

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА ВЧЕРА, СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

Кандидат технических наук,
доцент С.В. ГАНДИЛЯН

DOI: 10.7868/50233361921050013

Развивая известный тезис о том, что понятие “жизнь” неразрывно связано с движением, можно утверждать, что на сегодняшний день цивилизационный уровень жизни человечества связан с механическим движением и электричеством как самой удобной и универсальной формой энергии. Движение и электричество составляют суть современной электромеханической науки. Поэтому электромеханика всегда будет сопровождать процессы жизнедеятельности человека.

Хотя электромеханике свойственна прикладная направленность, она не ограничена временными границами, как многие другие прикладные научно-технические направления. Взаимное преобразование механической и электрической энергии, то есть собственно электромеханика – постоянная основа научно-технического прогресса, определяющая развитие мощной традиционной энергетики, промышленности, транспорта, бытовой техники. Быстро возрастает роль электромеханики в новой экологически чистой энергетике (ветроэлектростанции, приливные и геотермальные энергоустановки), солнечных электростанции с турбинными циклами), в пер-

спективной авиакосмической технике (полностью электрифицированные самолеты, летательные аппараты с электровращением винтов, использующие солнечную или энергию сверхвысокочастотного излучения, космические аппараты с электромеханическими системами ориентации, спутники с кинетическими аккумуляторами энергии, аппараты с газотурбинными энергоустановками и т.д.), в высокоскоростном

транспорте с магнитной левитацией, в системах вооружения (электромагнитные пушки, кинетическое оружие для противоракетных систем и т.д.)

Первой полноценной работой по природному электромагнетизму был трактат “О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле”, английского учёного Уильяма Гильберта (1600 г.). В нём он впер-

вые ввёл термин “электричество” и назвал электрическими тела, способные электризоваться. С начала XVII в. до конца XVIII в. параллельно с интенсивным развитием классической механики формулировались научные основы электрофизики и термофизики. Они стали базой интенсивного развития электроэнергетики и технической электромеханики в целом.

Взаимное преобразование механической и электрической энергии, то есть собственно электромеханика – постоянная основа научно-технического прогресса, определяющая развитие мощной традиционной энергетики, промышленности, транспорта, бытовой техники.

Принято считать, что первоисточником прогресса электромеханики, как полноценного самостоятельного научного направления, являются фундаментальные открытия английского ученого Майкла Фарадея в области индукционного электричества в 1818–1835-х гг. (рис. 1). Но открытие Фарадея не было случайным, оно подготовлено работами многих физиков того периода.

В 1785 г. француз Шарль Кулон сформулировал закон взаимодействия неподвижных электрических зарядов. В это время в России Андреем Болотовым, Иваном Кулибиным были изобретены переносные установки генераций движения электрических зарядов под действием электрического поля. Они использовались в лечебной практике и для проведения психологических опытов.

В 1799 г. итальянский учёный Александр Вольта создал электрохимический генератор – вольтов столб – “слодку” из цинковых и медных дисков, разделённых прокладками, смоченными кислотой. Эксперименты с вольтовым столбом позволили изучить тепловые и магнитные действия электрического тока. Выполняя аналогичные опытные исследования, русский академик Василий Петров в 1802 г. сконструировал батарею из 4200 медных и цинковых пластин, которая имела выходное напряжение 1700 В и полезную мощность 85 Вт.

В 1820 г. французские учёные Жан Батист Био и Феликс Савар сформулировали закон действия тока на магнит. В том же году Ханс Эрстед опубликовал работу, в которой описывалось отклонение магнитной стрелки под действием электрического тока, а Франсуа Араго предложил соленоид. В 1821 г. Гемфри Дэви обнаружил влияние на проводимость температуры и материала проводника. В 1824 г. опубликованы результаты исследований Георга Ома (закон Ома).

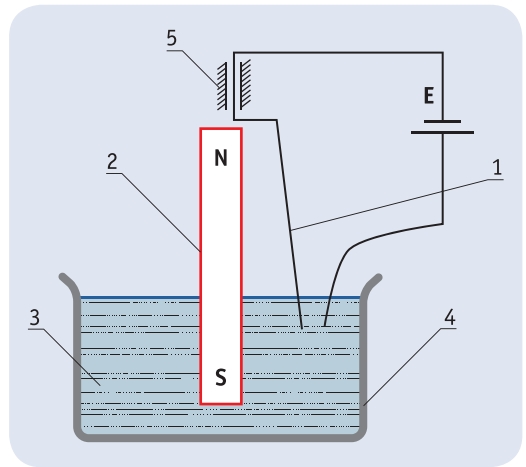


Рис. 1.
Принципиальная схема первичного электродвигателя Майкла Фарадея.

Опираясь на опыты своих предшественников, комбинируя результаты многочисленных собственных экспериментов, Майкл Фарадей напечатал свой обобщающий труд в области индукционного электромагнетизма трактат – “История успехов электромагнетизма”. Изложенный в нём закон электромагнитной индукции относят к 100 великим триумфам человеческого разума в области фундаментальной науки: от закона Архимеда, великих прозрений Пифагора и Аристотеля до квантовой механики, концепции “Большого взрыва” и создания интернета. Сегодня вся мировая индуктивная электромеханика (работа миллионов электродвигателей и генераторов, трансформаторов, дросселей и т.д.) основана на законе электромагнитной индукции Фарадея.

Через два года после открытия принципа электромагнитной индукции русский академик Эмилий Ленц в 1833 г. установил правила определения направления индуцированного электромагнитного тока и принцип электромагнитной инерции. Это дало ему возможность уже тогда сформулировать принцип обратимости, лежа-

щий в основе любого электромагнитного преобразования энергии.

Фундаментальное объяснение явления электромагнитной индукции дал английский физик Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879 гг.) – творец законченной физико-математической теории электромагнитного поля. Сам он отмечал, что всего лишь переводил идеи Фарадея в математическую форму. Но вместе с тем он дал замечательную характеристику взглядов своего предшественника: “Приступив к изучению труда Фарадея, я установил, что его метод понимания явлений был также математическим, хотя и не представленным в форме обычных математических символов...”.

Фарадей видел силовые линии, пронизывающие всё пространство там, где математики видели центры сил, притягивающих на расстоянии. Фарадей видел среду там, где они не видели ничего, кроме расстояний. Он предполагал источник и причину явлений – в реальных действиях, протекающих в среде. Современники же Фарадея считали, что нашли источник электромагнитных явлений в силе действия на расстоянии, приписанной электрическим флюидам.

Найденные и точно сформулированные законы электромагнетизма породили мощный толчок к поискам путей их практического использования в процессах превращения электромагнитной энергии не только в световую, но и в механическую.

По современным научным представлениям, можно утверждать, что окружающий нас мир состоит из преобразователей и накопителей энергии. В основе всего разнообразия природных явлений лежат четыре фундаментальных взаимодействия между элементарными

частицами – сильное, слабое, электромагнитное и гравитационное.

Процесс электромеханического преобразования энергии в окружающем нас Мире (от космологических макрообъектов до микрообъектов – биодвигателей, атомов и всего многообразия элементарных частиц), обусловленный непосредственным взаимодействием электромагнитных и гравитационно-инерциальных полей – это всеобщее и фундаментальное явление. Если сильные и слабые взаимодействия проявляют себя, как короткодействующие в микромире, и предопределяют квантовый характер природы, то электромагнитные и гравитационные поля, определяющие дальнедействующий характер взаимодействия вещественных (инерционных) микроскопических

и макроскопических тел, обуславливают процессы самоорганизации и эволюции в наблюдаемой нами Вселенной.

В природных процессах преобразования и накопления энергии одновременно могут участвовать и магнитные, и электрические поля. Если в том или ином природном процессе преобразования энергии преобладают магнитные силы,

Найденные и точно сформулированные законы электромагнетизма породили мощный толчок к поискам путей их практического использования в процессах превращения электромагнитной энергии не только в световую, но и в механическую.

а электрическими можно пренебречь, то это значит, что действуют индуктивные электромагнитные преобразователи (ЭМП) энергии с рабочим магнитным полем. Если же преобладают электрические силы, то можно утверждать, что действуют ёмкостные ЭМП с рабочим электрическим полем. Если мощность магнитных и электрических сил, действующих в общем объёме, соизмерима, то можно говорить о действии совмещённых индуктивно-ёмкостных ЭМП с рабочим электрическим полем.

По сути дела, любой природный процесс преобразования энергии электро-

механического характера можно моделировать как действие некоего совмещённого индуктивно-ёмкостного электромагнитного преобразователя энергии. Его подсистемами являются нелинейно взаимодействующие индуктивные и ёмкостные ЭМП.

В электромеханических преобразователях (двигателях) электрическая энергия преобразуется в механическую. При этом обязательно часть электрической энергии переходит в тепло. В генераторах механическая энергия преобразуется в электрическую и тепло.

Система "планета Земля + атмосфера" является уникальной природной структурой, где процессы преобразования и накопления поступающей от Солнца энергии дополняют друг друга. Почти все виды энергии, используемые человеком (электрическая, механическая, тепловая и световая), сводятся к солнечной энергии. Основная масса процессов на Земле происходит благодаря коротковолновой солнечной радиации, падающей на Землю. Эта радиация перерабатывается атмосферой, поверхностью Земли и океаном и излучается в космическое пространство в виде теплового длинноволнового излучения Земли. Огромные запасы энергии накоплены в виде природных ресурсов земных недр и в гидросфере. Вода выступает не только как носитель механической энергии потока, но и как аккумулятор структурированной энергии в ионосфере, которая вместе с поверхностью Земли является мощным конденсатором электростатического энергии.

Если представить шкалу мощностей для природных преобразователей электромагнитной энергии и выделить на

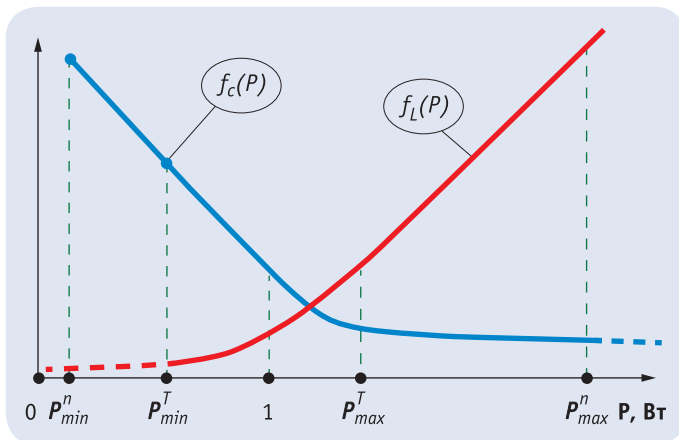


Рис. 2.
Предпочтительные области распределения электромагнитных преобразователей энергии на шкале мощностей.

ней предпочтительные области действия индуктивных и ёмкостных ЭМП (рис. 2), то можно утверждать:

1. В природных микроструктурах, особенно в биологических, в мире клеточных и субклеточных структур живой природы, в процессах преобразования электромагнитной энергии основная роль принадлежит электрическому полю (действуют ёмкостные ЭМП, которые занимают область от точки минимума до примерно нескольких ватт).

2. Индуктивные ЭМП играют решающую роль в природных макросистемах (начиная с макросистем живых организмов до космических объектов) и господствуют в области больших мощностей (начиная от нескольких ватт до 10^{26} Вт и выше).

На шкале мощностей природных электромеханических преобразователей энергии Земного действия имеются две "магические" точки: точка минимума $P^n(\min) = 10^{-17}$ Вт – мощность самого маленького биологического двигателя ворсинки бактерии и точка максимума $P^n(\max) = 6.5 \times 10^{29}$ Вт – мощность униполярной "электрической динамомашин" – планеты Земля.

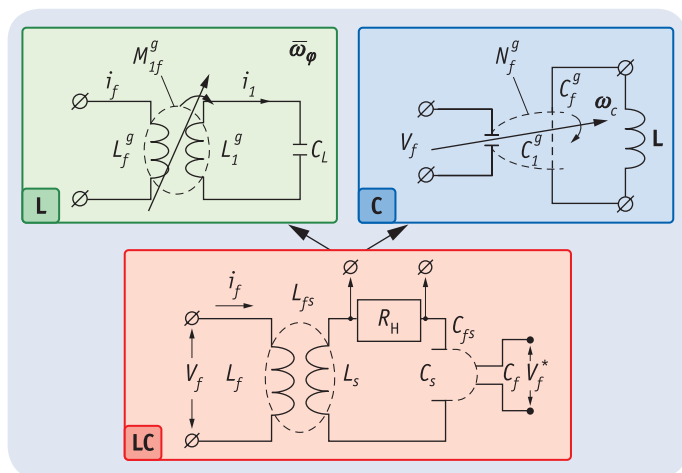


Рис. 3.
Классификация технических электромагнитных преобразователей энергии по принципу действия.

Созданные человеком технические системы электромеханических преобразователей энергии копируют природные процессы энергопреобразования. В настоящее время человечество освоило некоторые участки узкого интервала шкалы мощностей, экспериментальными точками которого являются: точка минимума $P^T(\min) = 10^{-8}$ Вт – мощность самого маломощного нанодвигателя, и точка максимума $P^T(\max) = 0.5 \times 10^9$ Вт – мощность турбогенератора (самой мощной электрической машины, созданной человеком на сегодня).

Созданные человеком электромагнитные преобразователи энергии и их системы во всём диапазоне энергетического спектра, в зависимости от принципа осуществления взаимного преобразования электромагнитной и механической энергии, можно подразделить на три больших класса (рис. 3):

1. Электроиндукционные ЭМП (индуктивные электрические машины и аппараты), в которых рабочим является магнитное поле, взаимное преобразование электромагнитной и механической энергии осуществляется

в основном за счёт изменяющегося магнитного потока взаимоиндукции, а влиянием электрических потоков взаимной ёмкости на процессы энергопреобразования можно пренебречь;

2. Магнитоиндукционные ЭМП (ёмкостные электрические машины и аппараты), в которых влиянием магнитных потоков взаимоиндукции на процессы энергопреобразования можно пренебречь;

3. Совмещённые индуктивно-ёмкостные (электро-магнитоиндукционные) ЭМП.

Сегодня две трети электроэнергии, выработанной на электростанциях, преобразуется различными электроприводами в механическую энергию. Электрические двигатели постоянного и переменного тока строятся на мощности от долей ватта до десятков тысяч киловатт, на напряжении от нескольких вольт до десятков киловольт, а частоты вращения достигают 500 000 об/мин. Выпускаются двигатели, обеспечивающие точные угловые и линейные перемещения, работающие при температурах, близких к абсолютному нулю и близких к 600 К; двигатели, работающие в агрессивных средах, в вакууме и при высоких давлениях.

Электродвигатели имеют бесчисленные конструктивные исполнения. Электромеханикам удавалось решить почти все проблемы, которые ставились перед человечеством научно-техническим прогрессом.

В повседневной работе нельзя забывать о некоторых основных проблемах индуктивной электромеханики: создании новых источников промышленного получения электроэнергии, замене дефицитных материалов и энергосбережении. Энергосбережением элект-

ромеханики занимались и занимаются каждый день, но надо расширять это понятие, включая затраты на производства коммуникаций, опоры вала, изоляционные выводы и т.д.).

Как в практике современных технических систем ЭМП, так и в области построения их теоретических основ сделано уже многое и достигнуты несомненные успехи. Но нельзя думать, что всё основное уже завершено, и остаётся только изучать созданное старшим поколением электромехаников. Сегодня перед электромеханиками стоят трудные и интересные проблемы, которые требуют глубокого знания теории, проектирования и технологии изготовления электрических машин.

Так, хотя ёмкостные ЭМП появились значительно раньше индуктивных, они до сих пор не нашли широкого практического применения. В последнее время в передовых научно-исследовательских центрах промышленно развитых

стран мира ведутся интенсивные исследования по ёмкостному электромашиностроению. Успехи в области электротехнического материаловедения и создание на их основе суперконденсаторов с вакуумной изоляцией позволяют создавать автономные ёмкостные генераторы с вакуумной изоляцией, для которых при промышленно приемлемой напряжённости рабочего электрического поля 50 кВ/мм реально получение удельной объёмной мощности 500 кВт/м³. При этом необходимо преодолеть ряд технологических трудностей, связанных с применением в качестве активных электродов материалов, имеющих максимальную чистоту поверхности, выдерживающих частоту вращения выше 1200 об/мин, а также

учесть возможную работу ряда узлов в условиях глубокого вакуума (устройства коммуникаций, опоры вала, изоляционные выводы и т.д.).

Перспективным направлением развития ёмкостного электромашиностроения является конструирование таких машин, у которых рабочее электрическое поле можно концентрировать в веществе с высокими диэлектрическими характеристиками – применять диэлектрики, такие как титанат бария, дигидрофосфат калия или другие жидкие или твёрдые сегнетодиэлектрические материалы.

Что же касается индуктивно-ёмкостных электромеханических преобразователей энергии, то здесь предстоит большая работа по созданию их теоретических основ и конструктивной реализации. Развитие совмещенной индуктивно-ёмкостной электромеханики на базе современной микросистемной технологии открывает большие перспективы для создания новых технологий в области природоподобной робототехники.

Развитие совмещенной индуктивно-ёмкостной электромеханики на базе современной микросистемной технологии открывает большие перспективы для создания новых технологий в области природоподобной робототехники.

ласти природоподобной робототехники. Там большое внимание уделяется копированию процессов в биологических системах, получению и управлению сложнейшими движениями исполнительных механизмов, созданию микроЭМП и их систем, обеспечивающих перемещение тел в жидкостях, в воздухе и твёрдых фазах, как это делают птицы, рыбы и морские животные, и даже черви.

Современный человек с рождения попадает в мир техники и технологии. Он пользуется его услугами в быту, работает с ним на производстве. На его глазах рождаются всё новые и новые машины, приборы, инструменты и услуги. Но неизменной остаётся непреходящая роль электромеханики.