

II-ая часть курса «Электрические машины переменного тока»

- 1. Общие вопросы машин переменного тока.**
- 2. Асинхронные машины.**
- 3. Синхронные машины**

Цикл лекций в курсе «Электрические машины»

Доцент Т.И.Феоктистова

2015г.

Общие вопросы машин переменного тока

**Эта тема относится как к асинхронным, так
и к синхронным машинам.**

К общим вопросам относятся:

- 1) Обмотки машин переменного тока**
- 2) ЭДС обмотки машин переменного тока**
- 3) МДС (намагничивающие силы)
обмоток машин переменного тока.**

Устройство статора синхронной и асинхронной машин одинаково

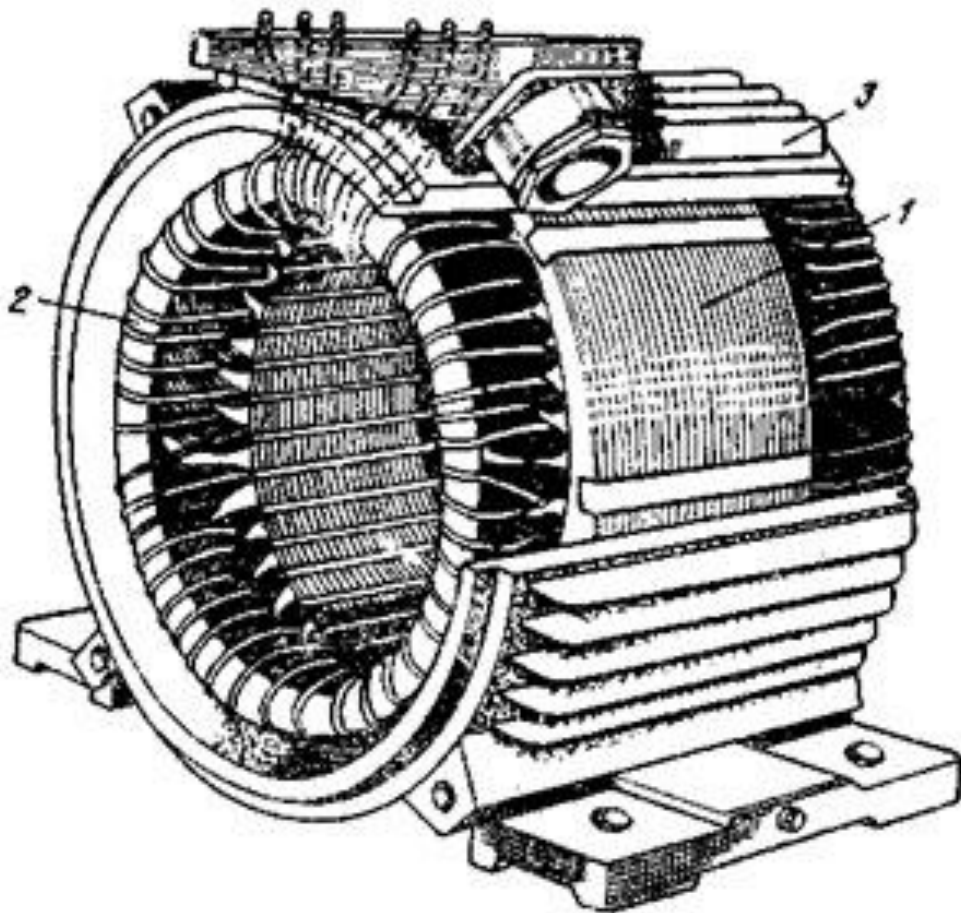


Рис. 1. Статор машины переменного тока:
1 - сердечник; 2 - обмотка; 3 - корпус

1.Обмотки машин переменного тока

В пазах сердечника статора расположены три фазы, сдвинутые на 120° электрических градусов. Каждая фаза на полюсном делении занимает $1/3$ часть пазов.

Обозначим:

Z_1 – число пазов сердечника статора

число пазов на полюс и фазу $q = Z_1 / 2p m_1$

(лежит в пределах 1...9)

$2p$ – число полюсов

p – число пар полюсов

m_1 – число фаз обмотки статора

Число пазов статора равно $Z_1 = 2p m_1 q$

Определяющим шагом (y) обмотки называют расстояние от начала одной катушки до конца той же катушки.

1.1.Элементы статорных обмоток переменного тока:

проводник - виток – катушка - катушечная группа - фаза.

Два проводника составляют виток.

Несколько витков составляют катушку,

Несколько катушек - катушечную группу,

Несколько катушечных групп составляют фазу..

При однослойной обмотке – число катушечных групп в фазе равно числу пар полюсов (p). При двухслойной обмотке – число катушечных групп в фазе равно числу полюсов ($2p$).

Такое же соотношение максимально возможного числа параллельных ветвей (a и $2a$)

С конструктивной стороны обмотки делят на:

1) Однослойные и 2) двухслойные.

1.2. Однослойные обмотки

Однослойные обмотки выполняют сравнительно редко, обычно у двигателей малой мощности. Для их технологического исполнения требуется больше меди.

Однослойные обмотки характерны тем, что в пазу располагают только одну активную сторону.

Типы обмоток:

- Концентрическая; 2. Шаблонная; 3. Катушечная обмотки

Концентрические обмотки выполняют чаще из жестких секций, лобовые части отгибают в 2-3 плоскости.

Шаблонные обмотки – их секции наматывают на шаблоне из круглого провода. По расположению лобовых частей их подразделяют на цепные и вразвалку.

Катушечные обмотки широко используют на ремонтных заводах.

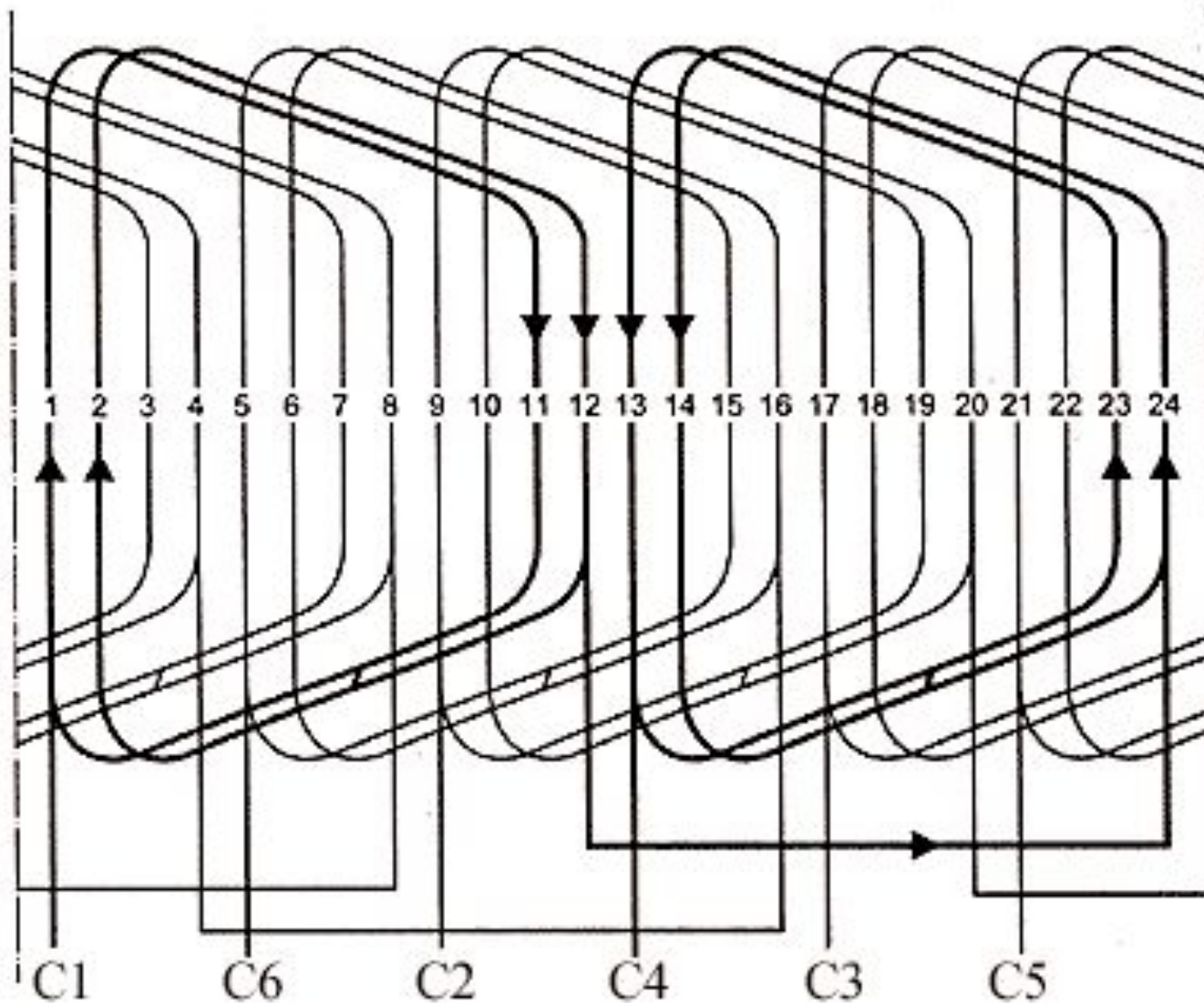


Рис.2. Вид цепной обмотки

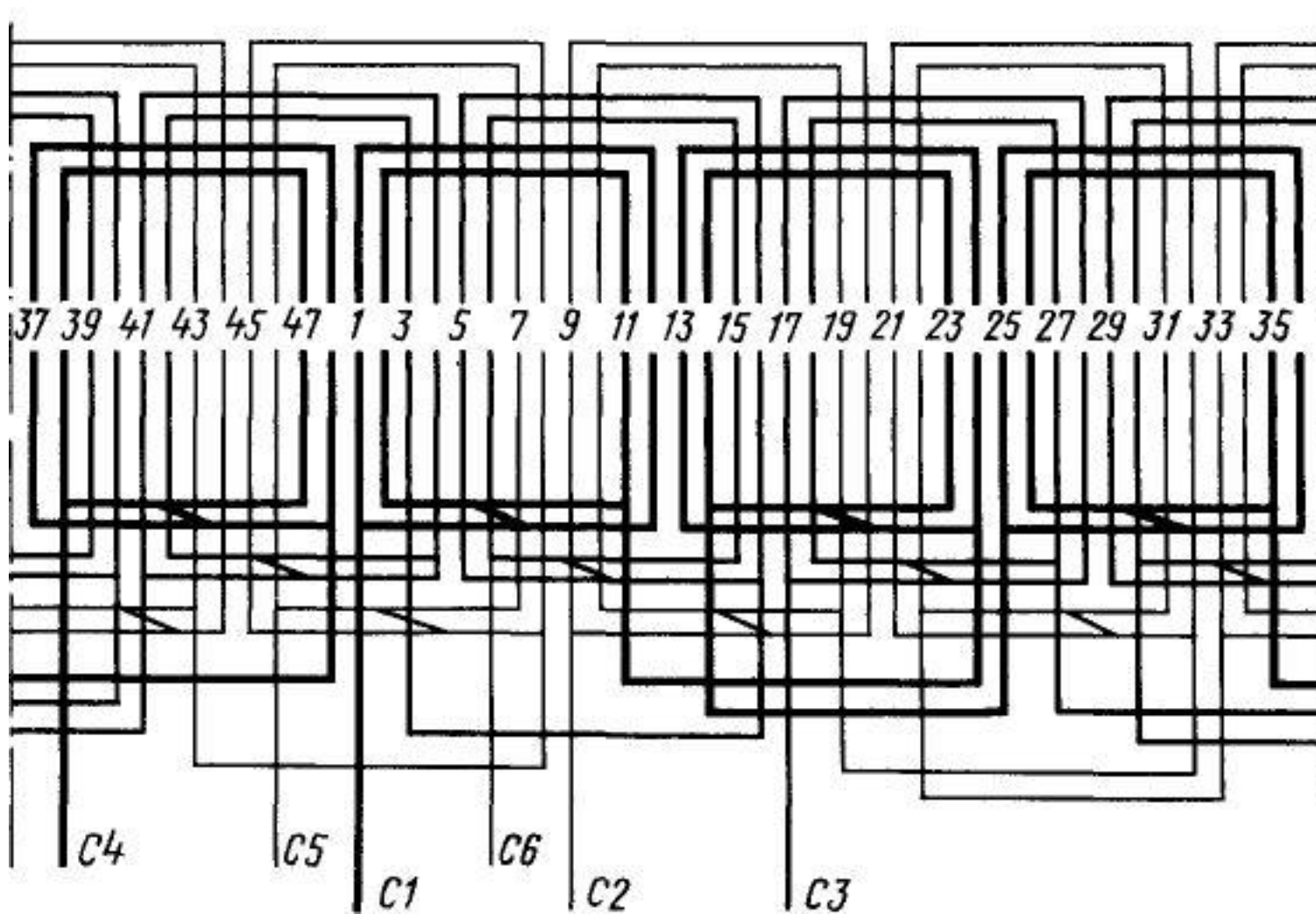


Рис.3 Вид обмотки «вразвалку»

Пример выполнения однослойной обмотки

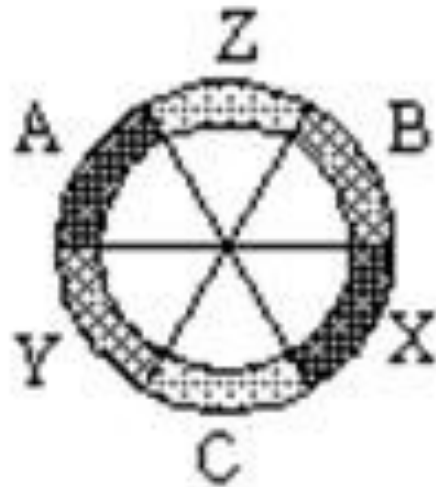


Рис.4. Чередование фазных зон $2p=2$

Ниже приведен пример, где

дано: $2P=4$

Шаг обмотки диаметральный $y = \tau$

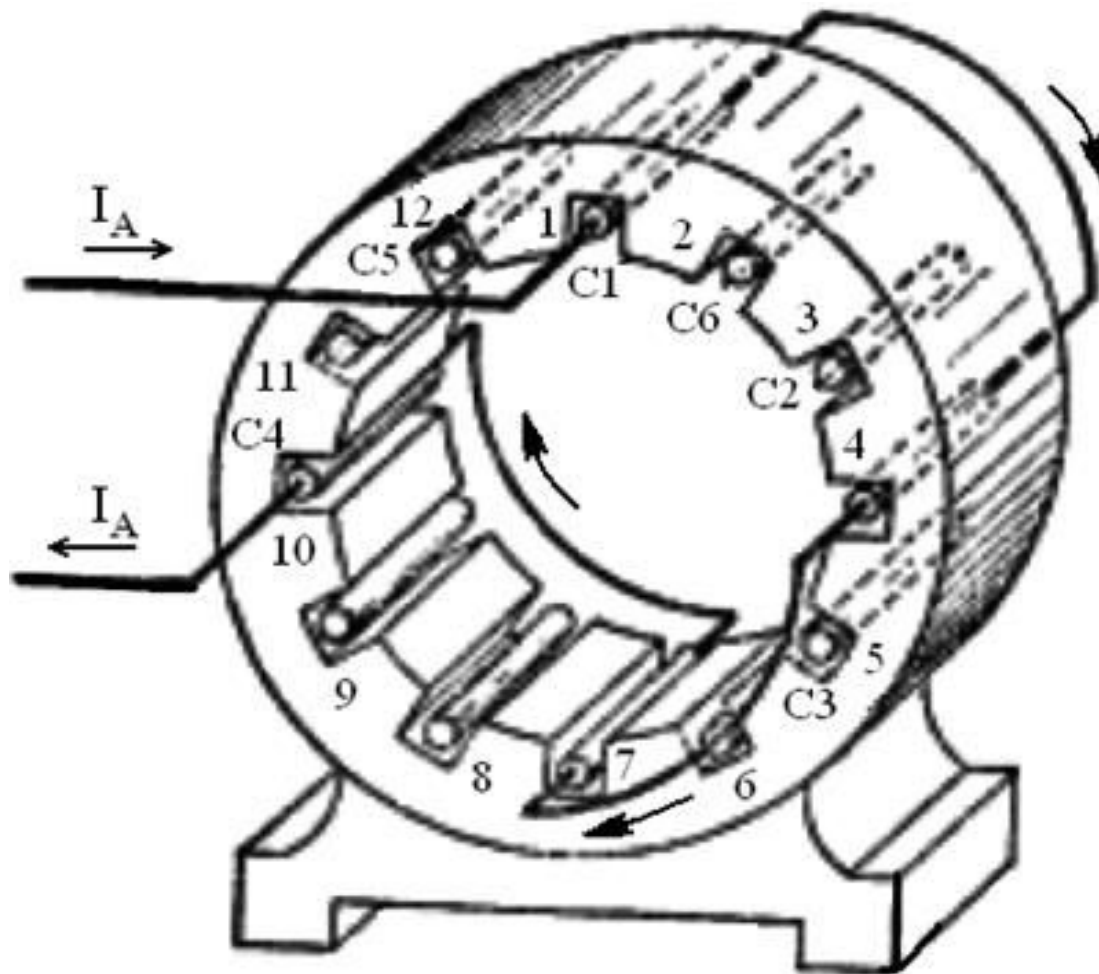
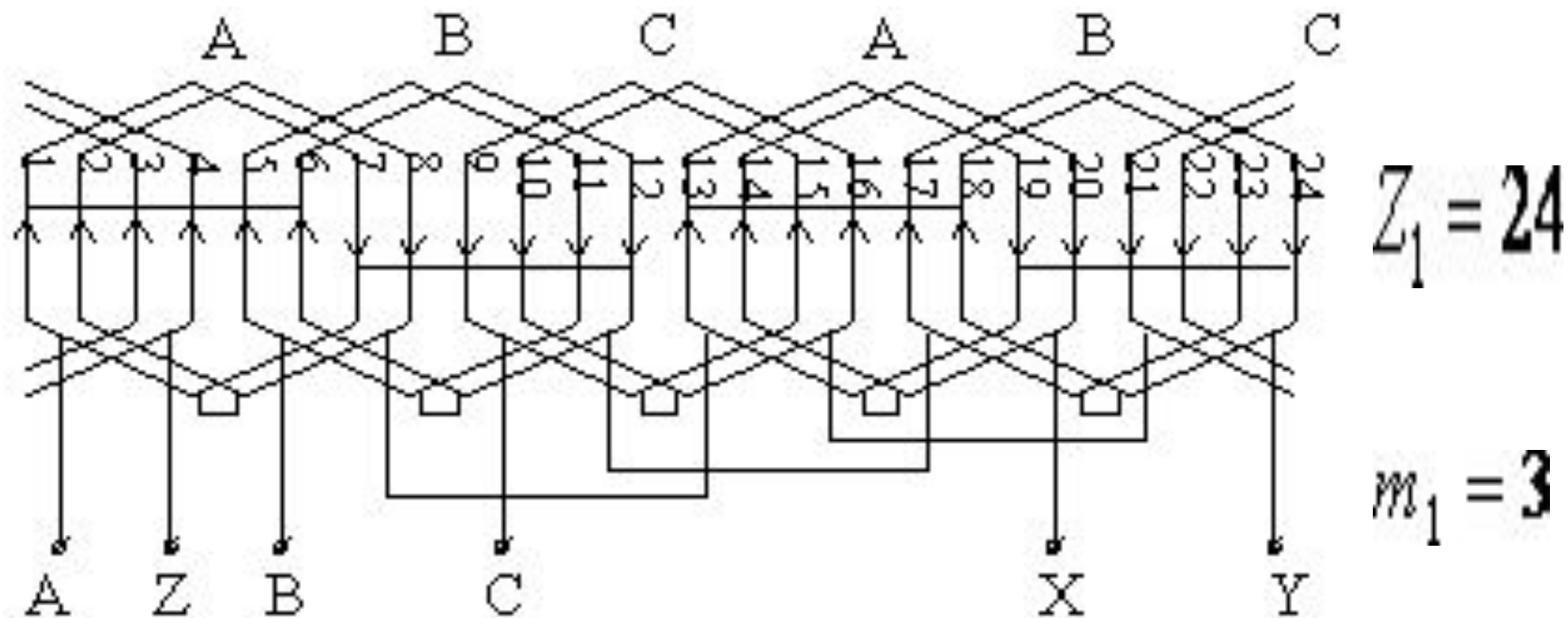


Рис.5.Расположение обмотки в пазах статора с двумя парами полюсов ($q=1$)



$$q = \frac{Z_1}{2P \cdot m_1} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$

$$y = \tau = \frac{Z_1}{2P} = \frac{24}{4} = 6$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot P}{Z_1} = \frac{360 \cdot 2}{24} = 30^\circ$$

Рис.6.Пример построения обмотки

1.3. Двухслойные обмотки

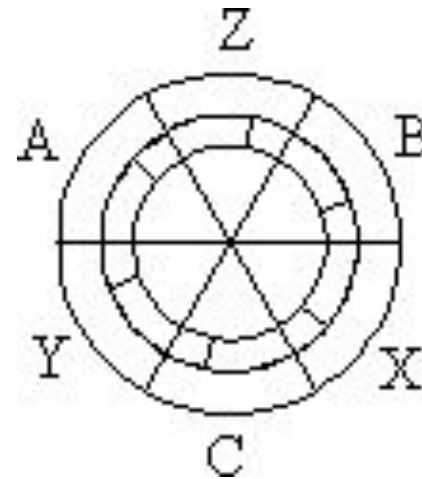


Рис.7

Особенностью двухслойной обмотки является то, что в пазу эту обмотку укладывают в два слоя.

Недостатки: неудобство ремонта.

Преимущества:

- 1) меньше расход меди;
- 2) в обмотке с укороченным шагом можно избавиться от высших гармоник ЭДС (обычно ослабляют 5-ую и 7-ю гармоники, т. е. делают шаг $y = \tau \cdot 5/6$)

1.4. Роторные обмотки асинхронных машин

Обмотки фазного ротора выполняют так же, как и на статоре (3 фазы сдвинуты на 120° эл. град.).

В малых машинах делают обмотку петлевую катушечную.

В машинах же средней и большой мощности обмотки в роторе делают волновые или даже волновые стержневые.

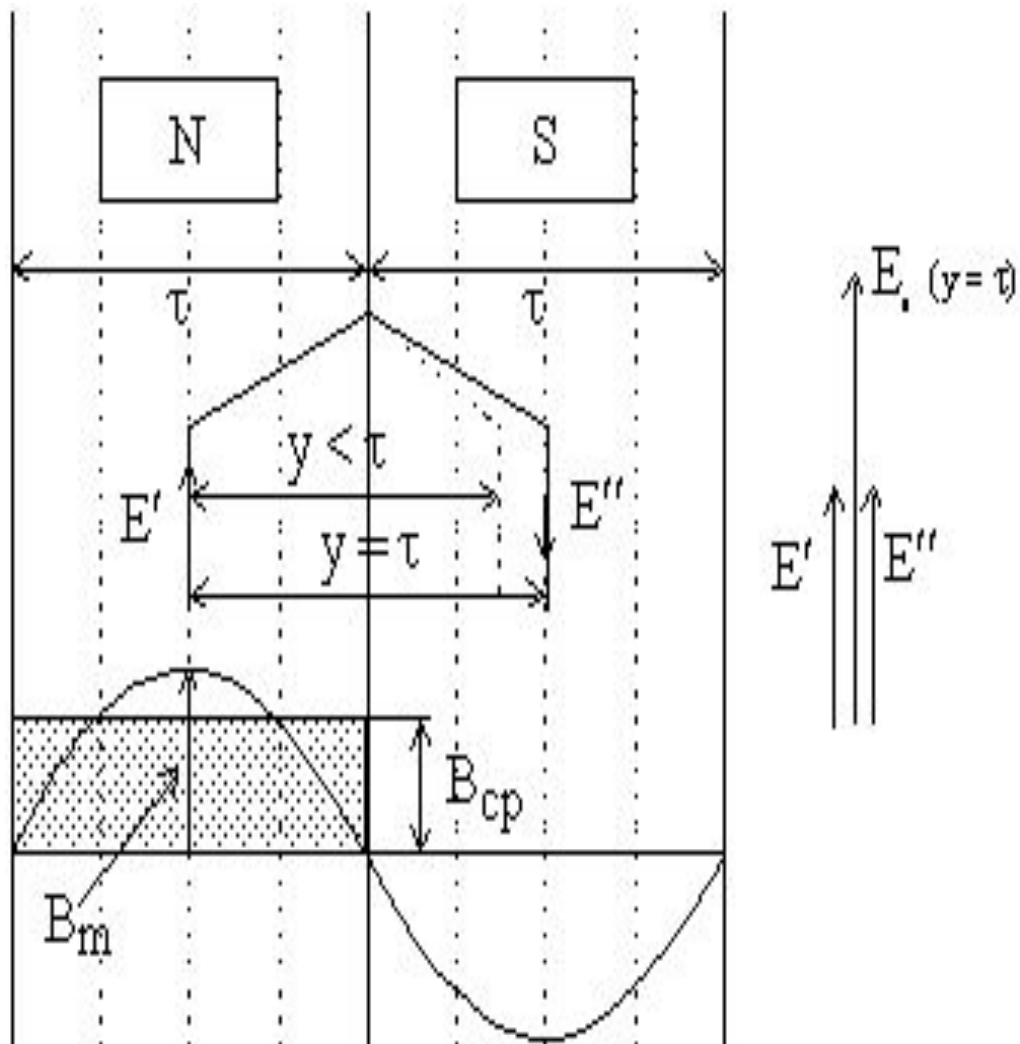
Волновые обмотки имеют преимущество при большом числе полюсов, т.к. при этом не нужно расходовать медь для межкатушечных соединений.

Выводы волновой обмотки ротора должны быть симметричными, иначе будет биение ротора.

Для выводов концов обмотки и переходов используют специальные таблицы в зависимости от числа пазов на роторе Z_2 и числа полюсов $2p$.

Обмотка короткозамкнутого ротора – имеет вид беличьей клетки.

2. Электродвижущая сила (ЭДС) обмотки машин



ЭДС фазы проследим
последовательно
по следующей
структуре:

Проводник –
Виток –
Катушка –
Катушечная группа –
Фаза.

Рис.8. К определению ЭДС

2.1. Определим ЭДС проводника и витка с полным шагом $y = \tau$.

Так как проводники находятся в одинаковых магнитных условиях (см. рис. 8), ЭДС витка будет равна арифметической сумме E' и E''

По известным соотношениям: $E_{\text{пр max}} = B_m \cdot l \cdot V$ $B_m = \frac{\pi}{2} \cdot B_{\text{cp}}$

$$B_{\text{cp}} = \frac{2}{\pi} \cdot B_m \quad V = \frac{\pi D \cdot n_1 \cdot P}{60 \cdot P} = \frac{\pi D \cdot n_1 \cdot P}{\underbrace{P}_{2\tau} \cdot \underbrace{60}_{f}} = 2\tau \cdot f$$

находим максимальное значение ЭДС проводника:

$$E_{\text{пр max}} = (\pi/2) B_{\text{cp}} \cdot l \cdot 2\tau \cdot f = \pi \cdot \Phi \cdot f \quad (\text{здесь } \Phi = B_{\text{cp}} \cdot l \cdot \tau) \quad \text{и}$$

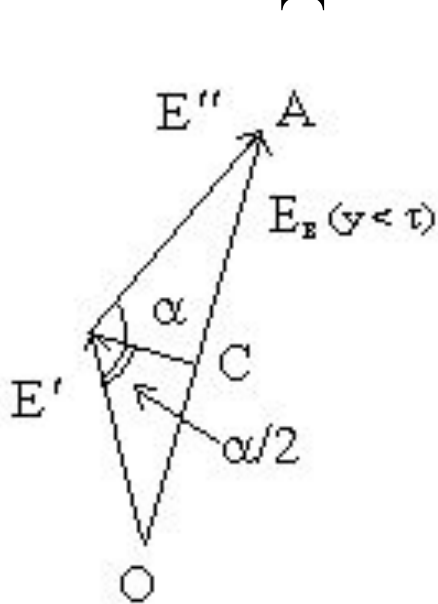
ЭДС проводника действующее значение: $E_{\text{пр}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \Phi \cdot f = 2,22 \cdot \Phi \cdot f$

ЭДС витка с диаметральной шагом:

$$E_{\text{в}} (y = \tau) = 2E_{\text{пр}} = 4,44 \cdot \Phi \cdot f$$

2.2. ЭДС витка с укороченным шагом $y < \tau$

Если виток имеет шаг $y < \tau$, то проводники витка находятся в разных магнитных условиях. Поэтому для определения ЭДС витка необходимо геометрически сложить ЭДС этих проводников (рис. 9)



$$E_{E(y < \tau)} = 2 \cdot OC = 2 \cdot E' \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot 2,22 \cdot \Phi \cdot f \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

Вводится понятие коэффициент укорочения обмотки

$$K_y = \sin \frac{y}{\tau} \cdot 90^\circ$$

ЭДС витка с укороченным шагом:

$$E_{E(y < \tau)} = 4,44 \cdot \Phi \cdot f \cdot K_y$$

Рис.9.

2.3. ЭДС катушки

Витки катушки лежат в одних пазах, поэтому ЭДС катушки равна ЭДС одного витка, умноженному на число витков в катушке W_k

$$E_k = 4,44 \cdot \Phi \cdot f \cdot K_y \cdot W_k$$

2.4. ЭДС катушечной группы

$$E_{\Gamma} = q \cdot E_k \cdot K_p$$

2.5. ЭДС фазы

$$E_{\phi} = 4,44 \cdot f \cdot W \cdot \Phi \cdot K_0$$

Здесь: $W = W_k q$ число витков фазы

$K_0 = K_y K_p$ обмоточный коэффициент

K_y - коэффициент укорочения обмотки

K_p - коэффициент распределения обмотки

3.МДС (намагничивающая сила) обмоток машин переменного тока

Рассмотрим вначале МДС однофазной обмотки

3.1.МДС однофазной обмотки.

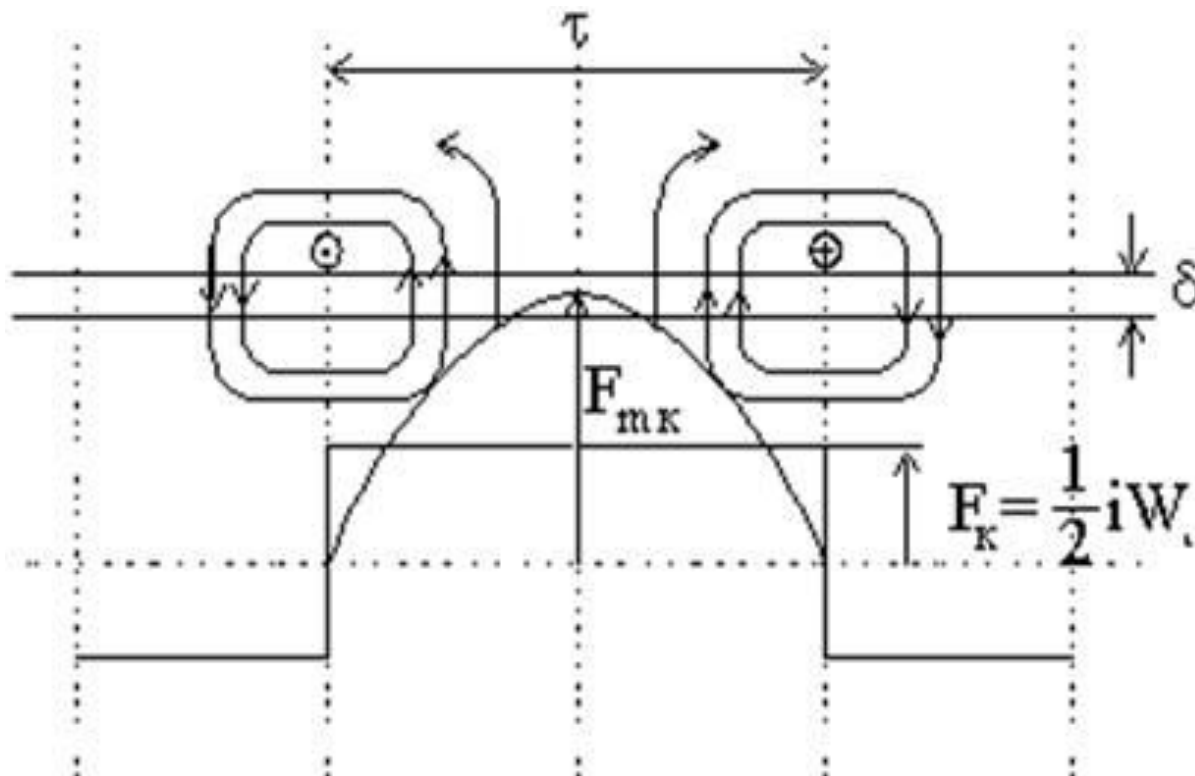


Рис.10.Пульсирующая волна

МДС в любой точке (x) пространства и в любой момент времени (t) определяют:

$$F_{tx_1} = F_{t_1} \cdot \cos \frac{x}{\tau} \pi$$

$$F_{tx_1} = F_{m_1} \cdot \sin \omega t \cdot \cos \frac{x}{\tau} \pi$$

Это выражение пульсирующей волны МДС фазы

Более удобно иметь дело с вращающейся МДС, но с постоянной амплитудой.

Заменим пульсирующую н.с. двумя бегущими волнами, используя тригонометрическую формулу:

$$\sin\alpha + \sin\beta = 2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2} \quad , \text{отсюда}$$

$$\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2} = \frac{1}{2}\sin\alpha + \frac{1}{2}\sin\beta \quad , \text{тогда}$$

$$F_{tx_1} = \frac{1}{2}F_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{x}{\tau}\pi\right) + \frac{1}{2}F_m \cdot \sin\left(\omega t + \frac{x}{\tau}\pi\right) \quad , \text{т.е. получаем прямую и обратную волны}$$

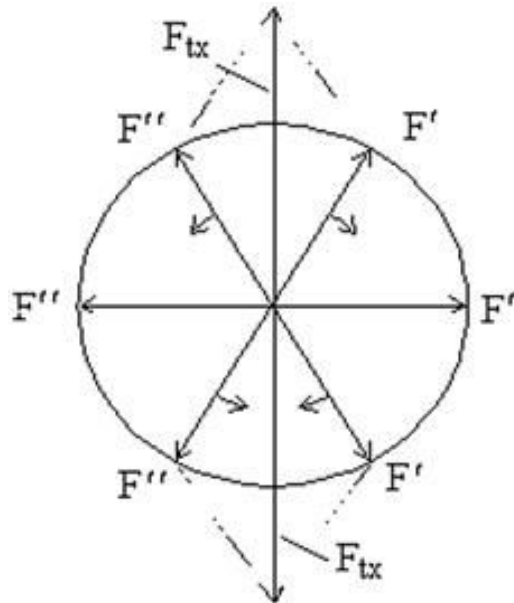
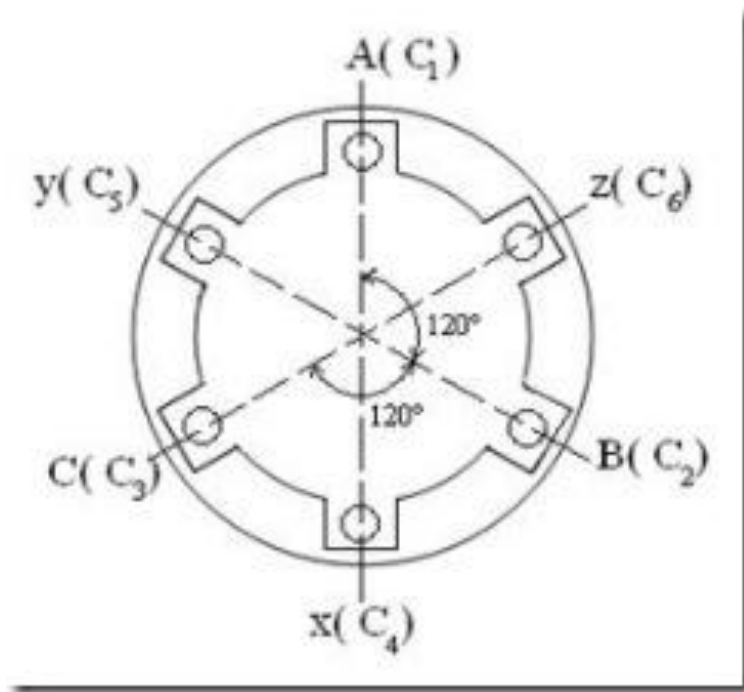


Рис.11. Две волны F' и F'', бегущие в противоположные стороны



$$u_A = U_{MA} \sin \omega t,$$

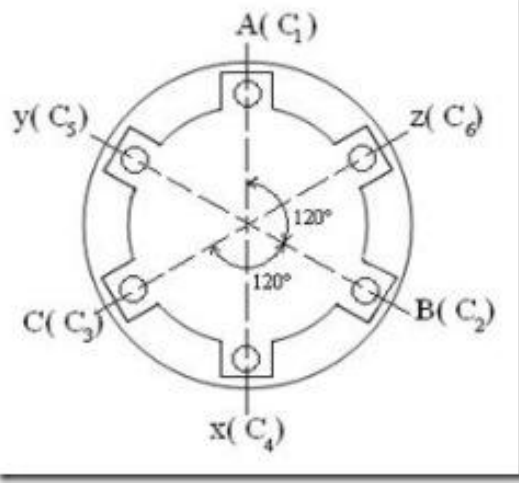
$$u_B = U_{MB} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right),$$

$$u_C = U_{MC} \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right),$$

где u_A – мгновенное значение напряжения в фазе А;

U_{MA} , U_{MB} , U_{MC} – амплитудные значения соответственно в фазах А, В, С.

Для двухфазной обмотки пространственный и временной сдвиг составляет 90° .



МДС трехфазной обмотки

Запишем МДС для каждой из трех фаз в виде пульсирующих волн, далее разложим их на прямую и обратную волны, затем сложим МДС трёх фаз и получим МДС трехфазной обмотки:

$$F_{A\tau x_1} = F_m \cdot \sin \omega t \cdot \cos \frac{x}{\tau} \pi = \frac{1}{2} F_m \sin \left(\omega t - \frac{x}{\tau} \pi \right) + \frac{1}{2} F_m \sin \left(\omega t + \frac{x}{\tau} \pi \right)$$

МДС фазы А

$$\begin{aligned} F_{B\tau x_1} &= F_m \cdot \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right) \cdot \cos \left(\frac{x}{\tau} \pi - \frac{2}{3} \pi \right) = \\ &= \frac{1}{2} F_m \sin \left(\omega t - \frac{x}{\tau} \pi \right) + \frac{1}{2} F_m \sin \left(\omega t + \frac{x}{\tau} \pi - \frac{4}{3} \pi \right) \end{aligned}$$

МДС фазы В

$$\begin{aligned} F_{C\tau x_1} &= F_m \cdot \sin \left(\omega t - \frac{4}{3} \pi \right) \cdot \cos \left(\frac{x}{\tau} \pi - \frac{4}{3} \pi \right) = \\ &= \frac{1}{2} F_m \sin \left(\omega t - \frac{x}{\tau} \pi \right) + \frac{1}{2} F_m \sin \left(\omega t + \frac{x}{\tau} \pi - \frac{2}{3} \pi \right) \end{aligned}$$

МДС фазы С

Сложим прямые волны и получим для 3-х фазной обмотки:

$$F_{tx(3)} = 1,5F_m \cdot \text{Sin}(\omega t - \pi \cdot x/\tau)$$

сумма обратных волн равна 0,

т.к. сдвиг на $\frac{2}{3}\pi$ и $\frac{4}{3}\pi$

МДС трехфазной обмотки есть сумма прямых волн, так что это бегущая волна, которая двигается вдоль зазора с синхронной скоростью и с постоянной амплитудой. Такая МДС создает вращающееся магнитное поле.

Три пульсирующие волны трех фаз создают в любой момент времени бегущую волну с постоянной амплитудой.

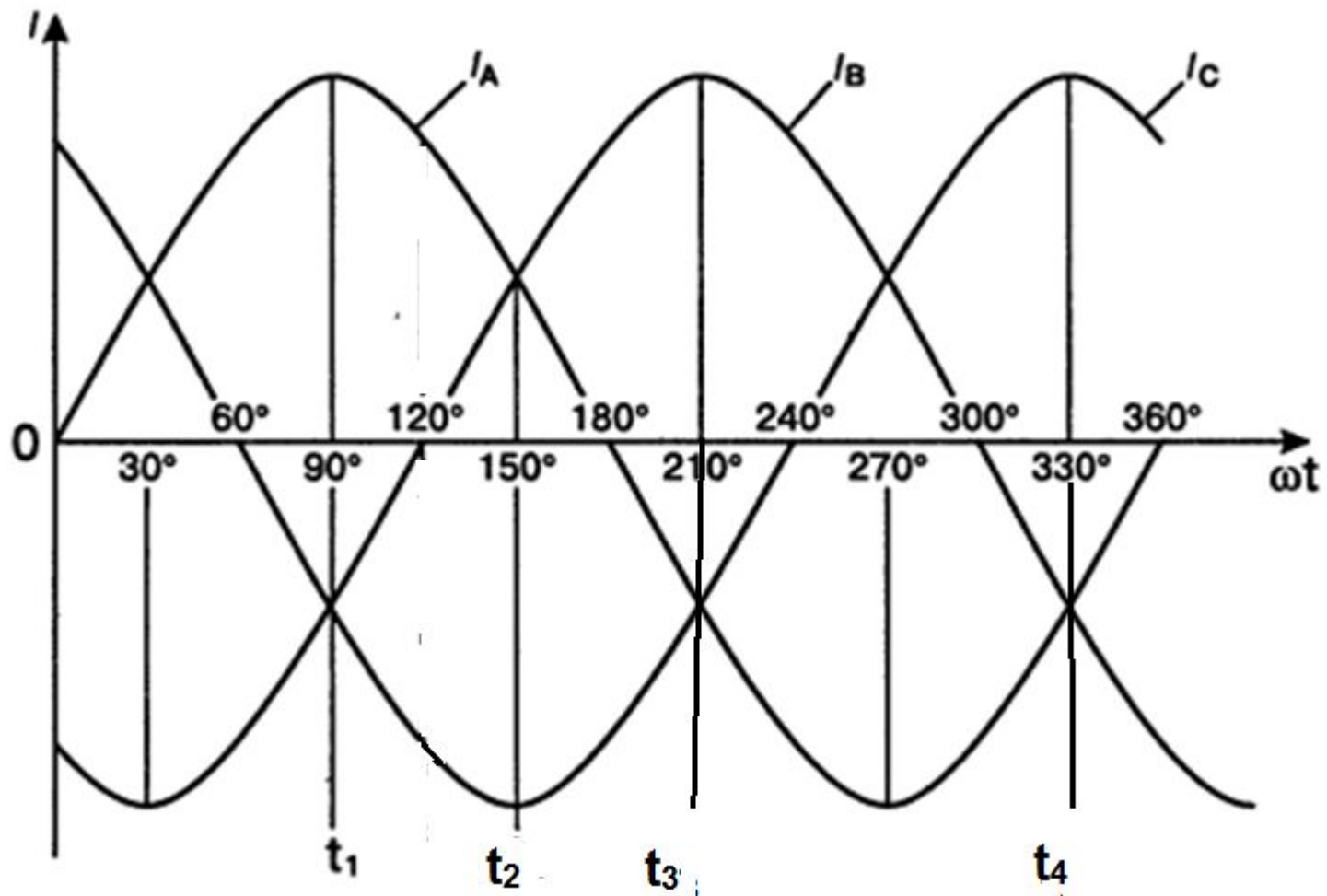


Рис.12. График токов трёхфазной обмотки

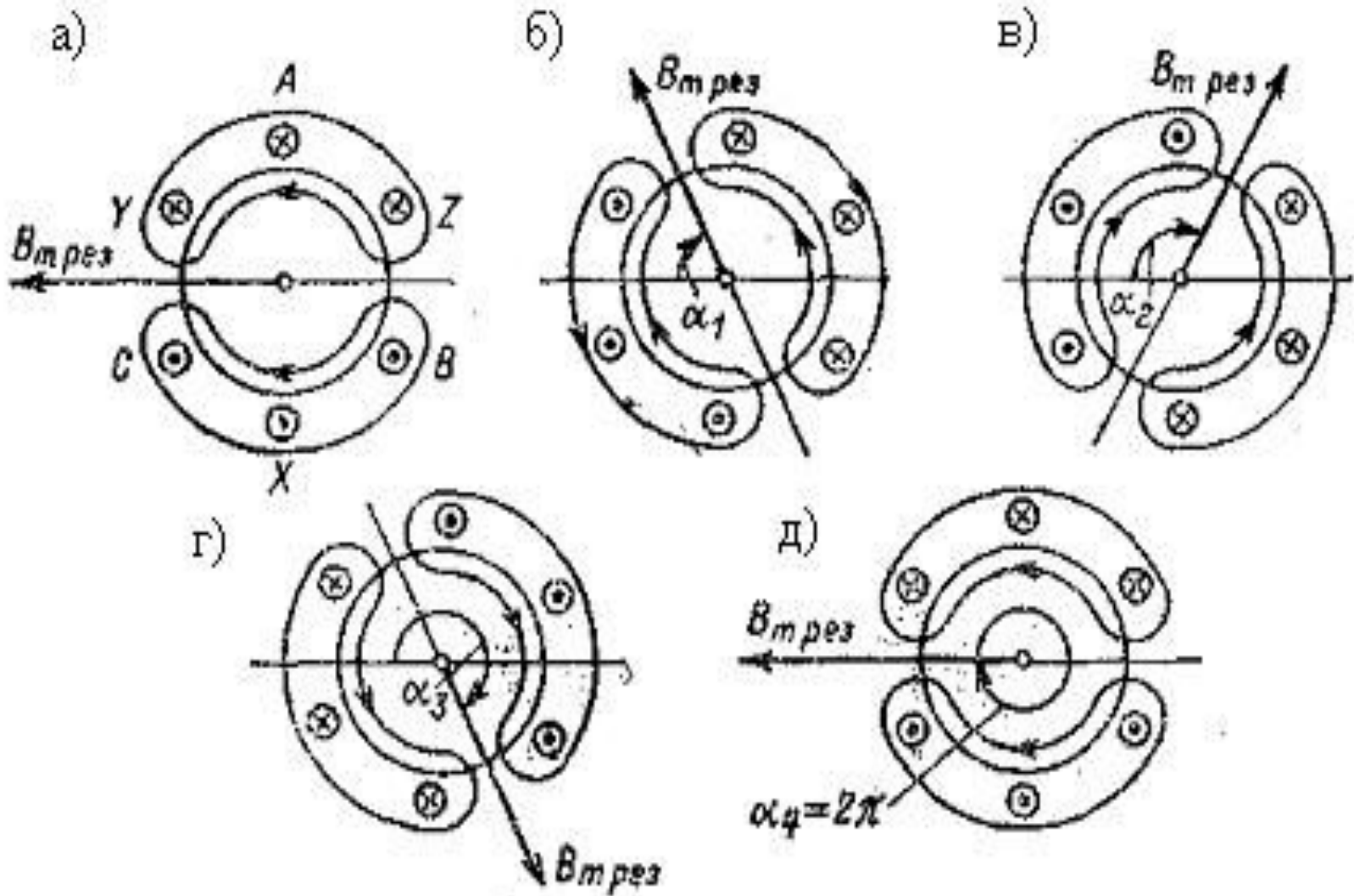
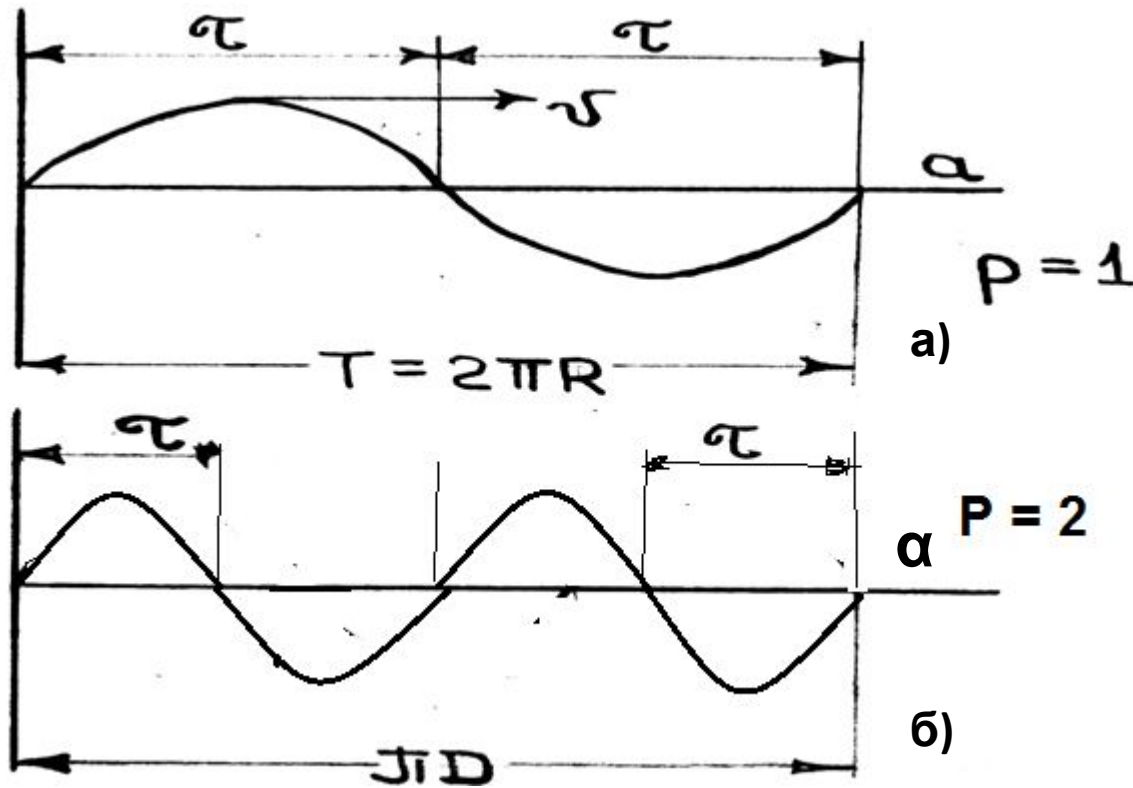


Рис.13.Результирующее поле ($B_{mрез}$) для моментов времени t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 ,рис.3.

Рис.14. Частота вращения вращающегося поля, n_1 [об/мин].



Известно: $f_1 = 1/T$ гц
 Линейная ск. волны:
 $v = 2\tau / T = 2\tau f_1$

Рис.14,а
 соответствует машине
 с одной парой
 полюсов: $p = 1$.

Частота вращения
 при $p=1$:
 $n_1 = 1/T$
 или $n_1 = f_1$ об/сек.

Рис.14,б соответствует p - полюсной машине, поэтому частоту
 вращения для общего случая получим: $n_1 = 1/T = f_1/p$ об/сек,
 где: $T = S/v$; $S = \pi D = 2\tau p$, $v = 2\tau f_1$
 сделав преобразование и
 умножив на 60, получим в об/мин:

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}, \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$