

# Тема урока: трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Домашнее задание: подготовить форму лабораторной работы «Асинхронный двигатель».

Запись в конспекте:

Асинхронный двигатель предназначен для преобразования энергии трехфазного переменного тока в энергию вращательного движения ротора двигателя.

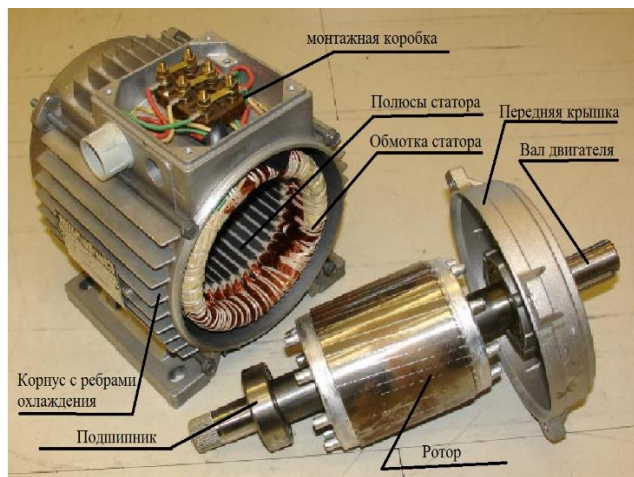
Устройство асинхронного двигателя.

Демонстрация частей двигателя. Желаящие показать узлы АД

Запись в конспекте:

Асинхронный двигатель состоит из:

1. Корпуса - неподвижной части для крепления к фундаменту и расположения в нем узлов двигателя.
2. Монтажной коробки, с клеммами для сборки схем электропитания двигателя.
3. Статора.
4. Ротора.
5. Боковых крышек с подшипниками для вала двигателя.



### Устройство и работа статора.

Статор, установлен и жестко закреплён в корпусе.

### Демонстрация статора целого и разрезного, его пластин.

Запись в конспекте:

Статор состоит из магнитопровода и фазных обмоток.

Магнитопровод собран из отдельных штампованных пластин магнитомягкой стали покрытых электроизоляционным лаком.

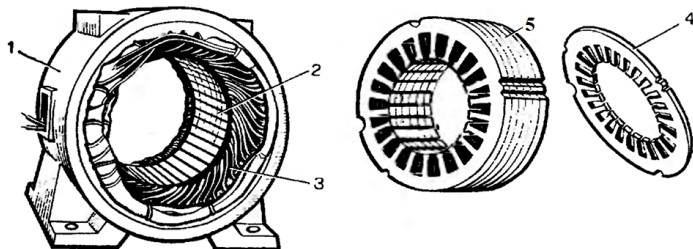
Штамповкой формируются пазы и полюса статора.

В пазы статора укладываются медные изолированные проводники обмотки.

Изоляция проводников должна быть электрически прочная, устойчивая к температурам.

Вид изоляции зависит от мощности двигателя.

Начала и концы обмоток выводятся в монтажную коробку.



На рисунке 1 – корпус двигателя; 2 – магнитные полюсы статора;

3 – лобовая часть обмотки статора; 4 – штампованный элемент статора с пазами и полюсами; 4 – статор в сборе, видны пазы статора для укладки обмотки.

т.к. двигатель переменного трехфазного тока то ответьте на вопрос:

**Вопрос: какое устройство вырабатывает переменный трёхфазный ток?**

Трёхфазный ток создаётся в обмотках статора генератора магнитным полем постоянного магнита вращающимся между ними.

Обмотки генератора расположены под углом  $120^\circ$ , также как обмотки статора двигателя. Каждая обмотка, как и фаза генератора, имеет два полюса.

Поэтому, при прохождении трёхфазного переменного тока через фазные обмотки статора двигателя создаётся вращающееся магнитное поле внутри статора.

Рассмотрим принцип работы статора.

[магн поле статора 120420.mp4](#)

комментарии к рисунку:

1. Справа на схеме изображён генератор 3х фазного переменного тока с фазами А;В;С; расположенными под углом 120°.
2. Линейные провода фаз генератора соединены с фазными обмотками статора.
3. При возникновении напряжения в фазе А создаётся переменное магнитное поле между полюсами А обмотки статора.
4. При прохождении фазой А угла 120° возникает напряжение на фазе В - создаётся переменное магнитное поле между полюсами В обмотки статора.
5. При прохождении фазой В угла 120° возникает напряжение на фазе С - создаётся переменное магнитное поле между полюсами. С обмотки статора.
6. При прохождении фазой С угла 120° возникает напряжение на фазе А - создаётся переменное магнитное поле между полюсами А обмотки статора.
7. Таким образом, трёхфазным переменным током внутри статора создаётся вращающееся переменное магнитное поле.

Запись в конспекте:

Напряжение питания подключается в монтажной коробке к выводам статора.

Переменный трёхфазный ток в обмотках статора создаёт на магнитных полюсах вращающееся магнитное поле внутри статора.

Вопрос: Как вы думаете, какие параметры трёхфазного переменного тока влияют на мощность и скорость вращения магнитного поля статора?

Запись в конспекте:

На мощность магнитного поля влияет ток и напряжение питания.

На скорость вращения магнитного поля статора влияет частота переменного тока и количество **пар полюсов** приходящихся на **каждую фазу**.

Скорость вращения магнитного поля измеряется числом оборотов в минуту, обозначается ( $n_1$ ).

и вычисляется по формуле:

$$n_1 = \frac{60 * f}{p}; \text{ об/мин}$$

Где:  $f$  – частота переменного тока.

$p$  – число пар полюсов на одну фазу.

Вопрос. Определите скорость вращения магнитного поля статора, если каждая фаза имеет два полюса.

$$n_1 = \frac{60 * f}{p} = \frac{60 * 50}{1} = 3000; \text{ об/мин}$$

Рассмотрим на макете действие трёхфазного переменного тока в **статоре**.

**демонстрация работы статора на макете с шариком.**

Что же заставляет шарик, не имеющий магнитных полюсов, двигаться внутри статора асинхронного двигателя?

Переменное магнитное поле статора вызывает в шарике переменный **электрический ток**, который создаёт вокруг шарика **переменное магнитное поле** стремящееся «догнать» магнитное поле статора.

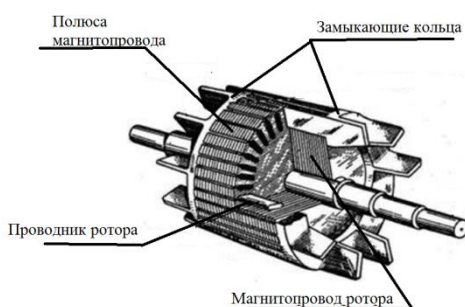
Взаимодействие двух переменных магнитных полей создаёт силу,двигающую шарик по окружности статора.

Это явление используется в принципе работы асинхронного двигателя, но вместо шарика внутри статора вращается ротор.

Запись в конспекте:

Устройство и работа ротора.

Демонстрация ротора с крышкой, без крышки, показ проводников ротора.



Запись в конспекте:

Магнитопровод ротора собран из отдельных штампованных пластин магнитомягкой стали.

Штамповкой формируются пазы и полюса магнитопровода.

В пазы магнитопровода заливается расплавленный алюминий, который после остывания, формирует алюминиевые проводники тока ротора.

Проводники ротора накоротко замкнуты торцевыми кольцами, т.е. **ротор коротко замкнутый**.

Ротор жестко закреплён на валу, вращающемся в подшипниках крышек корпуса.



Рассмотрим работу проводников ротора и магнитопровода.

[магн поле статора 120420.mp4](#)

демонстрация работы **ротора**.

Рисунок показывает момент включения тока, когда ротор неподвижен, т.к. магнитное поле статора вращается, то и ротор стремится следовать за ним.

комментарии к рисунку:

1. При возникновении напряжения на обмотке фазы А статора, её полюс создаёт переменное магнитное поле.
2. Переменное магнитное поле полюса фазы А, создаёт переменный ток в проводнике ротора.
3. Ток проводника ротора, превышающий ток в обмотке статора в шесть раз, вызывает магнитное поле, усиливающееся магнитопроводом ротора.
4. Сила взаимодействия магнитных полей ротора и статора выталкивает ротор из магнитного поля статора, в направлении, определяемом правилом левой руки.
5. Ток и магнитное поле полюсов ротора возникает позже, поэтому ротор отстаёт от магнитного поля статора, т.е. вращается медленнее магнитного поля статора.

Запись в конспекте:

Переменное магнитное поле статора возбуждает в короткозамкнутых проводниках ротора большой переменный ток, создающий магнитное поле на полюсах ротора, стремящееся вытолкнуть ротор из магнитного поля статора.

Величина тока ротора больше в шесть раз тока статора, поэтому ток ротора создаёт сильное магнитное поле. Ток в кольцах ротора больше тока в его проводниках в два раза.

Запись в конспекте:

Т.к. ротор закреплён на валу, то создаётся крутящий момент, заставляющий ротор вращаться вокруг своей оси.

Скорость вращения ротора измеряется числом оборотов в минуту и обозначается  $n_2$ .

Вал ротора вращает исполнительные механизмы, которые тормозят вращение ротора.

Поэтому, ротор вращается медленнее магнитного поля статора, т.е. **асинхронно**.

Вращаясь, ротор, стремится догнать вращающееся магнитное поле статора.

Видим, что название двигателя определяет принцип его работы: асинхронный трехфазный с короткозамкнутым ротором.

Для закрепления полученных знаний посмотрите фильм. Длительность 5 мин.

[Электромотор.mp4](#)

Запись в конспекте:

Но если скорость ротора становится равной скорости статора, то силовые линии магнитного поля статора перестают пересекать короткозамкнутые витки ротора, ток в них исчезает, ротор снижает скорость вращения, но при замедлении магнитное поле статора вновь возбуждает в витках ротора большой ток, снова ротор начинает догонять магнитное поле статора и процесс повторяется.

**Отставание** скорости вращения ротора от скорости вращения магнитного поля статора наз. **Скольжением**.

Направление вращения магнитного поля статора и направление вращения ротора, зависит от порядка чередования фаз тока, подводимого к обмотке статора.

**При смене подключения фазных проводов соединяющих обмотку статора с сетью изменяется и направление вращения ротора асинхронного двигателя.**

Например, порядок следования фаз ABC заменить порядком CBA.

Вращающееся переменное магнитное поле превращается в механическую силу вращения ротора. Эта механическая сила используется для приведения в действие различных механизмов.

Большое значение в асинхронных двигателях имеет величина зазора между статором и ротором.

Чем меньше зазор, тем сильнее действие магнитного поля статора на проводники ротора, тем больше сила вращающая ротор. Чем больше зазор - тем хуже скоростные и силовые характеристики двигателя.

У асинхронных двигателей мощностью до 5 кВт зазор равен 0,2 – 0,3 мм.

У более мощных двигателей, по технологическим и конструктивным особенностям их зазор больше от 2 – 2,5 мм,

### Полюса.

При питании трехфазным током трех катушек, сдвинутых одна относительно другой на угол 120°, возникает магнитное поле, вращающееся в пространстве с постоянной частотой  $n_1$  которую называют синхронной частотой.

Т.к. каждая обмотка разделена на две части, соединенные последовательно и расположенные напротив друг друга, то каждая фаза имеет пару полюсов, возникает двухполюсное магнитное поле, с одной парой полюсов у каждой фазы.

Если расположить в статоре большее количество обмоток – кратное 3, то количество полюсов будет возрастать вдвое для каждого дополнительных трёх обмоток. При этом однофазные обмотки соединяются последовательно.

Частота вращения магнитного поля статора определяется по формуле:

$$n_1 = 60 * \frac{f}{p}$$

Где:  $f$  – частота питающего напряжения.

$P$  – число пар полюсов обмотки статора.

При частоте 50 Гц синхронная частота вращения магнитного поля статора  $n_1$  будет равна:

$$n_1 = 60 * \frac{f}{p} = 60 * \frac{50}{1} = 3000 \text{ об/мин}$$

Скорость вращения ротора зависит от числа пар полюсов для каждой фазы.

При чём, чем больше пар полюсов, тем меньше скорость вращения ротора, но больше крутящий момент.

Количество обмоток	3	6	9	12	15
Угол сдвига обмоток	120°	60°	40°	30°	24°
Число полюсов:	2	4	6	8	10
Число пар полюсов:	1	2	3	4	5
Частота $n_1$ вращения поля в об/мин:	3000	1500	1000	750	600



## Скольжение.

Необходимым условием для возникновения в асинхронной машине электромагнитного вращающего момента является неравенство частот вращения  $n_1$  и  $n_2$ .

Скорость вращения ротора  $n_2$  асинхронного двигателя всегда меньше скорости вращения поля  $n_1$ , так, как только в этом случае возможно наведение э.д.с. в обмотке ротора.

Отставание частоты вращения ротора от частоты вращения магнитного поля статора характеризуется скольжением, обозначается  $S$ , измеряется в процентах или коэффициентом, вычисляется по формуле:

$$S = \frac{(n_1 - n_2) * 100}{n_1}$$

Скольжение, соответствующее номинальной нагрузке двигателя, называется **номинальным скольжением**.

Скольжение асинхронного двигателя может изменяться в пределах от **0 до 1**.

$S=0$  соответствует режиму **холостого хода**, когда ротор двигателя не испытывает противодействующих моментов т.е. ротор не нагружен.

$S=1$  соответствует режиму **короткого замыкания**, когда противодействующий момент нагрузки **превышает вращающий момент ротора** и поэтому ротор двигателя останавливается, т.е. неподвижен ( $n_2=0$ ).

Устойчивая работа двигателя возможна только при скольжении от 0 до 20%. Если скольжение больше 20% то работа двигателя неустойчива, ротор затормаживается до полной остановки.

Так, например, для двигателей нормального исполнения мощностью от 1 до 1000 кВт номинальное скольжение приблизительно составляет соответственно 0,06-0,01, т.е. 6-1%.

Если известна величина скольжения и число оборотов ротора, то число оборотов ротора определяется по формуле:

$$n_2 = n_1 * (1 - S) \text{ или } n_1 = \frac{n_2}{1-S}$$

Пример №1:, В двухполюсном двигателе при  $s = 4\%$ . Определить частоту вращения ротора. Решение:  $n_2 = n_1 * (1 - S) = 3000 * (1 - 0,04) = 2880$  об/мин

Пример № 2:, 4-полюсный двигатель имеет  $s = 4\%$ . Подключён к сети с частотой 50 Гц. Определить частоту вращения ротора и отставание ротора от поля статора.

Решение: 1. Определить,  $n = \frac{60 * f}{p} = \frac{60 * 50}{2} = 1500$  об/мин Или по таблице.

2.  $n_2 = n_1 * (1 - S) = 1500 * (1 - 0,04) = 1440$  об/мин

3.  $1500 - 1440 = 60$  об/мин – отставание ротора.

Частота тока в роторе  $f_2$  определяется величиной скольжения  $f_2 = f_1 * S$

Пример: двигатель со скольжением 5% и частотой питающего напряжения в обмотке статора от сети 50 Гц. Определить частоту тока в роторе.

Решение:  $f_2 = f_1 * S = 50 * 0,05 = 2,5$  Гц.

## Мощность и КПД асинхронного двигателя.

У асинхронного двигателя различают потребляемую  $P_1$  и полезную  $P_2$  мощности.

Потребляемая мощность определяется мощностью потребляемой из сети.

Т.к. сопротивления обмоток статора равны, то нагрузка на фазы сети равномерная и потребляемая мощность фаз одинаковая.

Величина потребляемой мощности может быть измерена ваттметром или методом вольтметра и амперметра включенных в одну из фаз.

Полезная мощность  $P_2$  указывается в паспорте двигателя.

Отношение полезной мощности к потребляемой наз. Коэффициентом полезного действия двигателя, величина безразмерная.

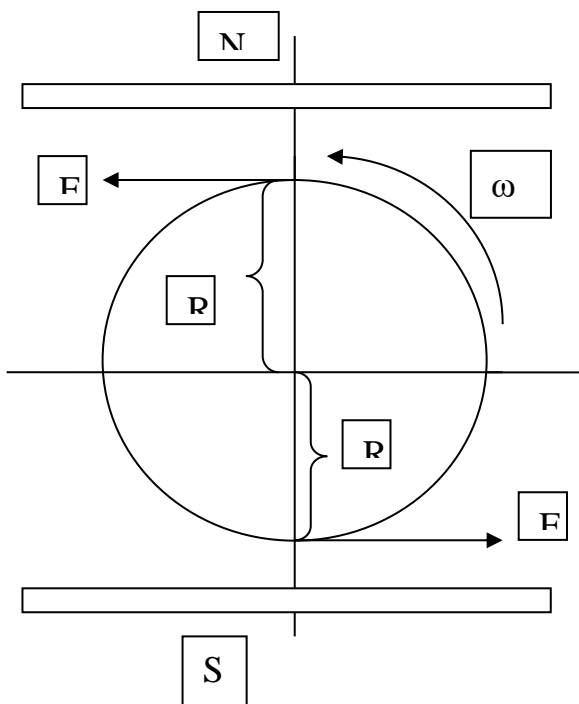
$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Зная  $\eta$  можно определить паспортную потребляемую мощность:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}; Bm$$

## Вращающий момент асинхронного двигателя.

Вращающий момент асинхронного двигателя его важнейшая силовая характеристика.



Вращающий момент равен произведению силы  $F$  на плечо  $R$ :  $M = F * R$ ,



В качестве силы, здесь сила взаимодействия магнитного поля статора и токов, индуцированных в роторе, а плечом является радиус ротора.

Вращающий момент  $M$ , развиваемый двигателем, уравновешен тормозным моментом  $M_t$  на валу и моментом  $M_o$  идущим на преодоление механических потерь, т.е.

$$M = M_t + M_o = (P_2/\omega) - M_o$$

Где:  $P_2$  – полезная мощность двигателя,

$\Omega$  - угловая скорость ротора, т.е. число оборотов в минуту.

Для практических целей вращающий момент определяется по приближенной

$$M_{кр} = \frac{975 * P_2}{n}$$

формуле:

$n$

(кг\*м)

Где:  $P_2$  – мощность двигателя, в кВт;

$n$  - скорость вращения ротора, в об/мин.

Эти данные указаны на паспортной шильде двигателя.

### Паспортные данные асинхронных двигателей.

Указываются на шильде корпуса двигателя.

Пример: Дано: трёхфазный короткозамкнутый асинхронный двигатель тип: АОЛ – 011/4

1. Цифра 4 – указывает на число полюсов, число пар полюсов – 2
2. Напряжение питания: 220 / 380 – два напряжения питания, зависящие от схемы подключения обмоток статора.
3. Схемы соединения:  $\Delta/Y$  для напряжения 220 В – треугольник, для напряжения 380 В – звезда.
4. Потребляемый ток 0,78/0,75 в соответствии со схемами включения.
5. Частота тока: 50 Гц.
6. Мощность на валу:  $W = 50$  Вт.
7. Число оборотов вала:  $n_2 = 1390$  об/мин.
8. КПД = 43%

Определяем:

1. потребляемая мощность  $P_1 = P_2 / \eta = 50 / 0,43 = 116,3$  Вт.
2. Максимальный крутящий момент:  $M_{кр} = (975 * P_2) / n_2 = (975 * 50) / 1390 = 35$  кг\*м.
3. Число оборотов магнитного поля статора по числу полюсов равно 1500 об/мин.
4. Номинальное скольжение:  $S = (n_1 - n_2) / n_1 = (1500 - 1390) / 1500 = 0.073$  или 7,3%

### Подключение асинхронных двигателей.

Обмотки статоров двигателей с короткозамкнутым ротором могут подключаться по схемам «звезда» или «треугольник».

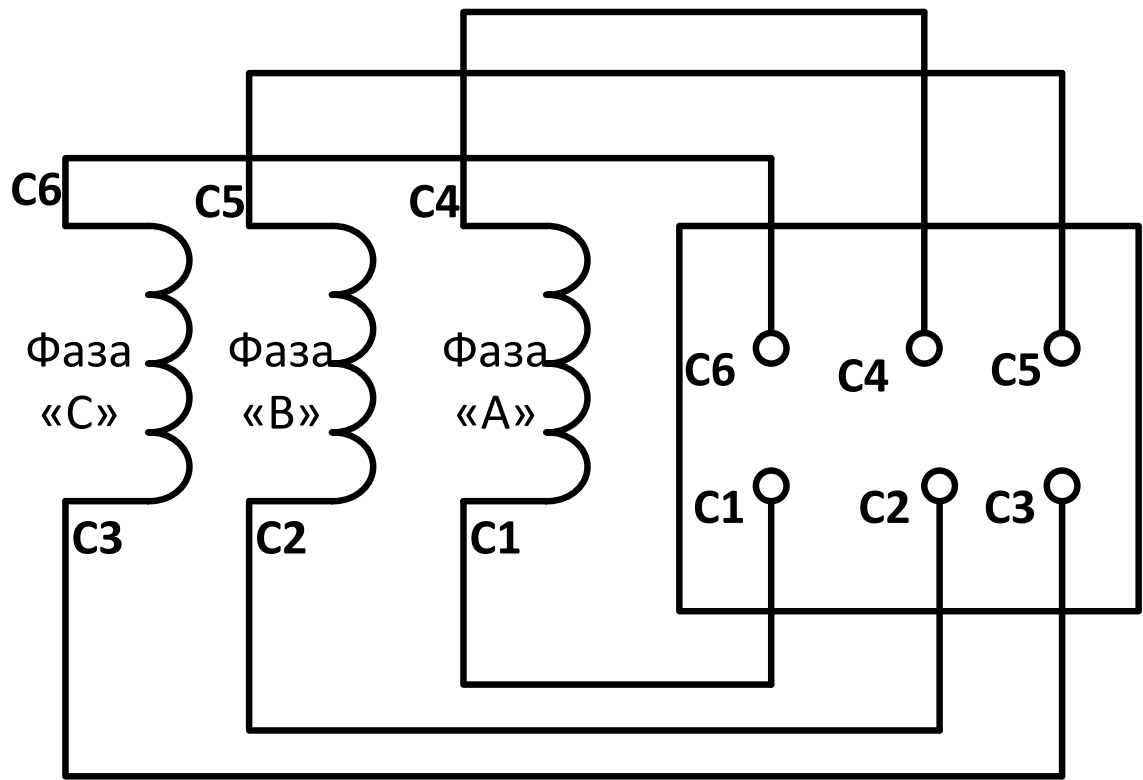
Для удобства подключения выводы обмоток расположены на щитке двигателя.

Таблица соответствия обозначений выводов обмоток.

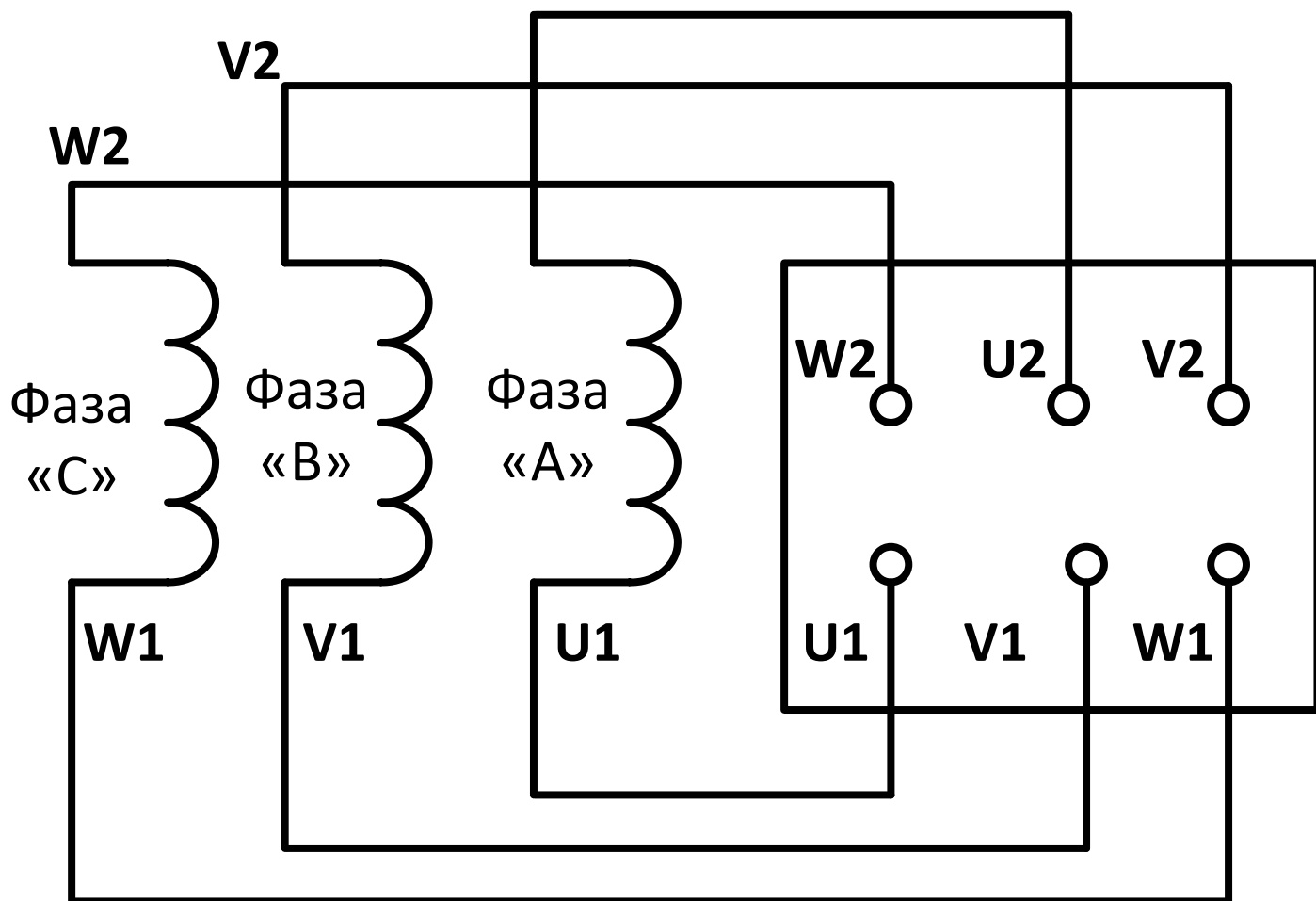
Наименование обмотки.	Начала обмоток.		Концы обмоток.	
	«Старый» ГОСТ.	«Новый» ГОСТ.	«Старый» ГОСТ.	«Новый» ГОСТ.
Обмотка фазы А.	C <sub>1</sub>	U <sub>1</sub>	C <sub>4</sub>	U <sub>2</sub>
Обмотка фазы В.	C <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	C <sub>5</sub>	V <sub>2</sub>
Обмотка фазы С.	C <sub>3</sub>	W <sub>1</sub>	C <sub>6</sub>	W <sub>2</sub>

Схема выводов обмоток на щиток двигателя.

«Старое обозначение»



«Новое» обозначение.



**Первая обмотка обозначается буквой: U**

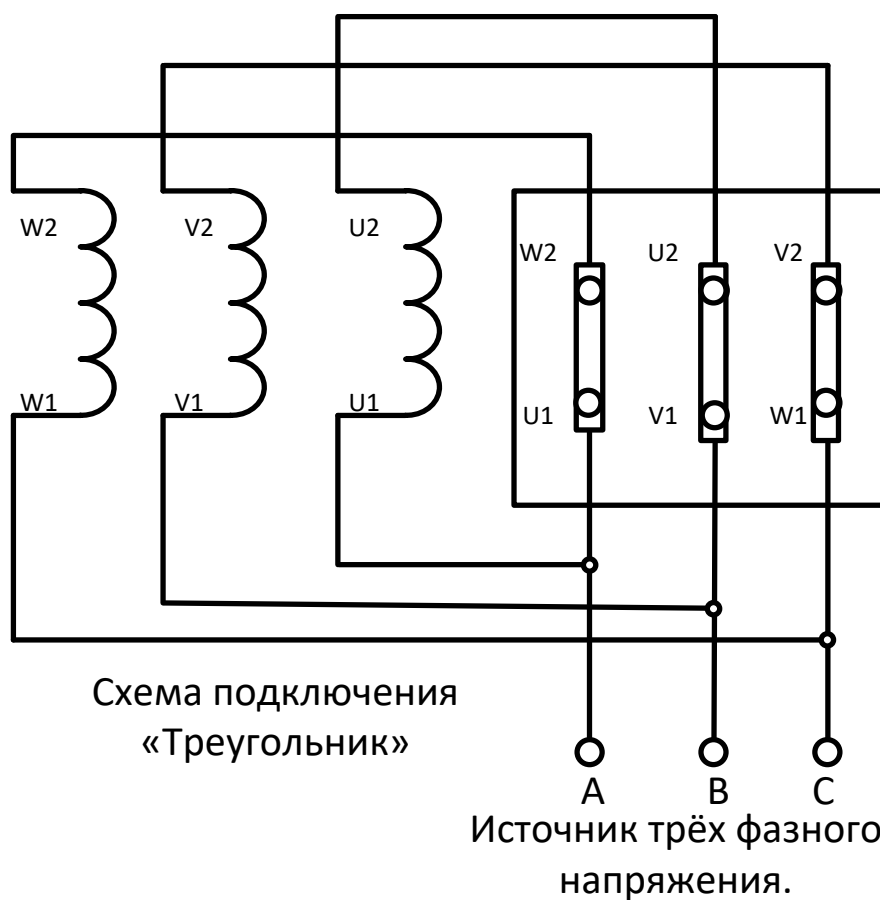
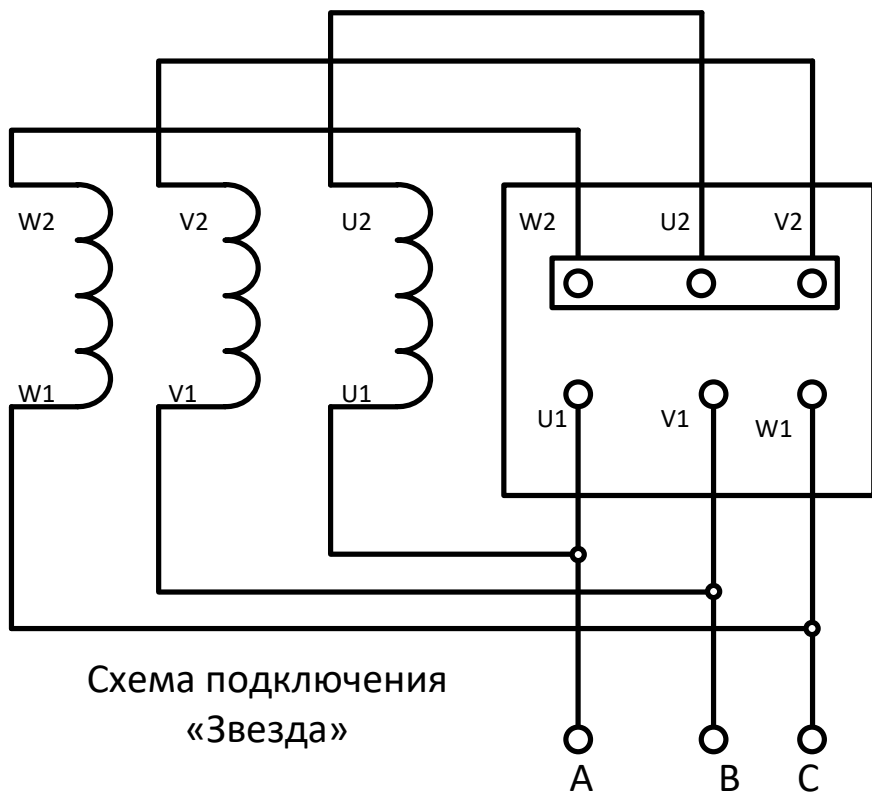
**Вторая обмотка обозначается буквой: V**

**Третья обмотка обозначается буквой: W**

**Начала обмоток обозначаются цифрой: 1**

**Концы обмоток обозначаются цифрой: 2**

Схемы подключения двигателей.



**д/Задание: вычертить схемы звезды и треугольника со старыми обозначениями.**