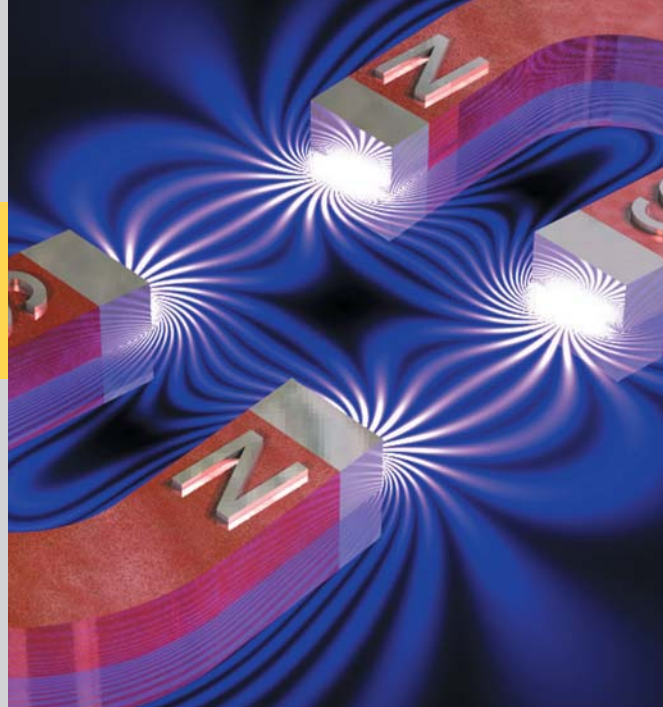




АЛЕКСАНДР МИКЕРОВ,
д. т. н., проф. каф.
систем автоматического управления
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
a.mikerov@gmail.com

После обнаружения Эрстедом магнитного действия тока начались эксперименты по преобразованию электрической энергии в механическое движение, а их результат продемонстрировали Фарадей, Барлоу, Ричи, Генри и другие ученые в своих приборах вращательного и качательного движения.



ПЕРВЫЕ ДЕМОНСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВРАЩЕНИЯ

Предыдущие статьи данного цикла [1–4] были посвящены зарождению теории и практики автоматического регулирования в XIX веке, который начинался как век пара. Однако в конце этого века на смену пару приходит электричество, поэтому многие объекты регулируют уже с помощью электромеханических систем на базе двигателей постоянного и переменного тока. Это приводит к появлению различных видов электродвигателей, генераторов, датчиков, усилителей и других элементов систем автоматики. В настоящей

статье будут рассмотрены первые опыты по использованию электричества в механических системах, выполненные в начале XIX века.

О способности электрического тока производить механическое движение европейские ученые узнали из публикации датского профессора Ганса Христиана Эрстеда (Hans Christian Ørsted), который в 1819 г. во время лекций показывал студентам тепловое воздействие тока на проводник, подключенный к Вольтовой батарее. Изначально этот проводник лежал в меридианном направлении поверх морского магнитного компаса, стрелка которого располагалась параллельно проводнику, однако она немедленно поворачивалась перпендикулярно ему при включении тока. Это явление было настолько революционным, что имя Эрстеда было увековечено в единице напряженности магнитного потока. Впоследствии было обнаружено, что этот эффект наблюдал еще в 1802 г. итальянский ученый Джованни Романьози (Gian Romagnosi), но его сообщение осталось незамеченным [5, 6].

Необычное явление, несомненно свидетельствующее о магнитном действии тока, вызвало огромный

интерес ученых и сразу же породило вопрос о возможности непрерывного электромагнитного вращения. Ответить на этот вопрос смог только гений экспериментального искусства Майкл Фарадей (Michael Faraday) [5, 7].

Великий английский физик Майкл Фарадей (рис. 1) происходил из простой семьи, дед его был кузнецом. Никакой школы, кроме начальной, он не закончил, и во всех его многочисленных работах вы не встретите ни одной математической формулы. Свои разносторонние знания Фарадей приобрел самостоятельно. Сначала работал учеником переплетчика в книжном магазине, внимательно изучая все попавшиеся ему книжки, особенно естественнонаучные, а потом ему повезло посетить несколько лекций знаменитого химика Гемфри Дэви (Humphry Davy), президента Лондонского королевского общества (английский аналог Академии наук), читавшего лекции для широкой публики в Королевском институте. Заметив пытливого слушателя, Дэви пригласил его в Королевский институт сначала лаборантом, а затем и ассистентом, в обязанности которого



РИС. 1. ▶
Молодой Фарадей
(1791–1867)

входили подготовка и проведение всех опытов профессором. В свободное время Фарадей стал заниматься собственными экспериментами и в 1821 г. добился непрерывного электромагнитного вращения с помощью прибора, состоявшего из двух последовательно включенных устройств (рис. 2), которые уже можно назвать электрическими двигателями [5].

Оба двигателя содержали серебряные чаши (1) и (2) с ртутью, постоянные магниты (3) и (4), проводники (5) и (6) на стойке (7), погруженные в ртуть. Двигатели отличались друг от друга тем, что в правом магнит (4) был неподвижен и проводник (6) свободно вращался вокруг магнита, а в левом двигателе наоборот: проводник (5) был неподвижным, а магнит (3) вращался.

Рассмотрим подробнее принцип действия правого двигателя, показанный на рис. 3, с предположением, что магнит имеет северный полюс N наверху. Поскольку магнитный поток магнита Φ направлен на рисунке вправо, то, по правилу левой руки, сила Ампера f , действующая на проводник с током в магнитном поле, направлена вниз и проводник начинает вращаться по часовой стрелке. Аналогично действует и левый двигатель на рис. 2, только в этом случае проводник (5) неподвижен, а вокруг него вращается магнит (3).

Публикация Фарадеем этого опыта неожиданно вызвала обвинения в плагиате, в том числе и от его непосредственного патрона Дэви, препятствовавшего в 1823 г. его избранию в члены Королевского общества [7]. Дело заключалось в следующем. Непосредственным поводом к проведению эксперимента послужила заказанная научным журналом статья по развитию науки об электричестве и магнетизме, для которой молодой ассистент решил самостоятельно проверить все известные критические опыты, а затем попробовать получить электромагнитное вращение.

О важности такого опыта говорил с Дэви в присутствии Фарадея и известный химик Уильям Волластон (William Wollaston). Сам Фарадей упомянул об этом в докладе Королевскому институту: «... мы обязаны проникательности д-ра Волластона первую мыслью

о возможности вращения электромагнитной проволоки вокруг ее оси вследствие приближения магнита». Однако опыты самого Волластона никаких результатов не дали, поэтому он не нашел в действиях Фарадея ничего предосудительного и одним из первых подписал петицию о его принятии в члены Королевского общества, которая и была в итоге одобрена подавляющим большинством его членов.

Оригинальность своих идей и научную проникательность Фарадей впоследствии неоднократно подтвердил многочисленными открытиями в электрохимии, оптике, изучении диэлектриков, электрического разряда в газах и электромагнетизме, вершиной которых было открытие в 1831 г. электромагнитной индукции. В честь него названы единицы емкости конденсатора (1 фарад) и величина заряда в электрохимии (1 фарадей).

Вслед за открытием Фарадея сразу же появились и другие электродвигатели, описанные, например, в работах [5, 8, 9]. Среди первых был прибор, созданный в 1824 г. английским физиком и математиком Питером Барлоу (Peter Barlow), показанный на рис. 4. Медное зубчатое колесо (1), частично погруженное в ванну с ртутью (2), помещено между полюсами подковообразного магнита (3). При прохождении тока от оси колеса вниз через ванну возникает сила Ампера, вызывающая вращение колеса, направление которого определяется полюсами магнита. Отметим попутно, что, как доказал коллега Барлоу, физик и изобретатель Уильям Стёрджен (William Sturgeon), зубчатость диска здесь не имеет принципиального значения. Точно так же вращается и круглый диск, погруженный в ртуть.

Дальнейший прогресс подтолкнуло изобретение в 1825 г. тем же Стёрдженем электромагнита, показанного на рис. 5, — в виде подковообразного сердечника с обмоткой, концы которой погружены в чашечки с ртутью. Обмотка выполнялась неизолированным проводом, накрученным на покрытый лаком сердечник. Электромагнит сразу стали использовать в конструкциях электродвигателей. Например, среди первых было устройство, созданное известным венгерским ученым

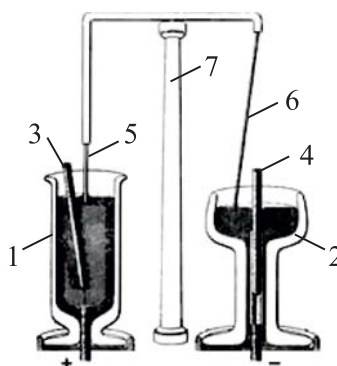


РИС. 2. ◀ Двигатели Фарадея

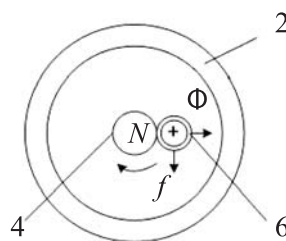


РИС. 3. ◀ Принцип действия двигателя Фарадея

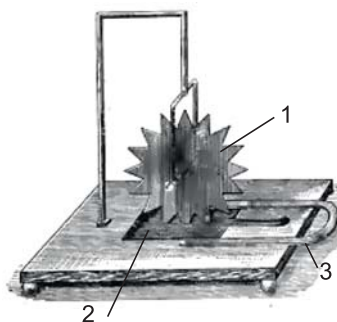


РИС. 4. ◀ Колесо Барлоу

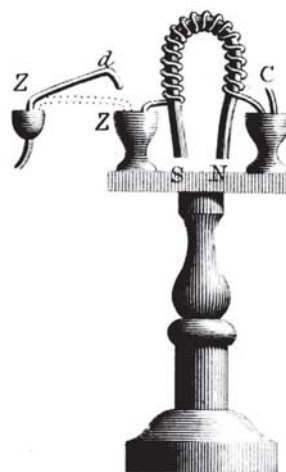


РИС. 5. ◀ Электромагнит Стёрджена

РИС. 6. ►
Двигатель Йедлика

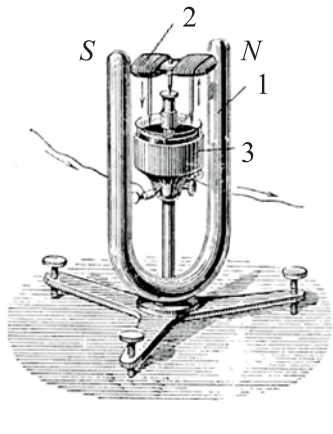
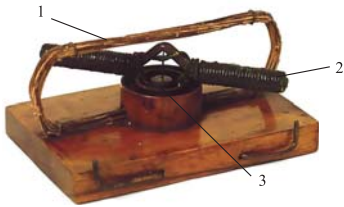
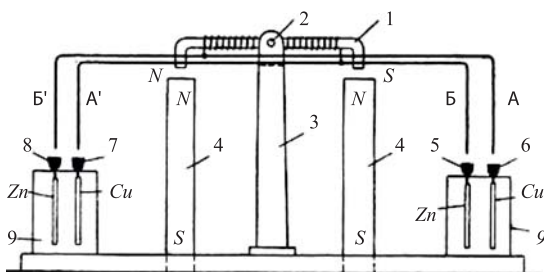


РИС. 7. ►
Двигатель Ричи

профессором Будапештского университета Аньошом Йедликом (Ányos Jedlik) в 1828 г. (рис. 6). Оно содержит неподвижную обмотку (1) и вращающийся электромагнит (2), который подключается к батарее через ртутный коммутатор (3) в виде чашечки с ртутью, разделенной перегородкой на два изолированных сектора, в которые погружены выводы обмотки электромагнита. Йедлик также одним из первых предложил идею электрогенератора с самовозбуждением (динамо-машины).

К сожалению, Йедлик опубликовал свое изобретение только спустя почти двадцать лет, поэтому более известным стал аналогичный двигатель (рис. 7), предложенный в 1833 г. профессором Вильямом Ричи (William Ritchie), коллегой Фарадея по Королевскому институту. Он также имеет ртутный коммутатор (3) и вращающийся электромагнит (2), но взамен

РИС. 8. ▼
Двигатель Генри



электромагнитного возбуждения используется постоянный магнит (1).

В то же время многие изобретатели предлагали двигатели с качательным движением. Так, в 1831 г. Джозеф Генри (Joseph Henry), профессор математики и физики из штата Нью-Йорк (США), начинавший свою карьеру актером провинциального театра, продемонстрировал устройство, показанное на рис. 8, где: 1 — качающееся коромысло в виде электромагнита на оси (2) и стойке (3) с контактами А, Б, А', Б'; 4 — два постоянных магнита; 9 — две медно-цинковые батареи Вольта, с выводами в виде чашечек со ртутью (5–8), в которые могут погружаться контакты А, Б, А', Б'.

При горизонтальном положении коромысла батарее не подключены и ток в электромагните отсутствует. Однако если качнуть коромысло, например влево, то контакты А', Б' подключают электромагнит к батарее таким образом, что его левый полюс становится северным (N), а правый — южным (S), как показано на рисунке. Коромысло отбрасывается вправо, подключается правая батарея, создающая ток обратного знака, полюса электромагнита перемагничиваются, и коромысло отбрасывается влево. Такой двигатель совершал 84 качания в минуту при мощности менее 0,05 Вт.

Однако знаменитым Джозефа Генри сделали другие его достижения: он наблюдал явление электромагнитной индукции, возможно, ранее Фарадея (но своеобразно этого не опубликовал), открыл самоиндукцию, построил самые мощные для своего времени электромагниты (поднимающие более одной тонны), применив, в отличие от Стёрджена, многослойную обмотку проводом с изоляцией

шелком; изобрел электромагнитное реле, давшее толчок развитию телеграфа, и т. д. Его имя присвоено единице индуктивности (1 генри).

Пожокие конструкции имели двигатели 1834 г. — итальянских профессоров С. Даль Негро (S. Dal Negro) и Д. Ботто (G. Botto), — снабженные механизмом преобразования качательного движения во вращательное, что, очевидно, было попыткой копировать паровую машину.

Однако все эти демонстрационные макеты были скорее игрушками, которые невозможно было реально использовать в силу ничтожной мощности (в сотые доли ватта) и непрактичных ртутных коммутаторов. Первым устройством, пригодным для применения, стал электродвигатель Якоби, который и будет рассмотрен в следующей статье. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Микеров А.Г. Первые регуляторы паровых машин. Control Engineering Россия. 2014. № 4 (52).
2. Микеров А. Г. Проблема устойчивости первых регуляторов. Control Engineering Россия. 2014. № 5 (53).
3. Микеров А.Г. Классики линейной теории автоматического регулирования. Control Engineering Россия. 2015. №1 (55).
4. Микеров А.Г. Истоки теории устойчивости систем автоматического управления. Control Engineering Россия. 2015. №3 (57).
5. История электротехники / Под ред. И. А. Глебова. М.: Изд-во МЭИ. 1999.
6. Guarnieri M. Once upon a time... The compass. IEEE Industrial Electronics Mag., v. 8, № 2. June 2014.
7. Радовский М. И. Фарадей. М.: Журнално-газетное объединение. 1936.
8. Электродвигатель в его историческом развитии / Сост. Д. В. Ефремов, М. И. Радовский, под ред. В. Ф. Миткевича. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1936.
9. Бельвинд Л. Д. и др. История энергетической техники. М.-Л.: Госэнергоиздат. 1960.

Созданию первых практически полезных электродвигателей предшествовал ряд опытов по преобразованию электричества в механическое движение:

- обнаружение в 1819 г. Эрстедом способности электрического тока вызывать механическое движение магнитной стрелки;
- демонстрация Фарадеем в 1821 г. электромагнитного вращения (проводник с током в ртути вокруг постоянного магнита);
- создание в период 1821–34 гг. первых приборов ничтожной мощности, показывающих различные способы электромеханического вращения или качания (Барлоу, Йедлик, Ричи, Генри и др.).