

Электрические машины с поступательным движением

Ю.В. Черников

В своих основных разновидностях электрические машины постоянного и переменного тока были изобретены, изучены и усовершенствованы в период с 30-х годов до конца XIX столетия. Дальнейшие изобретения в этой области касались отдельных узлов, элементов конструкций, схем обмоток и специальных машин, но не затрагивали основ конструкций и принципов действия. Уже к концу 40-х годов XIX столетия безраздельное господство в электрических машинах получило вращательное движение, как более универсальное, хотя сторонники прямолинейного движения всегда утверждали: «...природа не изобрела колесо!» Такая ситуация сохранялась долгое время, несмотря на то, что для преобразования вращательного движения в поступательное, которое часто применяется в производственных механизмах, используются разнообразные механические устройства: кривошипно-шатунный механизм, винт и гайка, шестерня и рейка, гибкие передачи с систе-

мой блоков и тросов. Эти дополнительные устройства увеличивают механические потери, усложняют кинематические схемы, уменьшают надежность и точность управления.

Электродвигатели с возвратно-поступательным движением появились в самом начале создания электрических машин. Передовые по своей сути технические идеи по использованию электрической энергии были отягчены консервативным грузом достигнутых ранее результатов. Так, знаменитый французский ученый Андре Мари Ампер требовал, чтобы электрические генераторы обязательно давали такой же ток, как гальванические батареи, и первые генераторы были машинами постоянного тока. Конструктивная мысль первых создателей электродвигателей возвратно-поступательного движения не могла выйти за рамки кинематических схем «настоящей», т.е. паровой машины. Поэтому среди ранних конструкций электродвигателей возвратно-поступательного движения имелись машины, которые даже по внешним признакам (цилиндр, поршень, кривошипно-шатунный механизм) были похожи на паровую машину. Такими были электродвигатели американца Пейджа (1838 г.) и француза Бурбуза (1840 г.). Оба электродвигателя действовали на принципе втягивания стального сердечника в соленоид, а получившееся при этом возвратно-поступательное движение преобразовывалось посредством шатунно-кривошипного механизма во вращательное движение вала, снабженного для равномерности хода маховым колесом.

Электродвигатель Чарльза Грэфтона Пэйджа (рис. 1) [1] содержал катушки 1 электромагнитов (левая спираль – 1а, правая – 1б; их маркировка на рис. 1 не показана) с втягивающимися в них сердечниками 2 и 3 из мягкого железа или стали, а также распределительный механизм. Эти спирали закреплены на подставке и расположены так, что одна является продолжением другой, а оси их представляют одну прямую линию. Сердечники 2 и 3 соединены друг с другом толстым латунным стержнем и скреплены со скользящей рамой, установленной так, чтобы трение при скольжении было минимальным. Концы проволоки спиралей соединены с батареей через прерыватель на валу махового колеса.

Стержень 2 в положении, в котором он изображен на рис. 1, уже почти дошел до положения равновесия по отношению к спирали 1а и при своем движении переместил связанный с ним стержень 3 в такое положение, при котором он может быть подвергнут втягиванию со стороны спирали 1б. Когда стержень 2 находится в положении равновесия, кривошип находится в мертвой точке, прерыватель на валу переключает ток от спирали 1а к спирали 1б, которая втягивает в себя стержень 3, в результате чего получается машина с возвратно-поступательным движением. Представленная на рис. 1 модель имела ход в 3 дюйма.

Электродвигатель Бурбуза (рис. 2) [2] содержал: 1, 2 – катушки электромагнитов с втягивающимися сердечниками; 3 – переключатель. Поочередное включение этих элек-

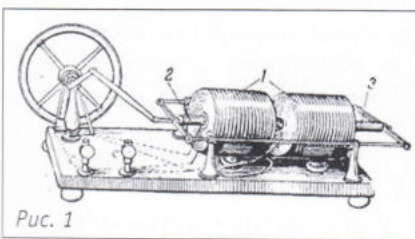


Рис. 1

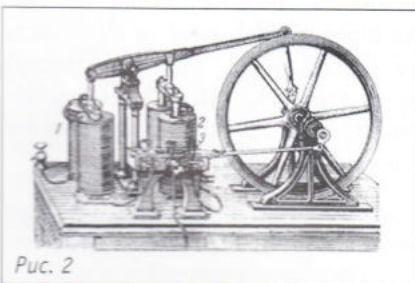


Рис. 2



тромагнитов обеспечивает через балансир вращение вала с маховиком.

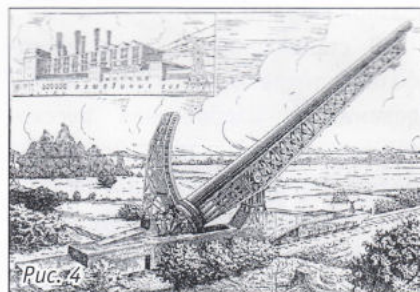
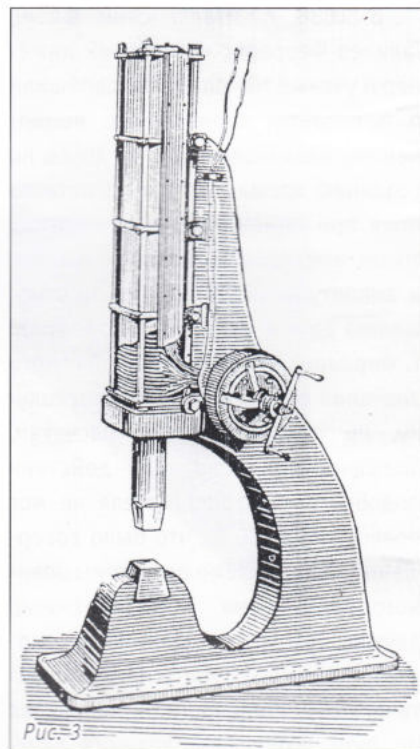
15 июня 1882 г. французский академик Марсель Дебре в большом амфитеатре Музея искусств и ремесел в Париже продемонстрировал впервые свой электрический молот [3]. Основой этого устройства является секционированный соленоид. От каждого провода, соединяющего две соседние катушки, отводится провод к своей металлической пластине, инкрустированной в бруске изолирующего материала. Вдоль этого своеобразного коллектора скользят две щетки, прикрепленные к изолирующей ручке, которую можно перемещать рукой. Если щетки разместить на таком расстоянии друг от друга, при котором число пластинок коллектора будет равно, например, 10, то, как бы мы ни перемещали систему щеток, ток, входящий через одну щетку и выходящий через другую, пройдет 10 катушек. Установив щетки в каком-нибудь положении, пропустим ток в соленоид и вставим внутрь цилиндр из мягкого железа. Цилиндр останется внутри соленоида во взвешенном положении и выпадет из соленоида, когда сила тока станет меньше определенного предела. Если переместить щетки на ширину одной пластины коллектора, активный соленоид переместится на такую же величину и сила притяжения цилиндра соленоидом увеличивается. Состояние равновесия восстановится только в том случае, если цилиндр переместится в том же направлении на такое же расстояние. Цилиндр будет в точности повторять все перемещения щеток, производимые рукой машиниста.

В электрическом молоте Дебре (рис. 3) соленоид длиной 1 м состоял из 80 секций. Соединительные провода от точек между соседними секциями соленоида подключены к кольцевому коллектору. Щетки были заменены двумя пластинами, прикрепленными к рукояти, которая могла вращаться вокруг оси кольце-

вого коллектора. Угол между этими пластинами можно было менять, что давало возможность определить оптимальную длину активного соленоида. Когда этот угол найден, его закрепляют винтом и молотом управляют, поворачивая рукоять в ту или другую сторону. Железный цилиндр весил 23 кг; при силе тока в 43 А и активном соленоиде, состоящем из 15 секций, молот развивал удар в 70 кг.

В 1918 г. во Франции была предпринята попытка построить электрическое орудие [4], которое по существу представляет собой электрическую машину с поступательным движением. Модель такой машины была построена и бросала снаряд весом 50 г со скоростью 200 м/с. Эта модель обладала существенными достоинствами: никакого давления, низкая температура, почти никакого звука.

Следует отметить, что дальше модели дело не пошло и настоящее боевое орудие не было построено. Ствол такой электропушки должен состоять из ряда катушек. Когда через обмотки этих катушек, не соединенных друг с другом, будут последовательно протекать токи, которые не пересекаются во времени между собой, стальной снаряд будет втягиваться магнитными силами последовательно в эти катушки. Снаряд получит нужное ускорение и после выключения тока в обмотке последней катушки по инерции вылетит из ствола. Однако расчеты показали, что для того, чтобы метнуть из электропушки такой же снаряд и на то расстояние, что и снаряд из 76-миллиметровой огнестрельной пушки, необходимо затратить в течение шести тысячных долей секунды энергию в 113000 килограммометров. Таким образом, для стрельбы даже из небольшого электрического орудия была нужна огромная на то время мощность. Кроме того, в то время отсутствовали быстродействующие ключи, которые бы обеспечить последовательное пере-



ключение сильных токов по обмоткам электропушки в заданный весьма короткий интервал времени.

Был и другой путь решения этой задачи, заключающийся в уменьшении тока и увеличении времени его воздействия на снаряд, но тогда нужно было удлинить в десятки раз ствол. На рис. 4 показан один из эскизов электропушки, из которого видно, что она очень длинна и громоздка.

Вероятно, рассмотренная выше электрическая пушка представляет собой одну из первых попыток создать электромагнитное баллистическое оружие, которое в настоящее время успешно разрабатывается.

Следующим шагом в развитии электрических машин с поступательным движением стало использование «развернутого в плоскость» статора асинхронного электродвигателя.



В 1888 г. итальянский физик Галилео Феррарис и сербский инженер и ученый Никола Тесла сообщили о результатах своих работ, выполненных независимо друг от друга, по созданию вращающегося магнитного поля при помощи двух переменных токов, имеющих одинаковую частоту и амплитуды, но сдвинутых по отношению друг к другу на 90 эл. град. Г. Феррарис не придал серьезного значения своему открытию, поскольку, по его ошибочным расчетам, коэффициент полезного действия подобного электродвигателя не мог превосходить 50 %, что было совершенно неприемлемо для промышленного применения. Н. Тесла считал двухфазную систему наиболее экономичной и все свои усилия в практической деятельности он направлял по пути усовершенствования двухфазной системы.

В становлении техники многофазных токов очень важны исследования и изобретения русского инженера Михаила Осиповича Доливо-Добровольского. Начав свои теоретические и экспериментальные исследования осенью 1888 г. и выполнив их в течение года, он раскрыл суть ошибки Г. Феррариса, доказал оптимальность связанной трехфазной системы и создал трехфазный асинхронный двигатель с ротором в виде беличьего колеса и обмотками на статоре, рассредоточенными по всей его окружности. Ротор Доливо-Добровольского был выполнен в виде стального цилиндра, что увеличивало эффективность использования магнитного поля, а в просверленные по периферии ротора каналы закладывались медные стержни, что уменьшало электрическое сопротивление, вследствие чего индуцированные в роторе токи могли свободно протекать. На лобовых частях ротора эти стержни электрически соединялись между собой. Это решение оказалось наилучшим.

Таким образом, к началу 90-х годов XIX столетия уже был асинхронный электродвигатель, статор

которого можно было «развернуть в плоскость».

Сведения о том, кто впервые «развернул в плоскость» статор асинхронного двигателя, достаточно туманны. Заслуживающее внимания предложение по плоским линейным двигателям появилось в 1902 г., когда А. Зеден получил патент Франции № 321691, в котором был описан двусторонний линейный асинхронный двигатель со вторичным элементом в виде проводящей шины [5]. Двусторонняя обмотка его статора была выполнена в виде обычных трехфазных обмоток и питалась трехфазным током. Возникающее при этом бегущее магнитное поле взаимодействует с наведенными под его воздействием токами в проводящей шине, в результате чего появляется продольное сдвигающее усилие. Если одну часть двигателя (первичную или вторичную) закрепить неподвижно, то другая (свободная) будет перемещаться со скоростью немного меньшей скорости бегущего магнитного поля за счет электрического скольжения. Здесь же были указаны две главные тяговые схемы на железнодорожном транспорте с применением линейных двигателей:

- короткий индуктор размещен на локомотиве, а вторичная шина уложена в полотно пути;

- индукторы, включаемые по мере необходимости, входят в структуру пути, а вторичная шина закреплена на локомотиве.

А. Зеден остановился перед непреодолимыми в то время трудностями экономического характера: изучение и практическая реализация идеи требовали больших капиталовложений. Идее Зедена пришлось более полувека ждать своего коммерческого применения, что объясняется тем, что на протяжении долгого времени ограниченными требованиями к скорости, ускорению и надежности отвечали другие виды двигателей.

В 1922 г. американский инженер П. Тромбетта описал конструкцию своего кузнечного молота, который

приводился в действие линейным асинхронным двигателем [6]. Обмотки этого двигателя включались в трехфазную сеть промышленной частоты. Попытки создания Тромбеттой нового линейного асинхронного двигателя не принесли желаемого результата, поскольку к.п.д. его был равен всего 7 %. Обобщив полученные результаты, Тромбетта впервые определил технические трудности, возникшие при создании кузнечного молота с линейным асинхронным двигателем. Трудности при создании электродвигателя возвратно-поступательного движения заключались в необходимости в течение всего времени работы реверсировать его, т.е. работа двигателя состояла из чередующихся пусков и остановок и представляла собой периодическое повторение переходных процессов, а также в наличии краевого эффекта, который создает дополнительные потери при выходе контуров вторичной цепи из поля воздействия статора. Все это снижало к.п.д. двигателя.

Литература:

1. Электромагнитная машина Пэйджа с возвратно-поступательным движением. В кн.: *Электродвигатель в его историческом развитии, документы и материалы*. Сост. Д.В. Ефремов и М.И. Радовский. Под ред. акад. В.Ф. Миткевича. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1936, с. 490 – 494.
2. Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. *Линейные асинхронные двигатели*. – М.: Энергоатомиздат, 1991, с. 15 – 16.
3. Электрический молот М. Денре, там же, где и 1, с. 623 – 625.
4. Артиллерия / В.П. Внуков и др. – М.: ГВИ Наркомата обороны СССР, 1938, с. 38 – 40.
5. Там же, где и 2, с. 17.
6. Trombetta P. *The electric hammer* // *AIEE Conv., Chicago, 1922, № 4*, p. 233 – 241.

(Продолжение следует)