

# Устройство статора бесколлекторной машины.

Основные понятия об обмотках  
статора.

# Устройство статора

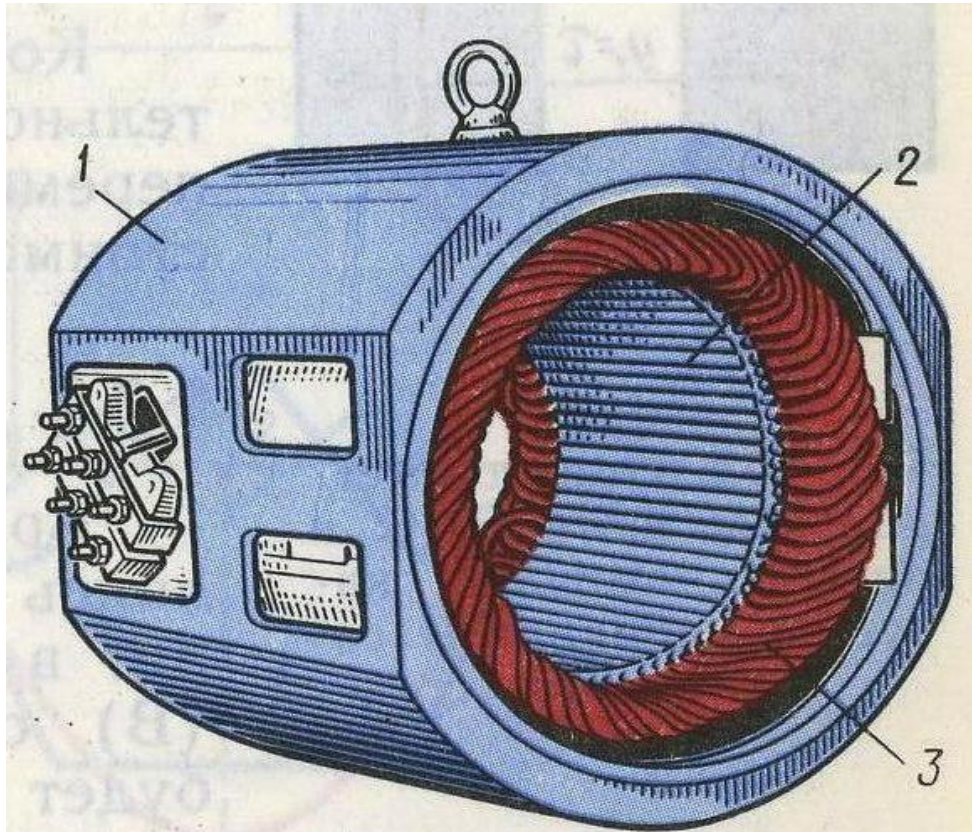


Рис. 7.1. Статор бесколлекторной машины переменного тока

Статор  
бесколлекторной  
машины  
переменного  
тока (МТ)  
состоит из корпуса  
1, сердечника 2 и  
обмотки 3.

• Сердечник статора имеет шихтованную конструкцию, т.е. представляет собой пакет пластин, полученных методом штамповки из листовой электротехнической стали. Пластины предварительно покрывают с двух сторон тонкой изоляционной пленкой, например слоем лака. На внутренней поверхности сердечника статора имеются продольные пазы, в которых располагаются проводники обмотки статора, которые выполняются из медных обмоточных проводов круглого или прямоугольного сечения.

# Требования к обмотке статора

- наименьший расход обмоточной меди;
- удобство и минимальные затраты в изготовлении – технологичность;
- форма кривой ЭДС, наводимой в обмотке статора, должны быть практически синусоидальной.

# Следствия несинусоидальности ЭДС

- При несинусоидальной ЭДС генератора в эл.цепи появляются высшие гармоники тока, в следствие чего возрастают потери, возникают опасные перенапряжения, усиливается вредное влияние ЛЭП на цепи связи.
- При несинусоидальной ЭДС двигателей переменного тока увеличивается рост потерь и уменьшается полезная мощность двигателя.

# Виток обмоток

- Простейшим элементом обмотки является **ВИТОК**, который состоит из двух последовательно соединенных проводников, размещенных в пазах, находящихся, как правило, под соседними разноименными полюсами. **Лежащие в пазах проводники витка являются его активными сторонами**, поскольку именно здесь наводится ЭДС от главного магнитного поля машины. Находящиеся вне паза части витка, соединяющие между собой активные проводники и располагающиеся по торцам магнитопровода, называются лобовыми частями.

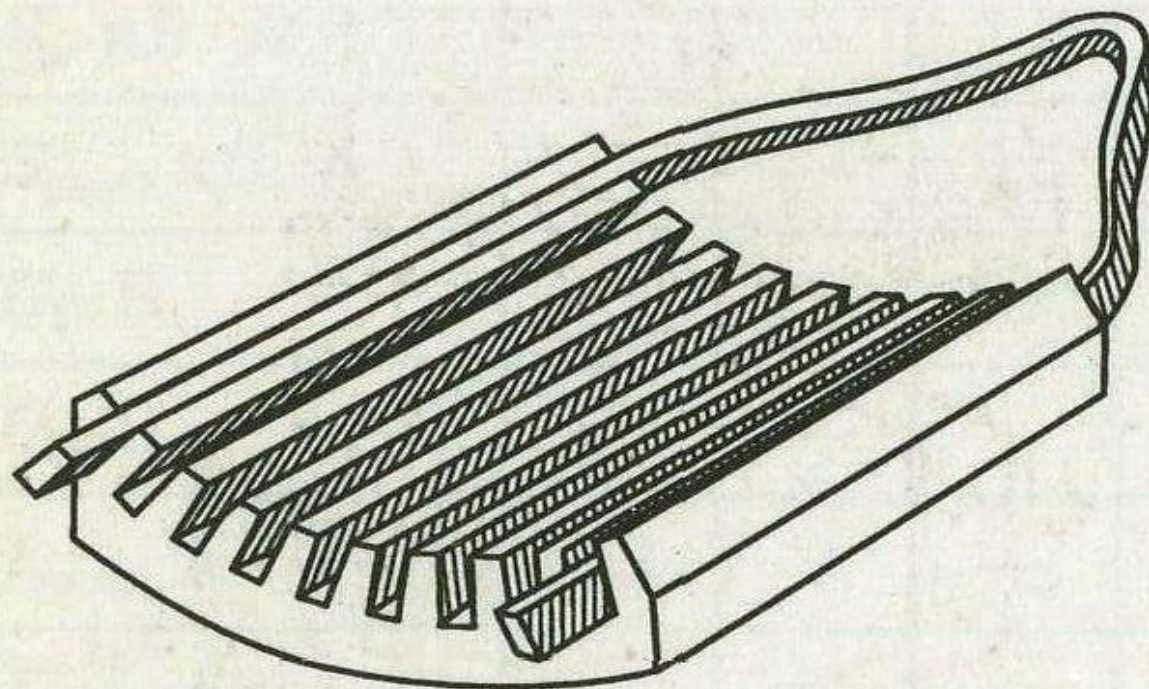


Рис. 2.1. Расположение пазовых сторон катушки в пазах сердечника статора

• Проводники, образующие виток, могут состоять из нескольких параллельных проводов. Один или несколько последовательно соединенных витков образуют катушку или секцию обмотки. Если секция состоит из одного витка, то такую обмотку называют **стержневой**, так как в этом случае находящиеся в пазах проводники обычно представляют собой жесткие стержни. Обмотка, состоящая из многовитковых секций, называется **катушечной**.



# Характеристики обмоток статора

- число фазных обмоток:  $m_1$ -однофазные ( $m_1 = 1$ ) и многофазные, обычно трехфазные ( $m_1 = 3$ );

- шаг обмотки по пазам  $y_1$  – с полным (диаметральным) шагом ( $y_1 = \tau$ ) и укороченным шагом ( $y_1 < \tau$ ),

Здесь  $\tau$  – полюсное деление, м,

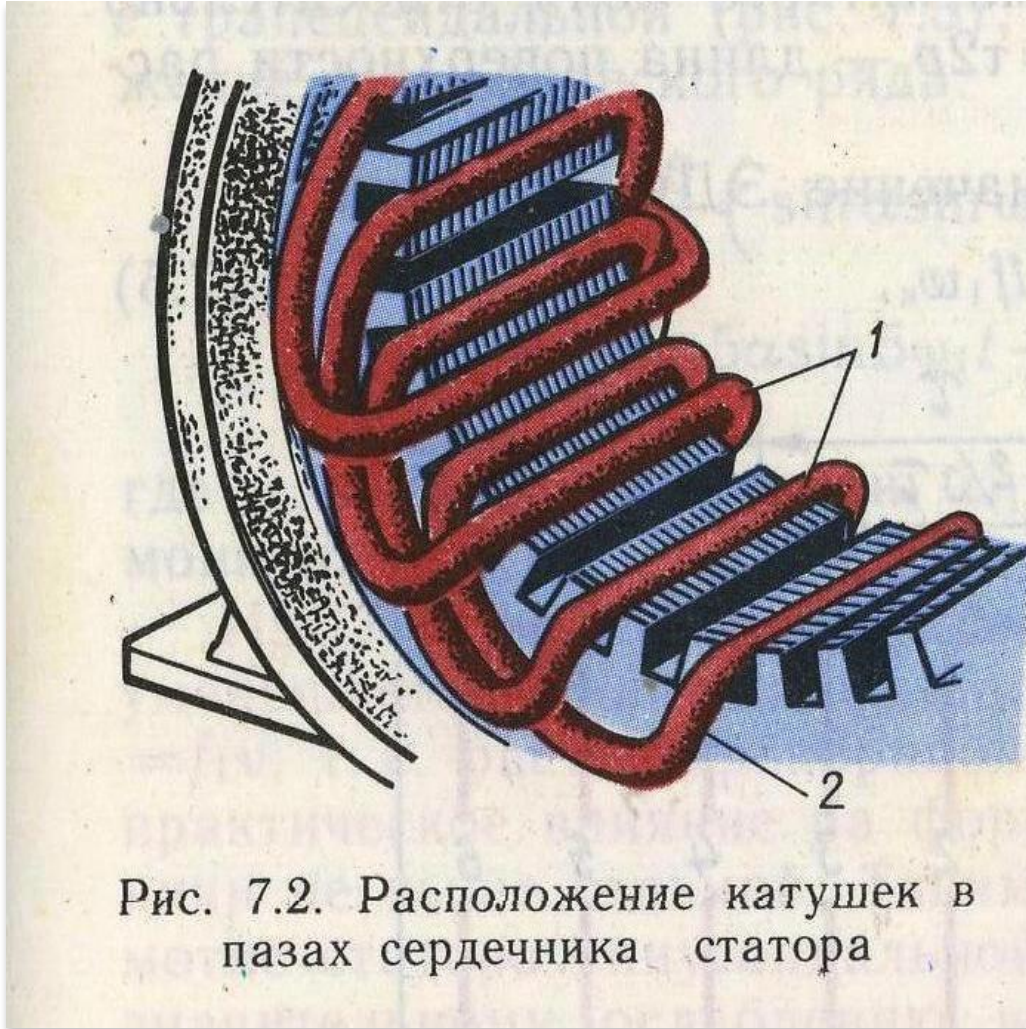
$$\tau = \pi D_1 / 2p.$$

где  $D_1$  – внутренний диаметр статора, м

$2p$  – число полюсов в обмотке статора.

## Катушка обмотки

- Многофазная обмотка статора состоит из  $m$ -фазных обмоток. Каждая фазная обмотка представляет собой разомкнутую систему проводников. Элементом обмотки является катушка, состоящая из одного или нескольких витков.
- Элементы катушки, располагаемые в пазах называются пазовыми сторонами, а элементы, расположенные вне пазов и служащие для соединения пазовых сторон, называются лобными частями. Часть дуги внутренней расточки статора, приходящаяся на один полюс, называется полюсным делением.



1 – пазовые  
стороны катушки  
2- лобовые части  
катушки

• Катушка, или секция обмотки, характеризуется числом витков  $w_c$  и шагом  $y$ , т. е. количеством охватываемых ею зубцов магнитопровода. Так, например, если одна сторона катушки (секции) лежит в первом пазу, а вторая - в шестом, то катушка охватывает пять зубцов и шаг ее равен пяти ( $y = 5$ ). Шаг, таким образом, может быть определен как разность между номерами пазов, в которые уложены обе стороны катушки ( $y = 6 - 1 = 5$ ). Часто в технической литературе шаг обозначают номерами пазов (начиная с первого), в которые уложены стороны катушки, т. е. в данном случае это обозначение выглядит так:  $y = 1 - 6$ .

• Шаг обмотки называют **диаметральным**, если он равен полюсному делению  $\tau$ , т. е. расстоянию между осями соседних разноименных полюсов, или, что то же самое, числу пазов (зубцов), приходящихся на один полюс. В этом случае  $y = \tau = z/2p$ , где  $z$  - число пазов (зубцов) сердечника, в котором размещена обмотка;  $2p$  - число полюсов обмотки. Если шаг катушки меньше диаметрального, то его называют **укороченным**.

• Укорочение шага, характеризуемое коэффициентом укорочения  $k_y = y / \tau$ , широко применяется в обмотках статоров трехфазных асинхронных электродвигателей, так как при этом экономится обмоточный провод (за счет более коротких лобовых частей), облегчается укладка обмотки и улучшаются характеристики двигателей. Применяемое укорочение шага обычно лежит в пределах **0,85 - 0,66**. В двухполюсной электрической машине центральный угол, соответствующий полюсному делению, равен  $180^\circ$ .

• Хотя в четырехполюсных машинах этот геометрический угол равен  $90^\circ$ , в шестиполюсных -  $60^\circ$  и т. д., принято считать, что между осями соседних разноименных полюсов во всех случаях угол равен  $180$  электрическим градусам ( $180$  эл. град.). **Иначе говоря, полюсное деление  $\tau = 180$  эл. град.** Различают однослойные обмотки, где каждый паз занят стороной одной катушки (секции), и двухслойные, где в пазах размещены стороны разных катушек (секций) в два слоя.

• Если шаг обмотки полный

$$y_1 = Z_1 / (2p) = \tau,$$

то ЭДС, индуцируемая в каждом витке катушки статора вращающимся магнитным полем, определяется как сумма ЭДС сторон этого витка, т.е.

$$e_{\text{ВТК}} = e_1 + e_2.$$

Если шаг обмотки укороченный ( $y_1 < \tau$ ), то ЭДС витка определяется геометрической суммой ЭДС его пазовых сторон, т.е. учитывается фазовый сдвиг этих ЭДС, при этом ЭДС витка и все фазной обмотки  $E_y$  уменьшаются.



• Это уменьшение ЭДС, вызванное укорочением шага обмотки, учитывается коэффициентом укорочения

$$k_y = E_1 / E_2$$

Коэффициент укорочения для ЭДС первой (основной) гармоники

$$K_y = \sin(\beta * 90^\circ)$$

Для ЭДС любой гармоники ( $\nu$  - номер гармоники)

$$K_y = \sin(\nu \beta * 90^\circ)$$

## Виды обмоток статора

- По своей конструкции обмотки статора разделяются на **сосредоточенные** и **распределенные**.

- В *сосредоточенных* обмотках статора обмотка каждой фазы располагается в двух пазах, а в *распределенной* обмотке статора катушки каждой фазы занимают несколько пазов. ЭДС катушечной группы распределенной обмотки  $E_{r.p.}$  меньше ЭДС катушечной группы  $E_{r.c.}$  сосредоточенной обмотки  $E_{r.c.}$

- Коэффициент распределения обмотки:

$$K_p = (E_{r.p.} / E_{r.c.}) < 1$$

Коэффициент распределения обмотки для первой гармоники ЭДС:

$$K_{p1} = \sin(0,5q_1\gamma) / (q_1 \sin(0,5\gamma)),$$

где  $\gamma$  – угол сдвига по фазе между векторами пазовых ЭДС.  $\Gamma = 360p/Z_1$

Коэффициент распределения обмотки для любой гармоники ЭДС:

$$K_{p1} = \sin(0,5\nu q_1\gamma) / (q_1 \sin(0,5\nu\gamma))$$

- Число пазов на полюс и фазу

$$q_1 = Z_1 / (2p m_1)$$

ЭДС фазной обмотки статора:

$$E_{\phi 1} = 4,44 \Phi f_1 w_1 k_{об1},$$

где  $\Phi$ - основной магнитный поток,

$$\Phi = (2/\pi) B_6 l_1 \tau;$$

$B_6$  – магнитная индукция в воздушном зазоре между неподвижным статором и вращающимся ротором, Тл;

$f_1$  - частота переменного тока в обмотке статора (в сети), Гц;

- $w_1$  - число последовательно соединенных витков в фазной обмотке статора

$$w_1 = 2pq_1 w_k = Z_1 w_k / m_1,$$

где  $w_k$  - число витков в катушке обмотки статора;

$k_{об1} = k_{y1} k_{p1}$  - обмоточный коэффициент, учитывающий уменьшение ЭДС, вызванные укорочением шага катушки и распределенной конструкцией обмотки.