. Количественные изменения выходных параметров преобразователя энергии путем перехода от пошагового управления к самокоммутации приводят к качественным изменениям в ВЭМ, которая трансформируется в ВЭД или МЭД.

Положительным фактором применения ВЭД или МЭД является то, что вариации их параметров достигаются посредством изменения структурного, алгоритмического и информационного обеспечения процесса управления ЭМТП. Это открывает широкие возможности для повышения эффективности преобразования вида энергии. Электронное управление ВЭМ позволяет выполнить статорные обмотки сосредоточенными и значительно сократить пути замыкания магнитного потока. Исследования последних лет показывают, что существенное

улучшение энергетических характеристик, уменьшение массы и габаритных размеров мехатронной системы на базе ВЭМ с постоянными магнитами достигается за счет рационального формирования путей для магнитных потоков и электрических токов в электрических и магнитных контурах электрических машин.

Применение такого подхода подразумевает отказ от традиционных путей конструктивного решения и происходит в рамках процесса электронизации мехатронных систем внутри наиболее важного устройства, непосредственно преобразующего электроэнергию в механическое движение.

В настоящее время практически все отечественные изготовители, производящие радиационно стойкое оборудование, используют нерегулируемые асинхронные электромашин (АЭМ). В последнее время ряд российских заводов начал комплектовать приводы частотными преобразователями, позволяющими обеспечить управляемость АЭМ. Практически все иностранные компании предлагают регулируемые привода с АЭМ.

Следует отметить, что важным фактором для замены в процессе модернизации устаревших конструкций АЭМ путем разработки новых серий ВЭМ для общепромышленного применения является доступность магнитов с высокой энергией. Их основные параметры имеют следующие значения: остаточную индукцию $B_r = 1,4 \dots 1,5$ Тл; коэрцитивную силу $H_c = 390 \dots 400$ кДж·м⁻³; рабочую температуру $t = 180 \dots 200$ °С. Редкоземельные магниты обеспечивают требуемое магнитное поле ВЭМ, хорошо противостоят размагничивающему действию реакции ротора в любых рабочих и аварийных режимах. Этому способствует внутреннее расположение магнитов ротора, обеспечивая их надежное крепление, защиту от механических воздействий и от размагничивающего воздействия реакции ротора (см. рис. 7). Доступность этих магнитов обусловила применение их в ВЭМ при обеспечении конкурентоспособности по отношению к АЭМ как за счет параметров самих магнитов, позволяющих повысить уровень электромагнитных нагрузок и, следовательно, использовать активный объем, так и за счет отсутствия обмотки возбуждения, исключая потери в роторе и наличие щеточно-коллекторного узла.

Питание обмоток ВЭМ от преобразователя частоты снимает необходимость жесткой привязки числа полюсов машины к частоте питающей сети для обеспечения требуемой частоты вращения. Это позволяет использовать при заданной частоте вращения ВЭМ, реализующие более высокие моменты на валу при тех же габаритных размерах, чем машины низкой полюсности. Однако использование высокой полюсности ($2p = 10$ и более) в машинах обычных габаритных размеров упирается в технологические ограничения на выполнение зубцово-пазовой зоны машины. Одним из эффективных путей создания многополюсных электрических машин является применение обмоток с числом пазов на полюс и фазу, меньшим 1 ($q < 1$). Такие обмотки получили название «зубцовые» [9].

Соответствующим образом спроектированные ВЭМ становятся конкурентоспособными по отношению к АЭМ. При этом масса ВЭМ становится в среднем меньше на 17...20 % по сравнению с аналогичными АЭМ, а КПД составляет 84...88 %, в то время как у АЭМ он находится в пределах 70...86 %. Меньшие потери и вес позволили увеличить коэффициент оребрения корпуса электродвигателя до степени, обеспечивающей допустимый нагрев статора при естественном охлаждении, повысилась и радиационная стойкость.

На рис. 8 показана конструкция ВЭМ, где 1 – ротор с постоянными магнитами; 2 – статор; 3 – передний подшипниковый щит; 4 – задний подшипниковый щит; 5 – силовой разъем; 6 – информационный разъем.

Разработанные электродвигатели, имея естественное охлаждение, позволяют по сравнению со своими аналогами АЭМ обеспечить более высокие моменты на низких частотах вращения. Это обусловлено естественной системой охлаждения, эффективность которой при уменьшении частоты вращения не снижается по сравнению с системой охлаждения электродвигателей АЭМ, имеющих вентилятор на валу электродвигателя.

Заманчивым, с точки зрения повышения энергоэффективности ЭМТП, является переход к новым принципам конструирования ВЭМ.

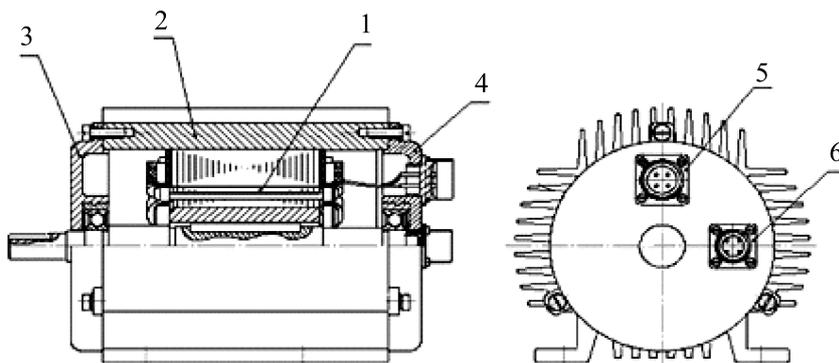


Рис. 8

Принципы повышения энергоэффективности ЭМТП

Одним из основных принципов, который можно выделить как современную важную тенденцию в развитии ВЭМ, является принцип преобразования (трансформации) конфигурации, преследующий цель наилучшего (оптимального) использования каждого единичного объема магнитопроводящих и электропроводящих материалов. Принцип трансформации конфигурации может быть представлен в виде последовательного преобразования конфигурации ВЭМ: от традиционной цилиндрической к аксиально-радиальной дисковой через однослойную и многослойную дисковые конфигурации [10].

В таблице приведено сопоставление двух типов двигателей с радиальным (RFPM) и аксиальным (AFPM) магнитными полями.

Суть новых мозаичных магнитных конструкций заключается во введении дополнительных ферромагнитных элементов, приводящих к повышению магнитной индукции в воздушном зазоре магнитоэлектрического двигателя. Таким образом, в таких конструкциях осуществляется «развитие» поверхности, на которую устанавливаются источники возбуждения с последующим сужением той площади, которую должен пересекать магнитный поток. Формирование комбинированных магнитных систем на основе плоских сегментов постоянных магнитов и треугольных ферромагнитных концентраторов магнитных потоков приводит к увеличению магнитной индукции в зазоре [10]. Применение мозаичных систем позволяет получить высокие значения магнитной индукции в зазоре и сравнительно большое значение самого рабочего зазора, что позволяет разместить в нем значительное количество меди, а, следовательно, создать условия для повышения линейной токовой нагрузки без увеличения плотности тока в обмотке управления (ОУ), что снижает тепловые потери в статоре.

При высоких, средних и низких скоростях вращения они реализуют постоянный вращающий момент. Поэтому такие двигатели удобны для применения в качестве прямого привода – без понижающих редукторов и дополнительных механических передач.

При применении предложенного способа размещения ОУ электромагнитные силы образуются на большей площади поверхности рабочего зазора по сравнению с традиционными конструкциями. Кроме того, при этом пренебрежимо мало влияние сил, способствующих возникновению колебаний. Обмотки уложены в пазах без применения стальных сердечников, что исключает потери, возникающие из-за явления гистерезиса, а также магнитное воздействие ротора на статор.

Результаты исследований [10] показывают, что многослойные машины с постоянными магнитами на роторе при использовании перечисленных выше современных конструктивных и технологических решений имеют превосходные массогабаритные показатели и характеризуются рядом достоинств: отсутствием пульсаций электромагнитного момента, высоким КПД, почти в два раза большим удельным моментом и вдвое меньшей массой по сравнению с традиционными цилиндрическими ВЭМ [2]. Ограничивающими факторами для широкого внедрения таких машин являются высокая цена высокоэнергетических постоянных магнитов, сложная технология их намагничивания, существенная зависимость их характеристик от температуры и радиации. Снять некоторые из отмеченных ограничений позволяют ВЭМ с самовозбуждением.

Вентильная электромашин с самовозбуждением

Вентильная электрическая машина с самовозбуждением относится к классу синхронных реактивных машин с вентильным управлением. В мировой технической литературе она обозначается как Switched Reluctance Machine (SRM) и представляет собой совокупность ВЭМ, ДПР, датчика тока и электронного блока управления (ЭБУ). В ЭБУ используется полирежимный ЭК [3] без реверса тока в ОУ. Статор и ротор ВЭМ – зубчатые из шихтованной электротехнической стали. Обмотки статора выполняются сосредоточенными и размещены на зубцах катушек, что обеспечивает высокую технологичность их изготовления. Ротор не имеет обмотки, что повышает надежность и уменьшает стоимость ВЭМ по сравнению с другими электродвигателями.

Мощность, кВт	1,25			2,5		
Тип ВЭМ с радиальным полем	RFPM-6	RFPM-8	RFPM-12	RFPM-6	RFPM-8	RFPM-12
Число пар полюсов	6	8	12	6	8	12
Масса, кг	12,3	11	9,797	22,3	20	17,2
Мощность, кВт	1,25			2,5		
Тип ВЭМ с аксиальным полем	AFPM-11-6	AFPM-11-8	AFPM-11-12	AFPM-21-6	AFPM-21-8	AFPM-21-12
Число пар полюсов	6	8	12	6	8	12
Масса, кг	6,71	5,47	4,29	9,8	8,54	7,07

Принципиальным отличием ВЭМ с самовозбуждением является импульсное питание сосредоточенных по фазам обмоток статора в зависимости от положения ротора. Такое управление обеспечивает положительный электромагнитный момент в двигательном режиме и отрицательный – в генераторном. Магнитная независимость фаз двигателя и инвертора позволяет выполнить ВЭМ с самовозбуждением так, что при наличии неисправных ОУ блокируются сигналы отпираания ЭБУ в поврежденной фазе, исключая возбуждение неисправной ОУ. Благодаря такой локализации продолжается рабочий режим ВЭМ, обеспечивая живучесть механизма, что важно при использовании в ТП ядерного цикла.

При использовании ВЭМ, построенных на новых технологиях, особый интерес представляет определение соотношения между внутренним и внешним диаметрами ротора. Показано, что оптимальное соотношение между диаметрами для призматических магнитов составляет 0,666; для варианта с сегментными магнитами аналогичный показатель снижается и составляет 0,578 [11].

Мехатроника в ликвидации последствий техногенных аварий

Ликвидация последствий радиоактивного загрязнения местности требует специального оборудования для выполнения работ. Одна из главных задач состоит в снятии поверхностного слоя почвы, а также асфальтобетонных покрытий дорог, лакокрасочных покрытий стен и крыш жилых домов, промышленных зданий и сооружений. Для решения такой задачи целесообразно использовать устройство для разрушения ледяных и твердых образований на дорожных покрытиях [12],

которое далее будет называться ротационный инструмент (РИ).

Радиация создает особые условия для использования любой техники. В условиях повышенной радиации выходит из строя микроэлектроника, на которой строится система управления подвижным объектом. Исполнительные устройства в виде электро-, магнито- и механических устройств менее чувствительны к радиации и могут выполнять свои технические функции. Некоторые типы сенсоров в специальном исполнении тоже работают в этих условиях.

Если размеры радиоактивной зоны ограничены, то систему управления (СУ) РИ нужно разделить на две части. Первая часть системы содержит радиационно стойкие сенсоры и исполнительные устройства и располагается на тягаче, несущем на себе РИ. Вторая часть системы управления содержит электронное вычислительное устройство (ЭВУ) с системой электропитания и располагается за пределами радиоактивной зоны. Обе части соединены между собой длинным электрическим кабелем. На рис. 9 показана кинематическая схема дорожного агрегата, с дистанционной СУ.

В состав агрегата входит фрезерный барабан 1, который установлен на платформе 2 в двухступенном кардановом подвесе. Барабан приводится во вращение двигателем Дв1. Подвес образован дополнително введенной рамой 3. Положение рамы относительно платформы определяется датчиком угла ДУ2. Управляющий момент для рамы по крену формируется с помощью двигателя Дв2 по прямой схеме. Управление рамой по тангажу осуществляется с помощью опорного узла 4, присоединенного к раме шарнирно. Управляющий момент создается двигателем Дв3 по прямой схеме. Взаимное поло-

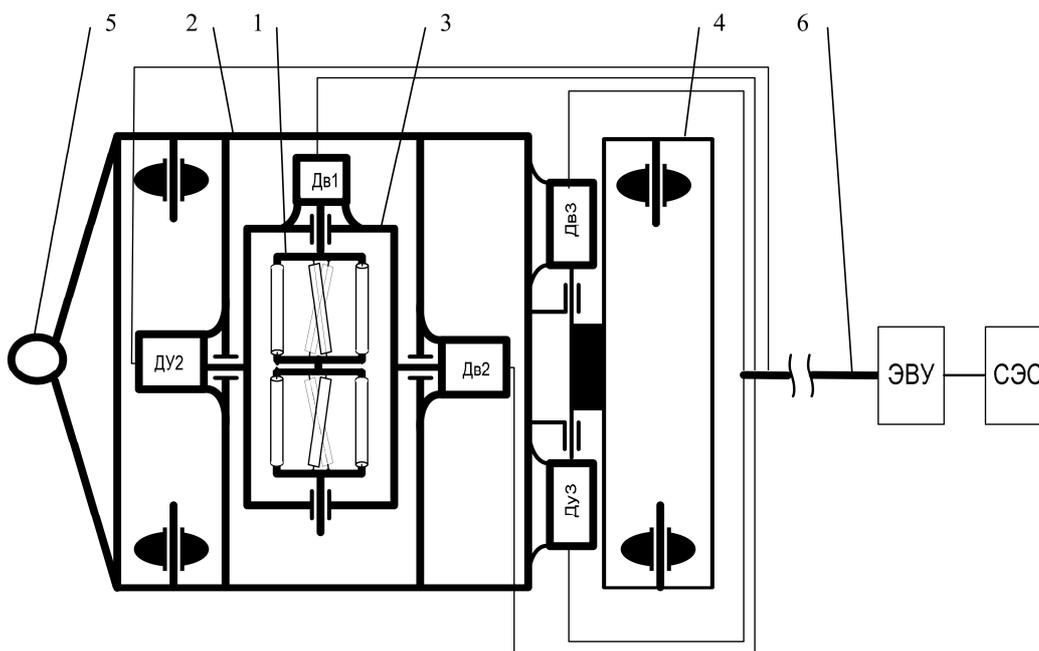


Рис. 9

жение платформы и опорного узла определяется с помощью датчика угла ДуЗ. Агрегат приводится в поступательное движение через сцепное устройство 5. С агрегатом через кабель 6 соединено ЭВУ с СЭС.

Целесообразность применения агрегата для снятия поверхностного слоя по системе дистанционного управления (СДУ) заключается в принципе его действия. Работа РИ основана на обкатывании режущими элементами обрабатываемой поверхности. Такая схема взаимодействия режущих элементов с материалами характеризуется их плавным входением в контакт. Следовательно, встречающиеся на пути инструмента твердые материалы, например, в виде стальной арматуры, не приведут к катастрофическим последствиям, не произойдет разрушения инструмента. Оператор по дистанционной линии управления сможет предпринять корректирующие действия по устранению проблемы.

Математическая модель автоматизированной системы управления РИ, входящего в состав агрегата, по высоте представлена в статье [13]. Особенностью модели является возмущение, формирующееся в процессе резания и описываемое нелинейной стохастической функцией.

Литература

1. Smirnov, Y.S. Robototechnical Complexes for Radioactive Accidents Aftermath Removal / Y.S. Smirnov // Book of abstracts VIII International Symposium «Ural Atomic, Ural Industrial». – Ekaterinburg, 2000. – P. 37–40.
2. Моментные электродвигатели и индукционные датчики угла для прецизионных электроприводов и цифровых безредукторных следящих систем: каталог ГНЦ РФ ФГУП ЦНИИ «Электроприбор», 2002. – 77 с.
3. Домрачев, В.Г. Цифроаналоговые системы позиционирования. Электромехатронные преобразователи / В.Г. Домрачев, Ю.С. Смирнов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 240 с.
4. Никифоров, А.Ю. Радиационная стойкость электронной компонентной базы систем специальной техники и связи / А. Ю. Никифоров, В.А. Телец // Спецтехника и связь. – 2011. – № 4–5. – С. 2–4.
5. Никифоров, А.Ю. Заблуждения и реальность в области оценки радиационной стойкости электронной компонентной базы / А.Ю. Никифоров // Спецтехника и связь. – 2011. – № 4–5. – С. 63–67.
6. Импульсно-векторное управление с косвенным определением углового положения ротора / Ю.С. Усынин, Ю.С. Смирнов, Т.А. Козина, А.В. Валов // Электротехника. – 2013. – № 10. – С. 36–41.
7. Smirnov, Y.S. Common Dateware of Robotics Mechatronic Converters Proc. of the Third ISMCR '93 / Y.S. Smirnov. – Italy, Torino, 1993. – As. 1. – P. 13–18.
8. Бартош, Ф. Технология встроенных магнитов в бесщеточных серводвигателях / Ф. Бартош // Control Engineering Россия. – 2006. – Март.
9. Разработка отрезка серии магнитоэлектрических синхронных электродвигателей с дробными зубцовыми обмотками / Ю.Г. Бухгольц, О.И. Новокрещенков, А.Г. Приступ, А.Ф. Шевченко // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2009. – № 11. – С. 24–28.
10. Герман-Галкин, С.Г. Современное состояние и перспективы развития мехатронных систем с вентильными электрическими машинами / С.Г. Герман-Галкин, А.В. Бормотов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 2. – С. 43–49.
11. Ганджа, С.А. Определение оптимальных габаритных размеров для вентильных машин с аксиальным магнитным потоком / С.А. Ганджа, А.С. Мартыанов // Вест. Юж.-Урал. гос. ун-та. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13, № 2. – С. 88–90.
12. Пат. 96875 Российская Федерация, МПК7 E01H 5/12. Устройство для разрушения ледяных и твердых образований на дорожных покрытиях / Д.А. Кацай, И.А. Баранова; заявитель и патентообладатель Юж.-Урал. гос. ун-т. – № 20100113856/21; заявл. 08.04.2010; опубл. 20.08.2010, Бюл. № 23. – 2 с.
13. Кацай, Д.А. Математическая модель автоматизированной системы управления мобильным агрегатом повышенной энергоэффективности / Д.А. Кацай // Труды научно-практической конференции «Актуальные проблемы автоматизации и управления». – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2013. – С. 35–39.

Смирнов Юрий Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры «Приборостроение», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, тел.: 8(351)2606842, e-mail: sus1940@mail.ru.

Кацай Дмитрий Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Приборостроение», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, тел.: 89043078345, e-mail: kdmail@mail.ru.

Юрасова Екатерина Валерьевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Информационно-измерительная техника», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, тел.: 89068903610, e-mail: urasova2004@gmail.com.

Козина Татьяна Андреевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, тел.: 8(351) 2679321, e-mail: kozinata@susu.ac.ru.

Поступила в редакцию 26 декабря 2013 г.

ELECTROMECHATRONIC CONVERTER RADIATION RESISTANCE SUPPLY

Yu.S. Smirnov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
sus1940@mail.ru,

D.A. Katsay, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
kdamail@mail.ru,

E.V. Yurasova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
urasova2004@gmail.com,

T.A. Kozina, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
kozinata@susu.ac.ru

The article discusses the purpose, field of application and variants of electromechatronic converters (EMTC) designed for conversion of the kind of energy and information forms to the functional movement of the working mechanism (WM). It is shown that the integrating the electromechanical and micro-electronic components in a single unit as recommended in mechatronics is unpractical due to the fact that the components have differing levels of radiation resistance. Therefore, it is recommended to provide the separate location of components with the interface of minimized complexity between them. Particular attention is paid to the selection of the electric machines optimally meeting the requirements of work under man-made influences. It is shown that these requirements best meet the permanent magnet synchronous electric machines (PMSEM). The ways of improvement of the PMSEM with permanent magnets on the rotor are examined by the transition from the cylindrical magnetic materials to the disk placement.

Keywords: radiation resistance, electromechatronic converter, energy efficiency, remote control.

References

1. Smirnov Y.S. Robototechnical Complexes for Radioactive Accidents Aftermath Removal, *Book of abstracts VIII International Symposium "Ural Atomic, Ural Industrial"*, Ekaterinburg, 2000, pp. 37–40.
2. *Momentnyye elektrodvigateli i induktsionnyye datchiki ugla dlya pretsizionnykh elektroprivodov i tsifrovyykh bezreduktornykh sledyashchikh sistem: Katalog GNTs RF FGUP TsNII "Elektropribor"* [Torque Motors and Inductive Angle Sensors for Precision Drives and Digital Servo Systems, Catalog SSC RF CRISM "Electropribor"], 2002. 77 p.
3. Domrachev V.G. *Tsifroanalogovyye sistemyi pozitsionirovaniya. Elektromehanotronnyye preobrazovateli* [Digital-to-Analog Positioning Systems. Electromechatronic Converters], Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 240 p.
4. Nikiforov A.Y., Telets V.A. [Radiation Resistance of the Electronic Component Base of the Specialized Machinery and Connection Systems], *Spetsstekhnika i svyaz'* [Specialized Machinery and Connection], 2011, no. 4–5, pp. 2–4. (in Russ.)
5. Nikiforov A.Y. [Vagrancy and Reality in the Field of Definition of Radioactive Resistance of the Electronic Component Base]. *Spetsstekhnika i svyaz'* [Specialized Machinery and Connection], 2011, no. 4–5, pp. 63–67. (in Russ.)
6. Usynin Yu.S., Smirnov Yu.S., Kozina T.A., Valov A.V. Pulse-Vector Control with Indirect Determination of Rotor Angular Position, *Russian Electrical Engineering*, 2013, vol. 84, iss. 10, pp 566–571.
7. Smirnov Y.S. Common Dateware of Robotics Mechatronic Converters Proc. of the *Third ISMCR '93*, Italy, Torino, 1993, As 1, pp. 13–18.
8. Bartos F. Technology Embedded Magnets in Brushless Servomotors, *Control Engineering Russia*, 2006, March.
9. Buchholz Y.G., Novokreschenkov O.I., Pristup A.G., Shevchenko A.F. [Development Segment Series Magneto Synchronous Motors with Fractional Claw Winding], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2009, no. 11, pp. 24–28. (in Russ.)
10. German-Galkin S.G. Bormotov A.V. [Current State and Prospects of Development of Mechatronic Systems with Gated Electrical Machines], *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2011, no. 2, pp. 43–49. (in Russ.)
11. Ganja S.A., Martianov A.S. [Determination of the Optimal Dimensions for Valve Machines with Axial Flux], *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2013, vol. 13, no 2, pp. 88–90. (in Russ.)
12. Katsay D.A., Baranov I.A. *Ustroystvo dlya razrusheniya ledyanyih i tverdyyih obrazovaniy na dorozhnyih pokryitiyah* [Device for Destruction Ice and Solid Formations on Pavements]. Patent RF no. 96875RU, 2010.
13. Katsay D.A. [Mathematical Model of the Automated Control System of the Mobile Unit Increased Energy Efficiency], *Trudy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Aktual'nye problemy avtomatizatsii i upravleniya"* [Proceedings of the Research-to-Practice Conference "Actual Problems of Automation and Control"], Chelyabinsk, 2013, pp. 35–39. (in Russ.)

Received 26 December 2013