

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АД — асинхронный двигатель.
Г — Д — «генератор — двигатель» (система).
ИПЧ — инверторный преобразователь частоты.
КПД — коэффициент полезного действия.
МДС — магнитодвижущая сила.
НПЧ — непосредственный преобразователь частоты.
ОВ — обмотка возбуждения.
СУ — система управления.
ТРН — тиристорный регулятор напряжения.
ЭД — электрический двигатель.
ЭДС — электродвижущая сила.
ЭМ — электрическая машина.
ЭМП — электромеханический преобразователь.
ЭП — электрический привод.

ВВЕДЕНИЕ

Электродвигатели (ЭД), являющиеся электромеханическими преобразователями (ЭМП), в совокупности с системами управления (СУ) относятся к основным составным частям электроприводов (ЭП).

Необходимость глубокого и всестороннего изучения установленных в различных электротехнических системах ЭД как электромеханических преобразователей продиктована их большим количеством и конструктивным многообразием.

В учебном пособии авторы делятся своими знаниями, приобретенными в результате теоретического и практического изучения электротехнических систем.

В первой главе «Краткие исторические сведения об электродвигателях» приведены краткие исторические сведения о возникновении и развитии ЭД, дан краткий анализ современных ЭД, определены перспективные направления их развития.

Во второй главе «Общие сведения об электрических машинах» рассмотрены законы электромеханического преобразования энергии, приведены основные варианты используемых ЭД.

В третьей главе «Электродвигатели постоянного тока» рассмотрены ЭД постоянного тока (конструкции некоторых серий ЭД постоянного тока, мощность и момент, механические характеристики, пуск двигателей, регулирование угловой скорости и тормозные режимы работы).

Наиболее сложной представляется четвертая глава «Электродвигатели трехфазного переменного тока», в которой изложены вопросы конструкции ЭД трехфазного переменного тока, мощностей и моментов, статических механических характеристик, пуска ЭД, регулирования угловой скорости и тормозные режимы работы трехфазных асинхронных ЭД.

1. КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ

Как известно, электромеханические преобразователи (ЭД) относятся к основным составным частям различных ЭП.

Объективные предпосылки для создания практически пригодных ЭД сформировались в 30-х гг. XIX в. на основании результатов разработок опытных образцов и лабораторных экспериментов.

В 1834 г. отечественный ученый **Б. С. Якоби** (M. H. Jacobi) (1801–1874) (рис. 1) обосновал преимущества преобразователя с электромагнитным вращением и обозначил контуры будущей машины. Он был убежден в том, что обнаруженные электромагнитные свойства указывают на возможность создания нового двигателя («магнитного аппарата»), способного заменить паровую машину. Необходимое взаимодействие между электромагнитами подвижной и неподвижной частей машины могло быть осуществлено путем изменения в определенной последовательности направления тока в их обмотках. С целью выполнения этого условия Б. Якоби разработал конструкцию устройства переключения направления тока в обмотках электромагнитов вращающейся части (коммутатора), названного им «жиротроп», и создал опытный образец ЭД, действующего на принципе взаимодействия подвижных и неподвижных электромагнитов.



Рис. 1
Б. С. Якоби

Двигатель (рис. 2) имел две группы П-образных электромагнитов: по восемь стержней «мягкого железа» в одной группе и коммута-

тор («жиротроп»). Четыре электромагнита 1 были установлены неподвижно, а четыре электромагнита 2 — укреплены на вращающемся диске 3. Длина каждого стержня составляла около 7 дюймов, а толщина — 1 дюйм ($1 \text{ дюйм} = 25,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$). Все стержни были обмотаны медной проволокой, изолированной шелком. Обмотки неподвижных электромагнитов, как и подвижных, соединялись последовательно. Питание обмоток электромагнитов 1 и 2 током осуществлялось от гальванической батареи 4 посредством коммутатора 5.

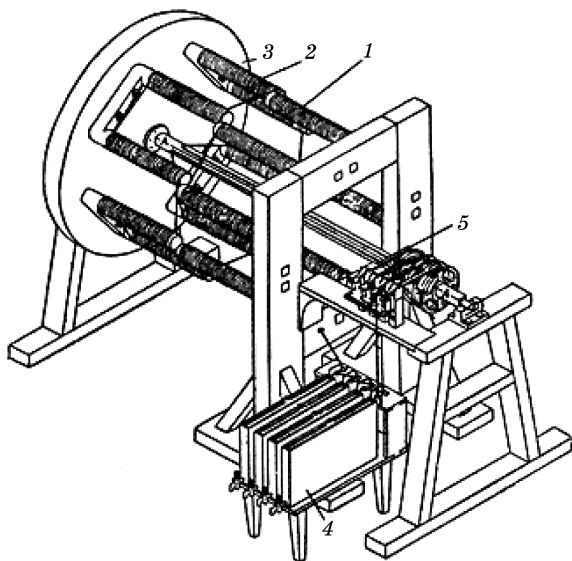


Рис. 2

Первый горизонтальный ЭД («магнитный аппарат») Б. С. Якоби (1834 г.)

Для приведения двигателя в действие его ось первоначально проворачивали вручную до установления друг против друга противоположных стержней с одноименными полюсами, после чего в результате взаимодействия полюсов диск начинал вращаться с частотой вращения 80–120 об/мин. Первый ЭД развивал мощность около 15 Вт.

Вскоре, идя по пути усовершенствования конструкции, в первую очередь, с целью увеличения мощности, Б. Якоби создал двоянный горизонтальный ЭД — рисунок 3.

В двигателе было семьдесят два взаимодействующих полюса электромагнитов вместо шестнадцати полюсов в первом горизонтальном ЭД Якоби. Якорь 1 двоянного двигателя имел 12 стержневых электромагнитов 2, установленных на деревянной шестиконеч-

ной звезде, насаженной на вал 3. По обеим сторонам якоря 1, на неподвижных двенадцатиконечных щитах 4, были укреплены 24 электромагнита 5, имеющих U-образную форму. Неподвижные электромагниты 5 были установлены со сдвигом друг относительно друга на 30° . При такой конструкции подшипники ЭД по сравнению с первым горизонтальным двигателем, имеющим сдвиг 45° , более разгружались от аксиального усилия. Мощность сдвоенного двигателя составляла 120–150 Вт.

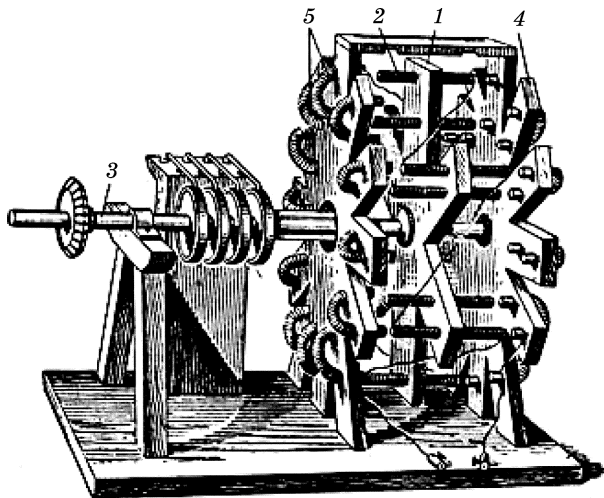


Рис. 3

Сдвоенный горизонтальный ЭД Б. С. Якоби

В начале 1837 г. американский изобретатель Т. Дэвенпорт (T. Davenport) (1802–1851) (рис. 4) создал конструкцию ЭД с непосредственным вращением якоря, подобного двигателю Б. Якоби, но вертикального исполнения (рис. 5).

Принцип действия этого двигателя был основан на взаимодействии подвижных электромагнитов с неподвижными постоянными магнитами.

Двигатель имел четыре электромагнита 1, 2, 3 и 4, расположенных крестообразно в одной горизонтальной плоскости, которые были укреплены на деревянном диске 5. Диск вместе с вертикальным валом 6 вращался, опираясь на подпятник 7, помещенный на подставке 8. На неподвижном деревянном кольце 9 были установлены два постоянных магнита 10, 11, согнутых каждый в виде полдуги окружности. Магниты 10, 11 одноименными полюсами соприкасались, обра-

зуя замкнутое кольцо. На подставке 8 были установлены медные пластины 12, 13, каждая из которых представляла половину кольца диска. К этим пластинам были подсоединены провода от гальванической батареи 14. Концы обмотки электромагнитов 1 и 3 имели пружинящие контакты 15 и 16, а обмотка электромагнитов 2 и 4 — пружинящие контакты 17 и 18. Под действием магнитных сил при взаимодействии электромагнитов 2 и 4 с постоянными магнитами 10 и 11 создавался вращающий момент, и вал 6 поворачивался на 90° , после чего ток в обмотке электромагнитов 2 и 4 изменял направление на противоположное.



Рис. 4
Т. Дэвенпорт

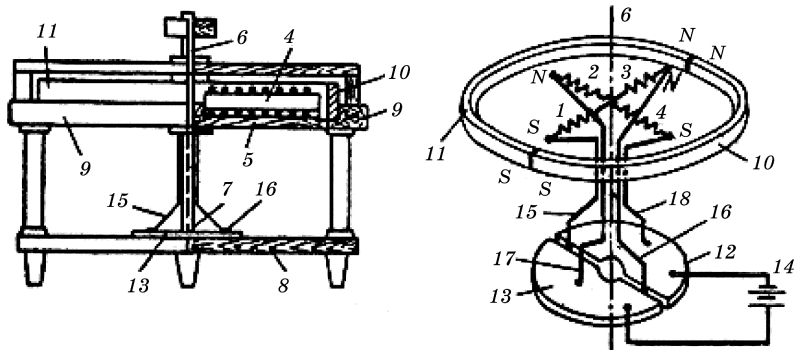


Рис. 5
Двигатель Т. Дэвенпорта

Позднее Т. Дэвенпорт усовершенствовал свой ЭД, заменив неподвижные постоянные магниты неподвижными электромагнитами.

Двигатели вертикального исполнения Дэвенпорта были компактнее ЭД, созданных Якоби, благодаря расположению в одной плоскости подвижных и неподвижных магнитов. При создании более мощного ЭД такое взаимное расположение элементов давало возможность многократного их повторения.

С учетом преимуществ конструкций двигателей Т. Дэвенпорта Б. С. Якоби в 1938 г. создал сдвоенный ЭД с вертикальными валами — рисунок 6.

Принцип действия его был аналогичен принципу действия двигателей, созданных Якоби в 1834 г. Однако конструктивно ЭД претерпел большие изменения.

В деревянной станине, образованной одной средней стойкой 1 и двумя боковыми стойками 2, были установлены 40 ЭД, подразделенных на две группы. Каждая группа из 20 двигателей была установлена на общем вертикальном валу 3 и имела общий коммутатор 4. Высота каждого вала составляла около 1200 мм. Основание имело размеры 700×770 мм. Неподвижная часть каждого ЭД представляла собой кольцо, составленное из двух электромагнитов 5 и 6, изогнутых по дуге окружности и скрепленных между собой скобами 7 и 8. Каждый из электромагнитов 5 и 6 занимал по четверти окружности кольца. Подвижная часть каждого из ЭД была составлена из четырех электромагнитов 9, укрепленных на втулке 10.

Изменение направления тока в обмотках подвижных электромагнитов 9 осуществлялось коммутаторами 4. На каждом из двух вертикальных валов 3 была установлена коническая шестерня 11, сцепленная с конической шестерней 13, укрепленной на горизонтальном валу 12. Такая конструкция ЭД давала возможность быстрой смены любого из неподвижных или подвижных электромагнитов в случае повреждения изоляции обмоток. Общая мощность вертикального двигателя Якоби достигала около 550 Вт.

Исследователь, историк науки Б. Н. Ржонский (1909–1983) дает такую оценку деятельности Б. С. Якоби по созданию и развитию электродвигательных устройств: «...Якоби в течение многих лет продолжал свои изыскания, побуждая трудиться над созданием нового двигателя многих русских исследователей и изобретателей...».

В 1860 г. итальянский физик и изобретатель А. Пачинотти (Pacinotti) (1841–1912) (рис. 7) впервые создал ЭД постоянного тока с кольцевым якорем — рисунок 8.

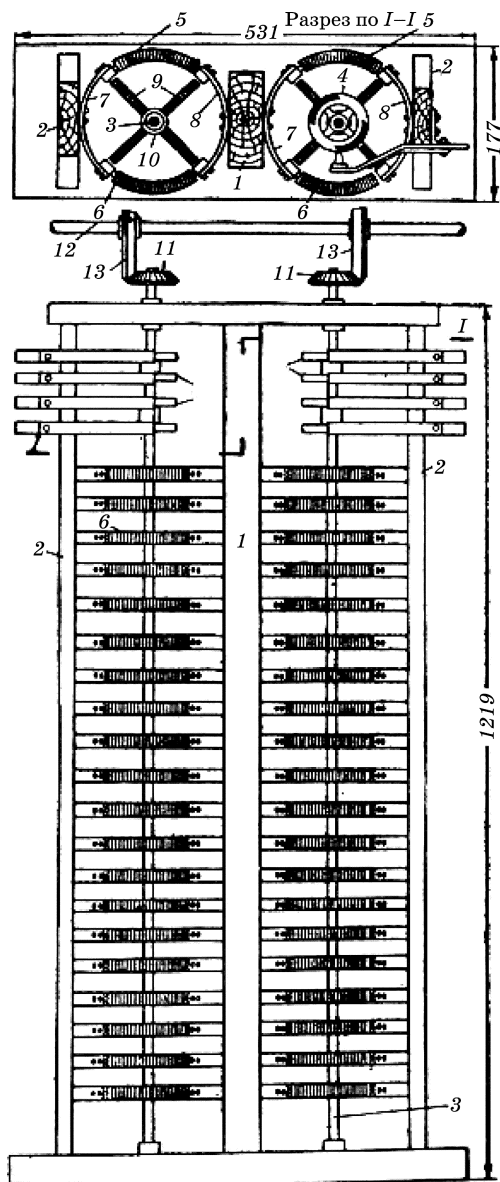


Рис. 6
Вертикальный двигатель Б. С. Якоби (1838 г.)



Рис. 7
А. Пачинотти

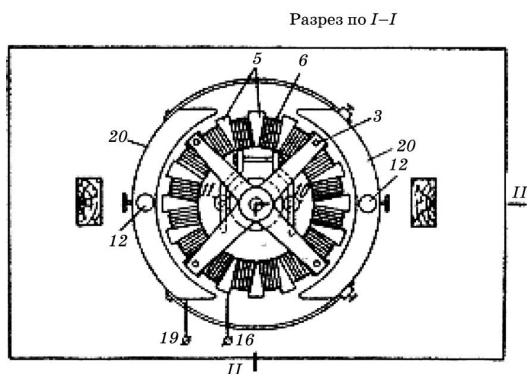
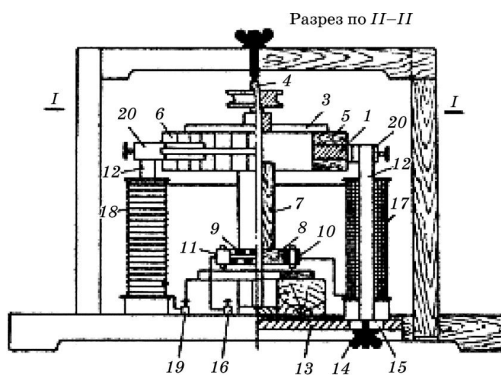


Рис. 8
Двигатель постоянного тока с кольцевым якорем А. Пачинотти

Обточенное железное кольцо 1, имеющее по окружности 18 равных зубцов, поддерживается четырьмя латунными спицами 3, которые скрепляют его с осью 4 машины. Между соседними зубцами установлены треугольные призмы 5, образующие пазы, в которые уложена медная изолированная шелком проволока таким образом, что между зубцами колеса 1 получено такое же количество изолированных спиралей 6. Все проволоки перенесены на ось 7 и припаяны к концу одной катушки 6 и началу следующей. Каждая из них подсоединена к коммутатору 8, укрепленному также на оси 7, и состоящему из букового цилиндра с двумя рядами углублений по цилиндрической поверхности. В эти углубления вставлены 18 латунных пластинок 9 (по восемь сверху и снизу). К каждой из пластинок 9 припаяны соответствующие концы проволоки, соединенной с концами двух катушек 6. Таким образом, все катушки 6 соединены между собой. Если соединить с полюсами батареи две из них посредством двух металлических колесиков 10 и 11, то ток, раздваиваясь, течет по спирали. Два магнита, расположенных с двух сторон, могут рассматриваться как два изогнутых электромагнита с одинаковыми полюсами. На эти полюсы действуют полюсы неподвижного электромагнита и заставляют вращаться якорь 1. Неподвижный электромагнит состоит из двух железных цилиндров 12, соединенных вместе поперечной железной полосой 13, к которой один привинчен, а другой закреплен находящимся внизу винтом 14, позволяющим ему перемещаться вдоль паза 15, чтобы иметь возможность приближать или удалять полюсы от зубцов колеса 1. Ток гальванической батареи из зажима 16 проходит по колесу 11, всем катушкам 6, катушке 17, и выходя из нее, проходит по катушке 18 ко второму зажиму 19. К двум сердечникам 12 неподвижного электромагнита добавлены два полюсных наконечника 20 из мягкого железа, каждый из которых охватывает более чем треть зубчатого колеса 1.

В 1884–1885 гг. русский электротехник **М. О. Доливо-Добровольский** (1862–1919) (рис. 9) разработал пусковую схему для ЭД постоянного тока, что дало возможность более широкого их внедрения.

В 1885 г. итальянский физик и электротехник **Г. Феррарис** (G. Ferraris) (1847–1897) (рис. 10) открыл явление вращающегося магнитного поля, полученного при помощи двух катушек, расположенных взаимно перпендикулярно, к которым подключалось сдвинутое по фазе на 90° переменное напряжение. На основании исследований Г. Феррарис разработал и создал опытный образец двухфазного индукционного ЭД (рис. 11).



Рис. 9

М. О. Доливо-Добровольский



Рис. 10

Г. Феррарис

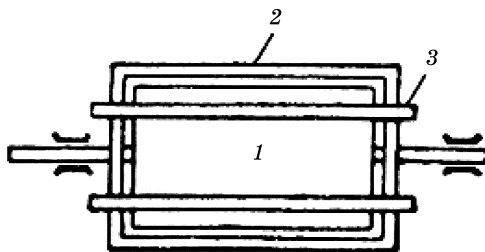
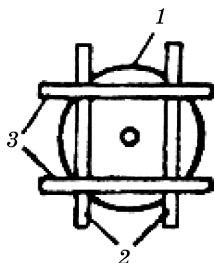


Рис. 11

Двухфазный ЭД Г. Феррариса (первый вариант)

Цилиндрический ротор *1* укреплялся на горизонтальной оси и помещался внутри двух катушек *2* и *3*, которые подключались к переменному напряжению. Для сдвига переменного тока в катушках *2* и *3* по фазе на 90° , в цепь одной из катушек включалось большое активное сопротивление, а в цепь другой — катушка, имеющая большое индуктивное сопротивление. Ротор этого двигателя имел длину 180 мм, диаметр 890 мм и вес около 2,5 кг.

С целью усиления магнитного потока Феррарис предложил второй вариант двухфазного индукционного двигателя, представленный на рисунке 12, где *1* — пазы; *2* — металлическое кольцо; *3* — ротор; *4* — ось (вал).

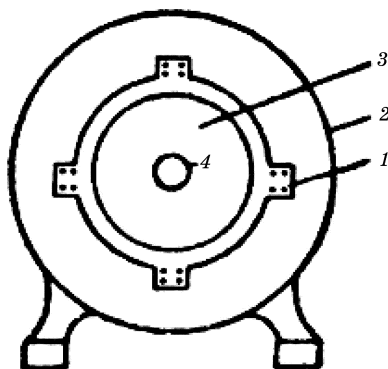


Рис. 12
Двухфазный ЭД Г. Ферриса (второй вариант)

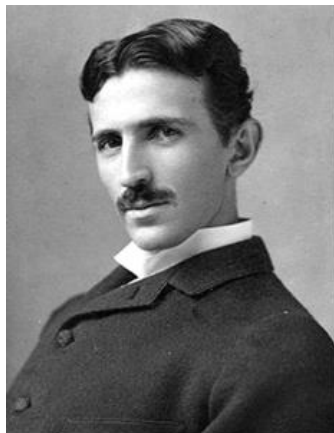


Рис. 13
Н. Тесла

Предполагая, что двигатель должен работать при максимальной мощности, он сделал ошибочный вывод о том, что двухфазные индукционные двигатели принципиально не могут иметь теоретический коэффициент полезного действия (КПД) более 50%.

В 1887 г. сербский изобретатель **Н. Тесла** (N. Tesla) (1856–1943) (рис. 13) независимо от Феррариса открыл явление вращающегося магнитного поля и сконструировал несколько вариантов многофазных (двух- и трехфазных) индукционных двигателей.

На рисунке 14 представлен один из вариантов двухфазного ЭД, созданного Теслой.

Индуктор 1 имел четыре стержня 2, каждый из которых имел свою полюсную катушку, причем противоположные катушки были включены в одну фазу двойного переменного тока. Якорь (ротор) 3 из двух групп катушек 4 имел проволочную обмотку. Каждая катушка была замкнута накоротко.

Принцип действия двухфазного индукционного двигателя Н. Теслы был также основан на взаимодействии вращающихся полей. При подключении пар полюсных катушек индуктора I-I и II-II к переменному напряжению, по ним протекали токи, сдвинутые по фазе на 90° . В этом случае появлялось вращающееся магнитное поле индуктора (статора). В короткозамкнутых катушках 4 ротора индуктировались переменные электродвижущие силы (ЭДС) и возникали токи, под действием которых создавалось вращающееся магнитное поле ротора. При взаимодействии вращающихся магнитных полей индуктора (статора) и ротора создавался вращающий момент.

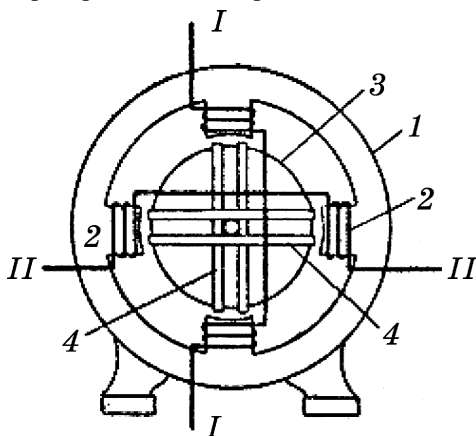


Рис. 14
Двухфазный ЭД Н. Теслы

У варианта трехфазного индукционного двигателя (рис. 15) на индукторе 1 расположены шесть сердечников 2, снабженных катушками. Диаметрально расположенные катушки последовательно соединены и включены в одну из трех фаз переменного тока, сдвинутых по фазе на 60° электрических градусов. В качестве ротора 3 служит железный диск или цилиндр, на котором уложены три замкнутых на себя катушки 4, расположенные под углом 60° одна относительно другой. Принцип действия трехфазного ЭД Теслы также был основан на взаимодействии вращающихся полей.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru