

УДК 621.1.016:536.2

**ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ НА СУДАХ  
ELECTRIC MOTORS ON SHIPS**

А.В. Максимович, И.В. Калиновский

Научный руководитель – В.В. Зеленко, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Maksimovich, I. Kalinovsky

Supervisor – V. Zelenko, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* в данной статье будет рассказано об асинхронных электродвигателях, их происхождении и использовании на судах.

*Abstract:* this article will talk about asynchronous electric motors, their origin and use on ships.

*Ключевые слова:* асинхронные электродвигатели, магнитное поле, ЭДС, правило правой руки.

*Keywords:* asynchronous electric motors, a magnetic field, EMF, right hand rule.

**Введение**

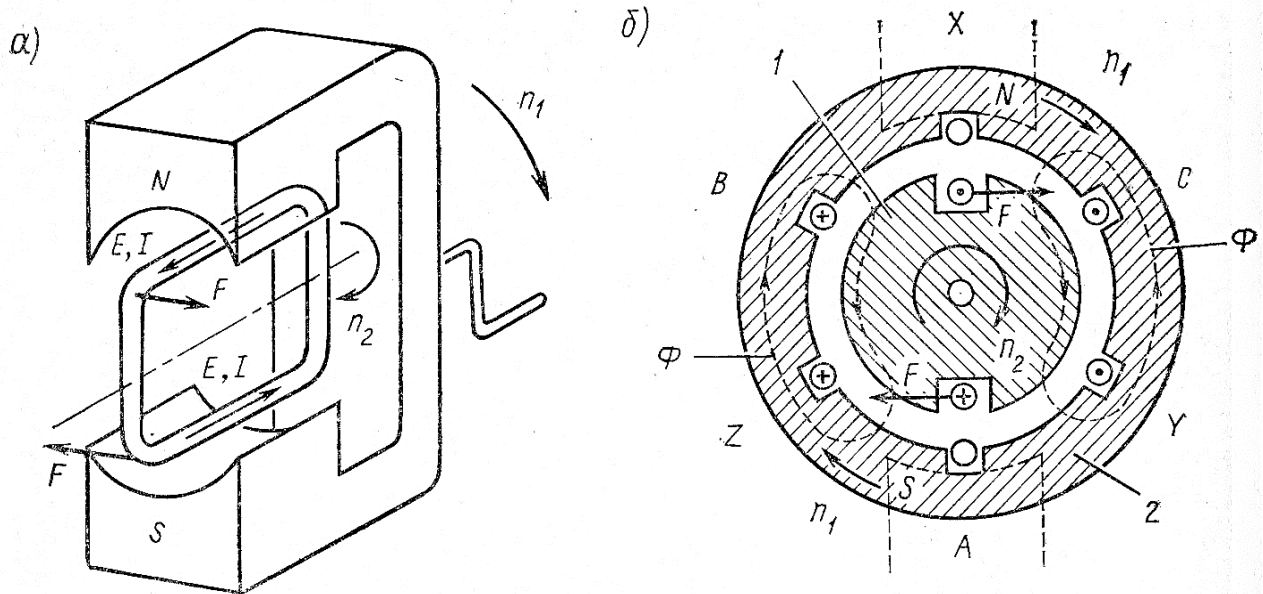
Широкое внедрение электромеханических устройств начинается после Октябрьской революции 1917 г., когда электрификация всей страны стала основой технической политики нового государства. Можно сказать, что XX век стал веком становления и широкого распространения электромеханики.

Доливо-Добровольский справедливо считал, что увеличение числа фаз в двигателе улучшает распределение намагничивающей силы по окружности статора. Переход к трехфазной системы от двухфазной уже дает большой выигрыш в этом отношении. Дальнейшее увеличение числа фаз нецелесообразно, так как приводит к значительному увеличению расходов металла на провода.

Для Теслы же казалось очевидным, что чем меньше число фаз, тем меньше требуется проводов, и следовательно тем дешевле устройство электропередачи. При этом двухфазная система передачи требовала применения четырех проводов, что представлялось не желательным в сравнении с двух проводными системами постоянного или однофазного переменного токов. Поэтому Тесла предлагал применять трехпроводную линию для двухфазной системы, делая один провод общим. Но это не сильно уменьшало количество затрачиваемого на систему металла, так как общий провод должен был быть большего сечения.

**Основная часть**

Принцип действия асинхронного трехфазного двигателя основан на использовании вращающегося магнитного поля. На рисунке 1,а представлена модель, поясняющая работу двигателя. При вращении постоянного магнита с частотой  $n_1$  в неподвижном замкнутом витке индуцируется ЭДС  $E$  и протекает ток  $I$ , направление которого определяется правилом правой руки.



*A-X, B-Y, C-Z* — соответственно начала и концы фазных обмоток статора;  
 $\Phi$  – распределение силовых линий вращающегося магнитного поля; 1 – ротор; 2 – статор  
 Рисунок 1 – Принцип действия асинхронного двигателя

В результате взаимодействия активных сторон витка, по которым протекает ток  $I$ , с вращающимся полем постоянного магнита создается пара сил  $F-F$  (правило левой руки), под действием которой возникает вращающий момент в направлении вращения поля. Виток будет вращаться с частотой  $n_2 < n_1$ , т. е. асинхронно.

На рисунке 1,б показан простейший асинхронный двигатель. В пазах внутренней поверхности неподвижного стального цилиндра (статора) уложена трехфазная обмотка так, что оси катушек  $AX, BY$  и  $CZ$  лежат в одной плоскости под углом  $120^\circ$  относительно друг друга.

Из электротехники известно, что при подключении такой обмотки в сеть трехфазного переменного тока обмотка создает вращающееся магнитное поле. На рисунке 1,б показано распределение силовых линий  $\Phi$  вращающегося магнитного поля в рассматриваемый момент времени. Результирующий магнитный поток будет действовать по оси условных полюсов  $NS$  (показаны пунктиром).

Для уменьшения магнитного сопротивления и увеличения вращающего момента активные стороны замкнутого витка размещаются в пазах вращающегося стального сердечника (ротора).

Так как магнитное поле статора и ротор вращаются в одном направлении, то разность их частот вращения определяет скорость перемещения потока относительно ротора:

$$n_1 - n_2 = n_s \tag{1}$$

Относительная разность частот вращения поля статора и ротора называется скольжением:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \tag{2}$$

или (%)

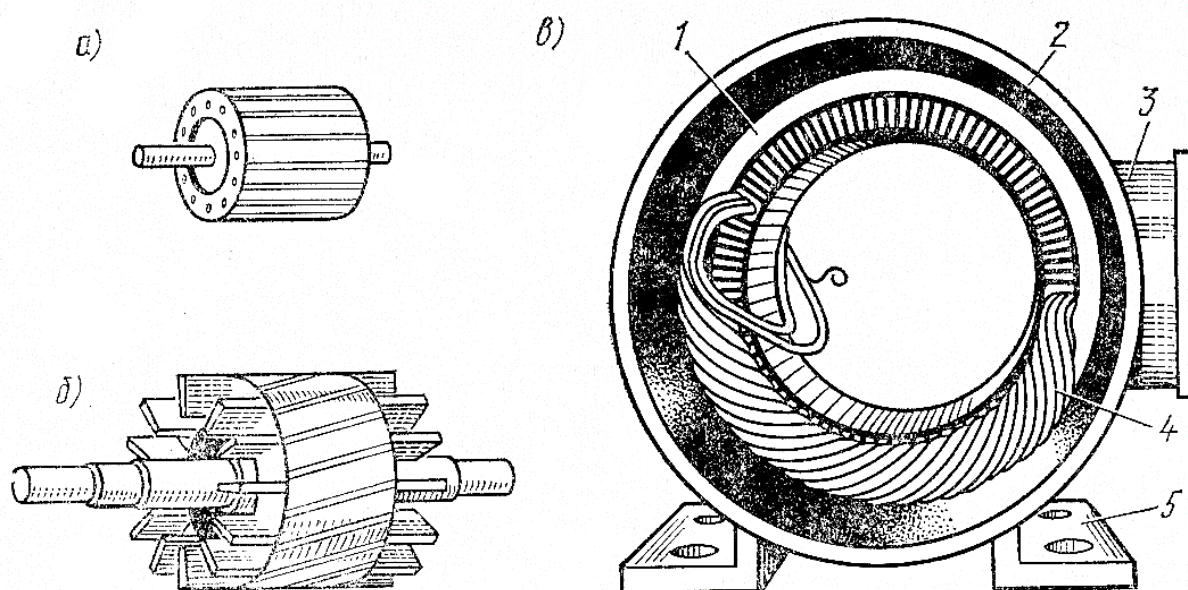
$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100 \quad (3)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – частота вращения, об/мин.

Для увеличения вращающего момента асинхронного двигателя в пазах его ротора укладывают большое число витков, которые образуют обмотку ротора.

По конструкции обмотки ротора асинхронные двигатели выполняют двух видов: с короткозамкнутым ротором и с фазным ротором.

Обмотку короткозамкнутого ротора выполняют из латунных или медных стержней, которые вставляют в неизолированные пазы ротора и по торцам замыкают накоротко медными кольцами (рисунок 2,а). Такая обмотка получила название «беличья клетка». Наиболее широко применяют «беличью клетку», изготовленную путем заливки под давлением пазов ротора алюминиевым сплавом (рисунок 2,б). При этом одновременно отливают торцевые кольца с вентиляционными лопастями.



1 – сердечник статора; 2 – станина (корпус); 3 – выводная коробка; 4 – укладка двухслойной обмотки; 5 – лапы

Рисунок 2 – Трехфазный асинхронный двигатель

Обмотка фазного ротора состоит из трех катушечных групп. Катушки наматывают изолированным медным проводом и вставляют в изолированные пазы ротора. Катушки каждой группы, соединенные по определенной схеме, образуют однофазные обмотки. Полученную таким образом трехфазную обмотку соединяют обычно звездой и подключают к трем изолированным контактными кольцам, укрепленным на валу ротора.

На судах в основном применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Для уменьшения потерь стали сердечники статора и ротора набирают из штампованных листов электротехнической стали

толщиной 0,5 мм, изолированных один от другого лаковой пленкой. Сердечник ротора жестко крепят на стальном валу. Сердечник статора запрессовывают в стальную или из алюминиевого сплава станину (рисунок 2,в), которая является несущей конструкцией машины. На торцах станина заканчивается съемными подшипниковыми щитами, в которые устанавливают концами вал ротора с подшипниками.

Так как обмотки статора и ротора связаны между собой только посредством магнитного потока, создаваемого статором, то величину воздушного зазора  $\delta$  между статором и ротором делают по возможности меньше ( $\delta = 0,25-0,35$  мм у машин малой мощности и  $\delta = 1-1,5$  мм у машин большой мощности). Нижний предел зазора ограничивается по механическим соображениям.

Трехфазная обмотка создает слабое вращающееся магнитное поле у двигателей и малую ЭДС  $E$  у генераторов, поэтому в реальных машинах трехфазная обмотка состоит из многовитковых катушек.

Ширина витка катушки (шаг  $Y$  обмотки), как и у машин постоянного тока, должна быть примерно равна полюсному делению  $\tau$  (рисунок 3). Катушка наматывается медным изолированным проводом и ее активные стороны укладывают в два изолированных паз сердечника статора. Одну сторону катушки укладывают в паз под одним полюсом, а вторую – под другим. Это необходимо для суммирования ЭДС  $E$  витков катушки у генераторов и МДС – у двигателей.

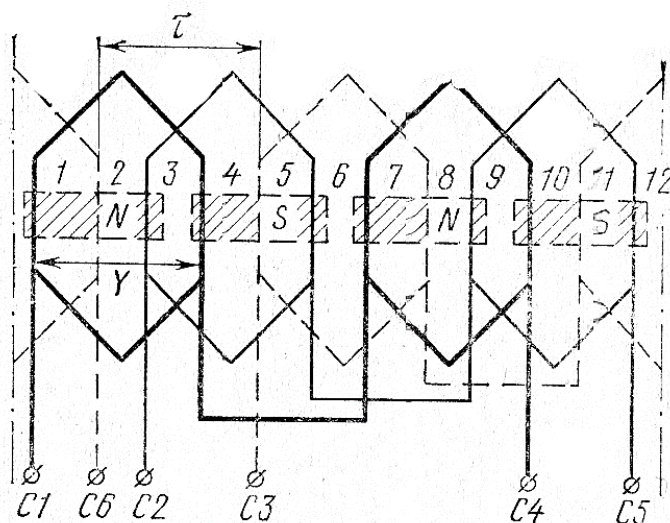


Рисунок 3 – Простейшая трехфазная однослойная обмотка статора

Для образования трехфазной обмотки необходимо, чтобы под каждым полюсом находились стороны катушек всех трех фаз. У генераторов реальные полюсы расположены на вращающемся роторе, а у синхронных двигателей условные «вращающиеся» полюсы создаются вращающимся полем трехфазной обмотки статора.

Различают обмотки одно- и двухслойные, сосредоточенные и распределенные, волновые и петлевые.

Наиболее широко распространены двухслойные петлевые обмотки с укороченным шагом. Укорочение шага обмотки ( $Y < \tau$ ) приводит к некоторому

уменьшению ЭДС  $E$  у генераторов, но позволяет приблизить форму кривой ЭДС  $E$  к необходимой синусоидальной форме и уменьшает расход меди.

В однослойных обмотках каждая активная сторона катушки занимает один паз и число катушек вдвое меньше числа пазов. В двухслойных обмотках все катушки имеют одинаковые размеры, одна сторона катушки лежит в верхней половине паза, другая – в нижней. Число катушек равно числу пазов.

Катушки обмотки фазы соединяют одну с другой со стороны лобовых частей. Начала и концы обмоток выводят в выводную коробку и обозначают: первая фаза С1 – С4, вторая С2 – С5, третья С3 – С6. В полузакрытые пазы статора с уложенной обмоткой вставляют деревянные или текстолитовые клинья, а всю обмотку пропитывают специальным лаком и покрывают изоляционной эмалью.

### **Заключение**

Исходя из выше сказанного, можно утверждать, что трехфазная система токов, предложенная Доливо-Добровольским, была оптимальной для передачи энергии. Она практически сразу нашла широкое применение в промышленности и до наших дней является основной системой передачи электрической энергии во всем мире.

Асинхронные электродвигатели просты по конструкции, экономичны и надежны в работе. На судах асинхронные двигатели применяют для привода различных машин, механизмов и устройств, таких как, краны, лебедки, лифты, насосы и другая автоматика; они составляют 80—90% общего числа устанавливаемых на судне электродвигателей.

Электродвигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором позволяет значительно снизить энергопотребление оборудованием, которое он питает, обеспечить высокий уровень его надежности, увеличить срок службы.

### **Литература**

1. История создания электродвигателя [Электронный ресурс] / история создания электродвигателя – Режим доступа: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/history/> . – Дата доступа: 29.10.2022.
2. Электродвигатели [Электронный ресурс] / устройство и принцип действия асинхронных электродвигателей – Режим доступа: <https://www.electroengineer.ru/2015/03/design-and-operation-of-induction-motors.html> . – Дата доступа: 29.10.2022.