

# Общие вопросы теории электромеханического преобразования энергии в электрических машинах

---

## 2.1. ОБМОТКИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

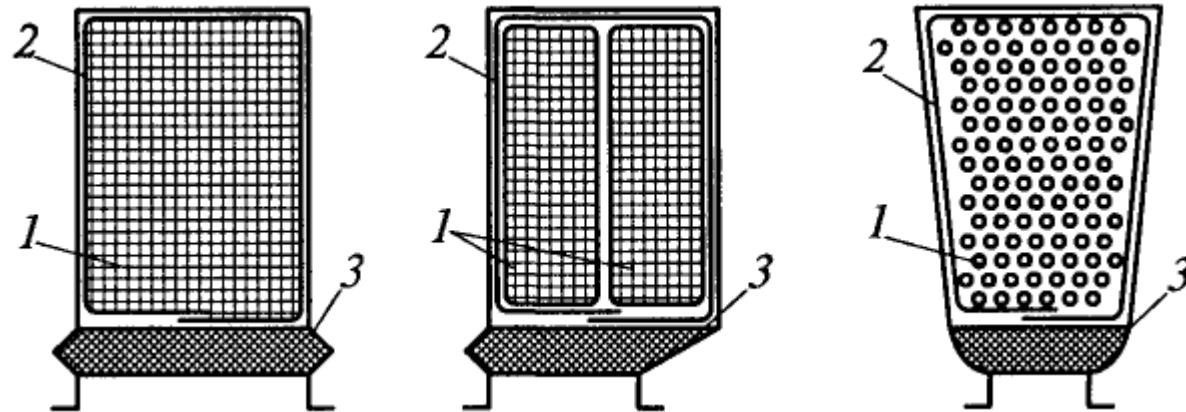
# Обмотки машин переменного тока

## Статор машины переменного тока

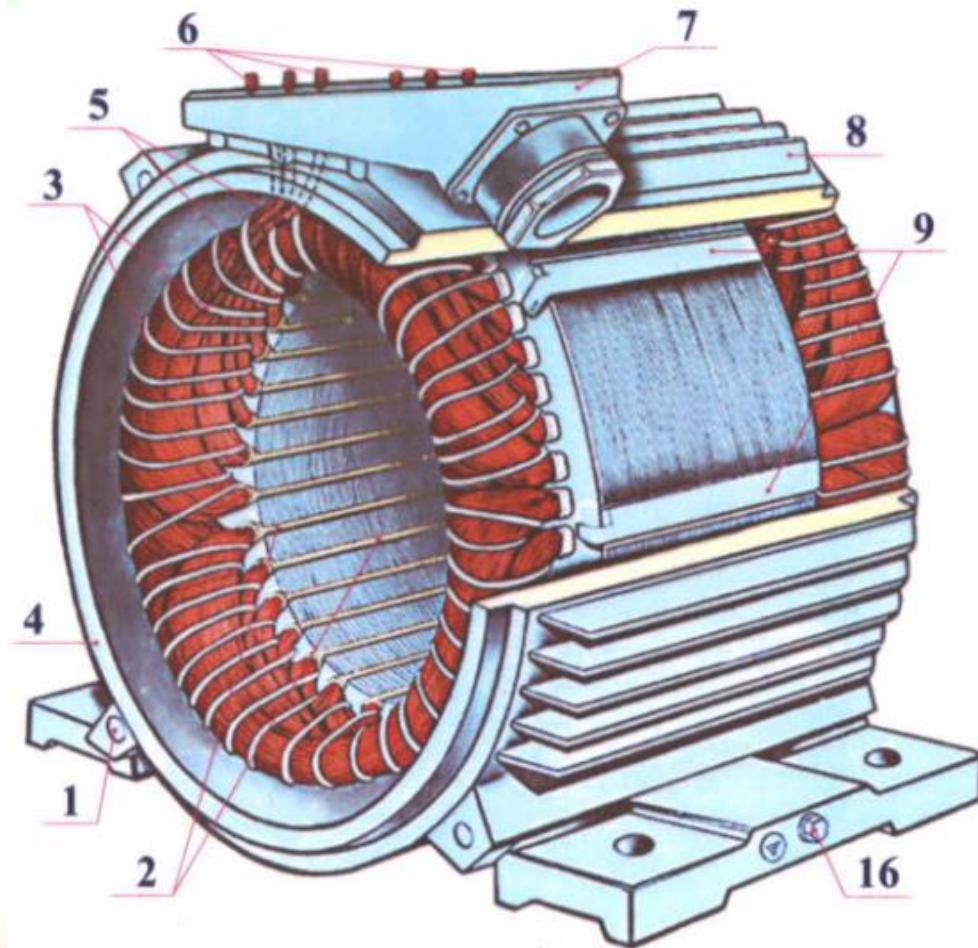
- сердечник (шихтованный) с пазами
- в пазах – распределенная многофазная обмотка

## Виды пазов

- открытые (ЭМ более 400 кВт и 650 В)
- полуоткрытые (ЭМ 100...400 кВт)
- полузакрытые (ЭМ до 100 кВт)
- [закрытые (на роторе)]

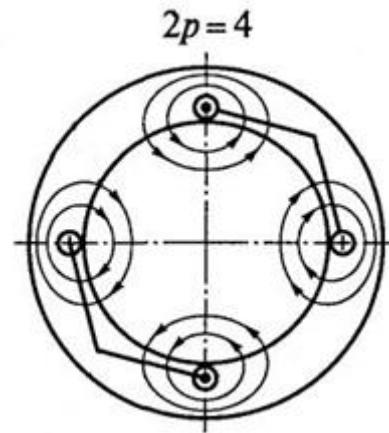
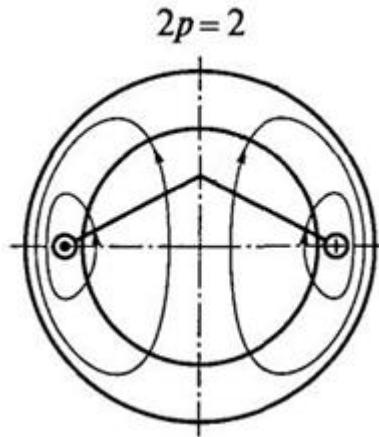


1 – проводники; 2 – изоляция; 3 – пазовый клин

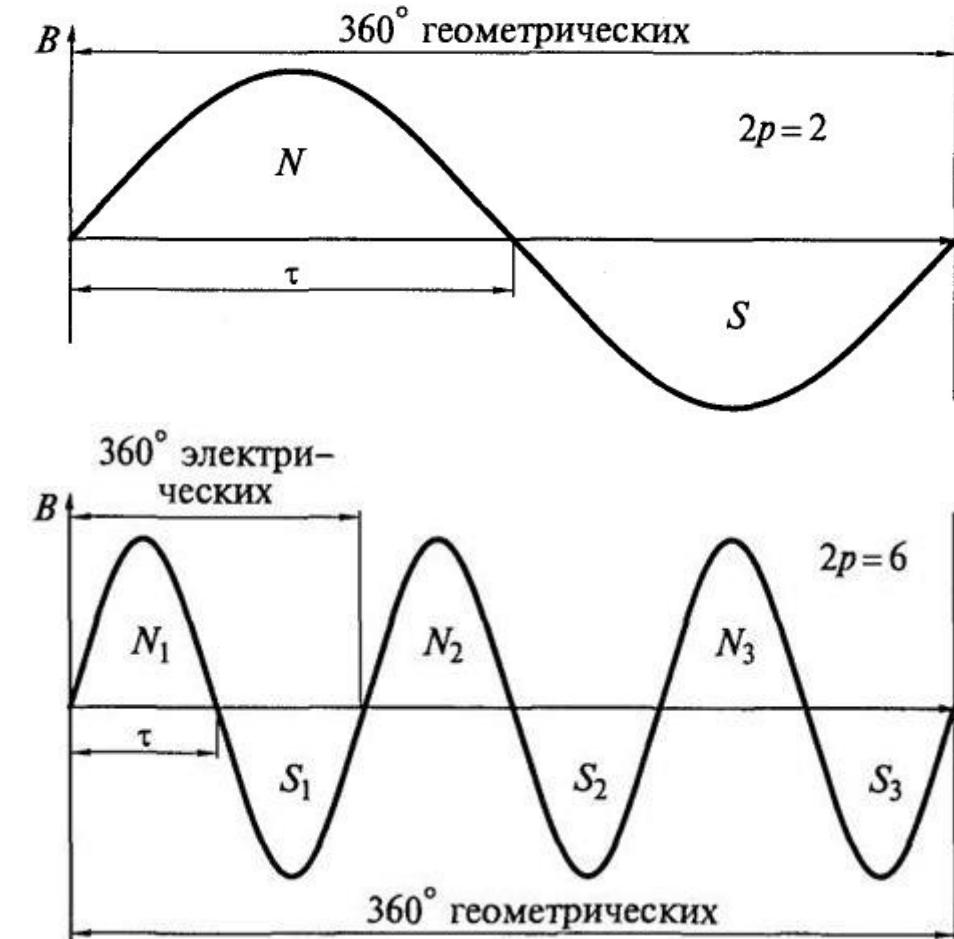


# Обмотки машин переменного тока

Период и число пар полюсов  $p$ , электрические градусы



$$\alpha_1 \text{ (эл. град.)} = p \cdot \alpha \text{ (геом. град.)}$$



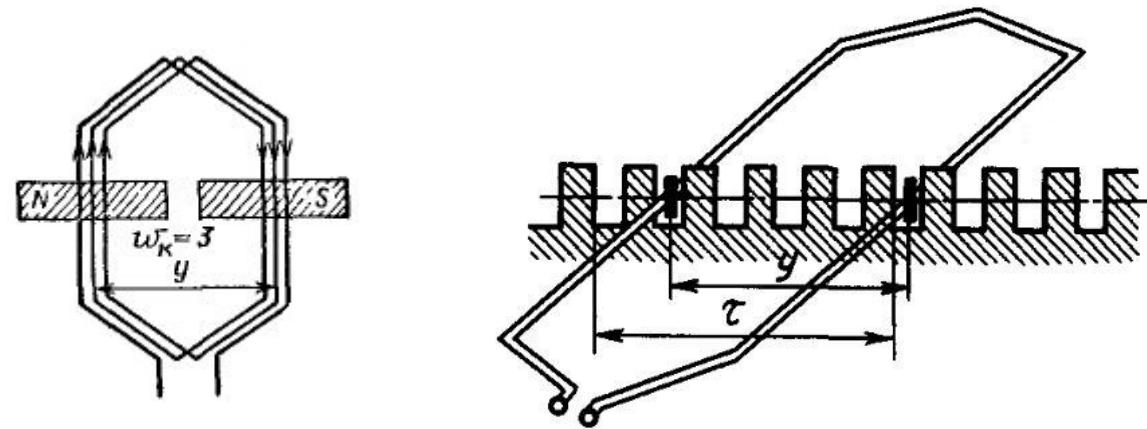
# Обмотки машин переменного тока

## Катушка (секция)

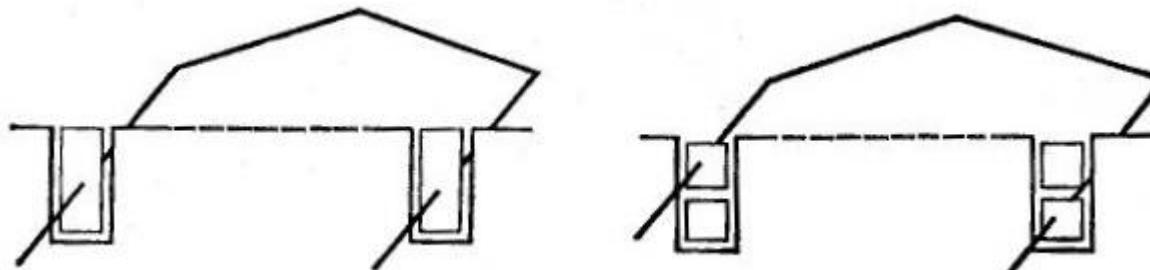
- одно/многовитковая ( $w_k$ )
- пазовая часть / лобовая часть
- шаг катушки  $y$
- полюсное деление  $\tau$

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} \quad t_z = \frac{\pi D}{Z} \quad \tau = \frac{Z}{2p}, \quad y \leq \tau$$

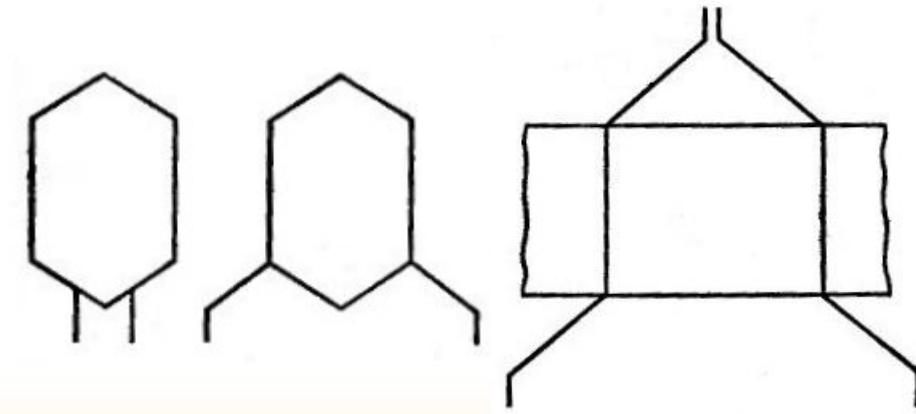
шаг диаметральный ( $y = \tau$ ) / укороченный ( $y < \tau$ )



## Однослочная / двухслойная обмотка



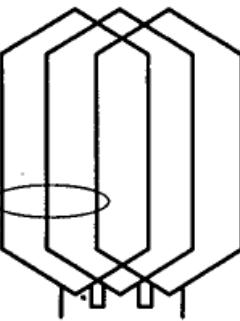
## Петлевая / волновая обмотка



# Обмотки машин переменного тока

## Катушечная группа

- $q$  – число пазов на полюс и фазу



## Период обмотки

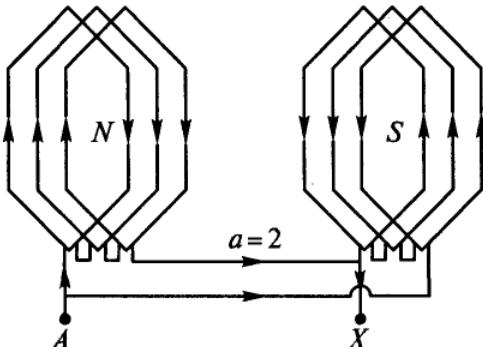
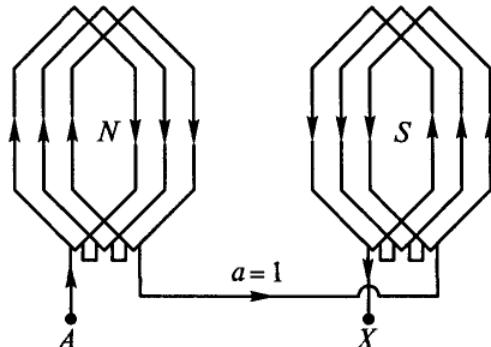
- [1 катушечная группа]
- 2 катушечные группы (вкл. встречно)

## Фаза обмотки

- $p$  периодов,  $2p$  полюсов

## Последовательное / параллельное соединение

- число параллельных ветвей  $a_{min} = 1$ ,  $a_{max} = 2p$



- число последовательных катуш.групп  $2p/a$

- число последовательно соединенных витков  $w = 2pqw_k/a$

## Многофазная обмотка

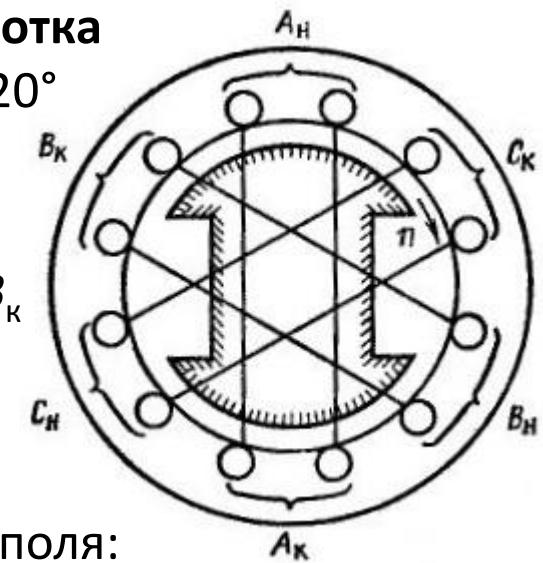
- $m$  одинаковых фаз
- со сдвигом на  $360^\circ/m$

## 3-фазная обмотка

- сдвиг на  $120^\circ$

$A_H - C_K - B_H - A_K - C_H - B_K$

$A - Z - B - X - C - Y$



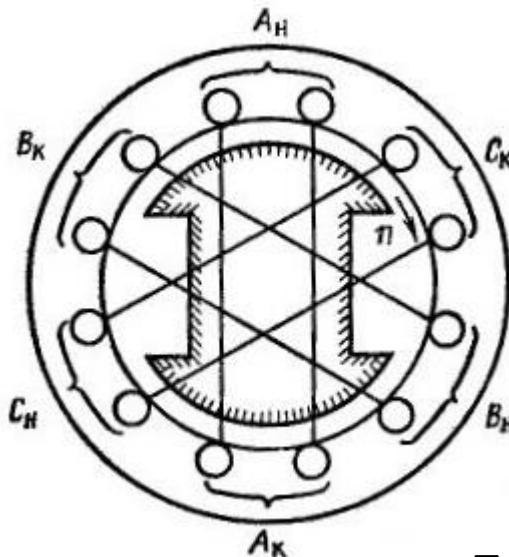
При вращении поля:

$E_{Amax}$  потом  $E_{Bmax}$  потом  $E_{Cmax}$  = период  
→ фазовый сдвиг  $E_A - E_B - E_C = 120^\circ$   
→ 3-фазная система ЭДС

# Обмотки машин переменного тока

## Пример: 3-фазная однослойная обмотка

- $m = 3, p = 1, q = 2$



$A_H - C_K - B_H - A_K - C_H - B_K$   
 $A - Z - B - X - C - Y$

Проблема – пересекающиеся лобовые части

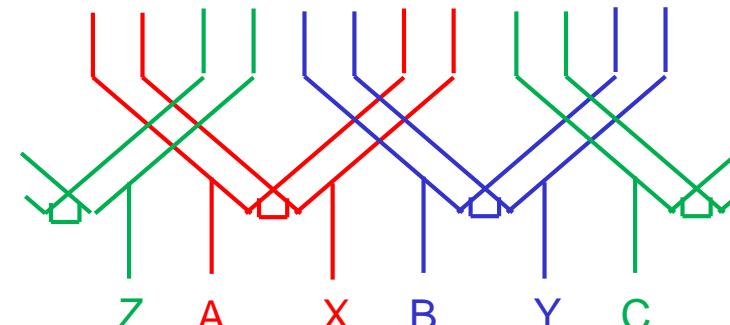
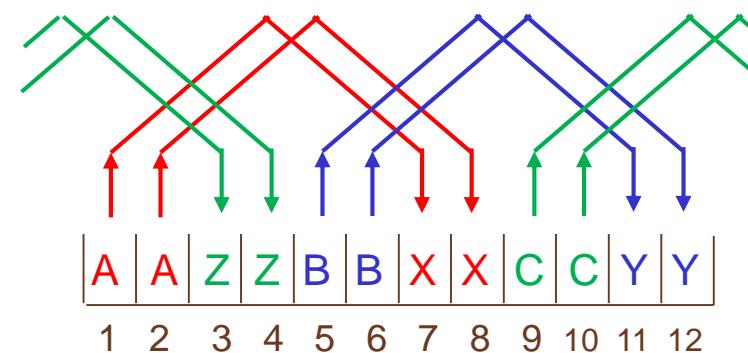
- Концентрические обмотки (двух- и трехплоскостные)
- Шаблонные обмотки (цепная)
- др.

## Схема обмотки

$$Z = 2pmq = 12$$

$$y = \tau = mq = 6 \quad q = 2$$

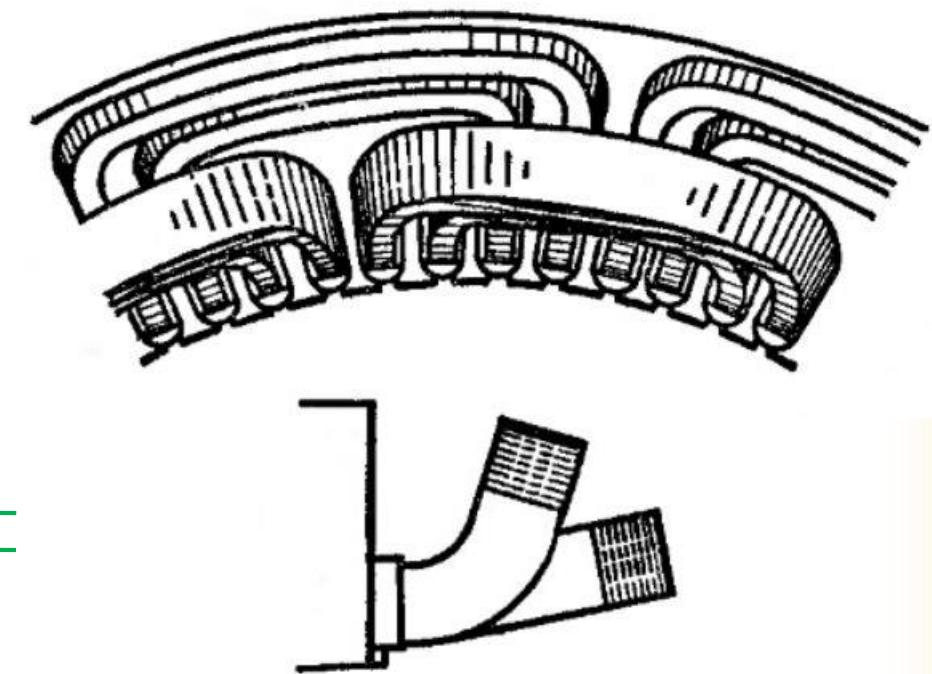
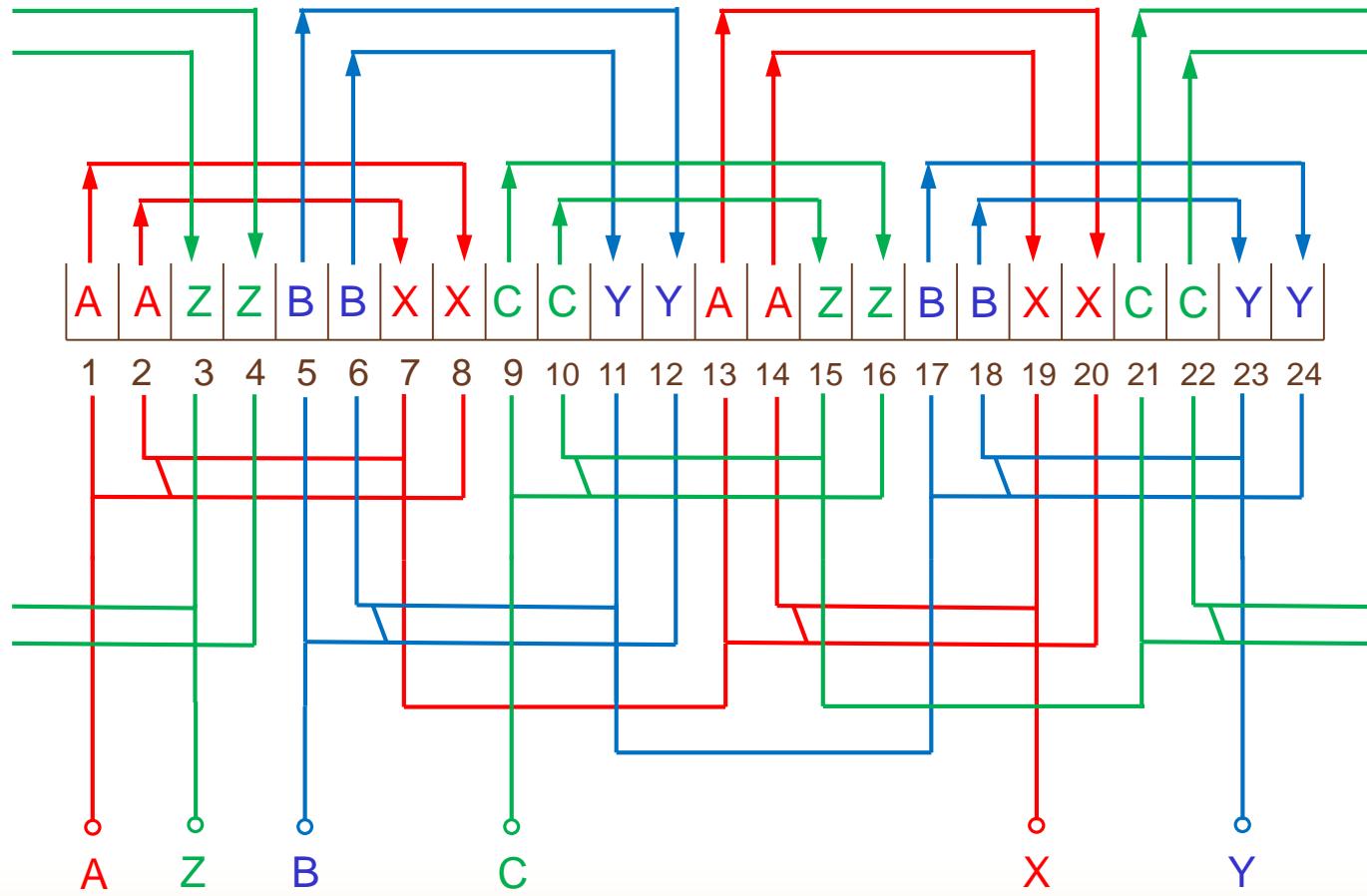
$$y_{BA} = 2\tau/3 = 4$$



# Обмотки машин переменного тока

Однослочная концентрическая обмотка (двухплоскостная)

- $m = 3, 2p = 4, q = 2$
- $Z = 2pmq = 24$

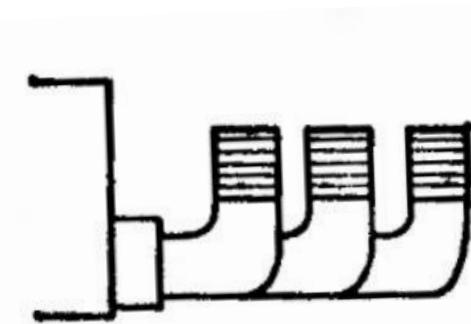
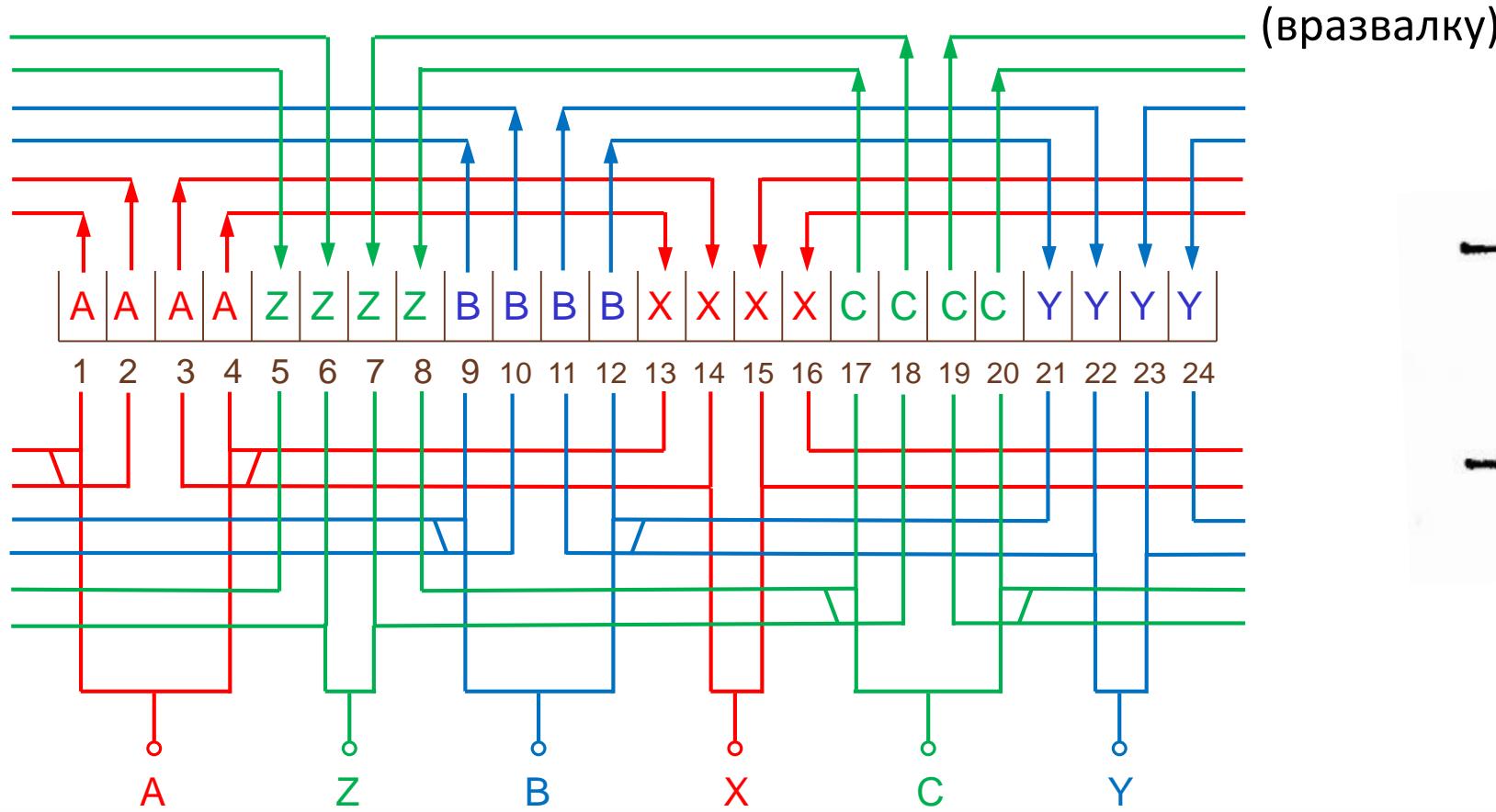


# Обмотки машин переменного тока

**Однослочная концентрическая обмотка (трехплоскостная)**

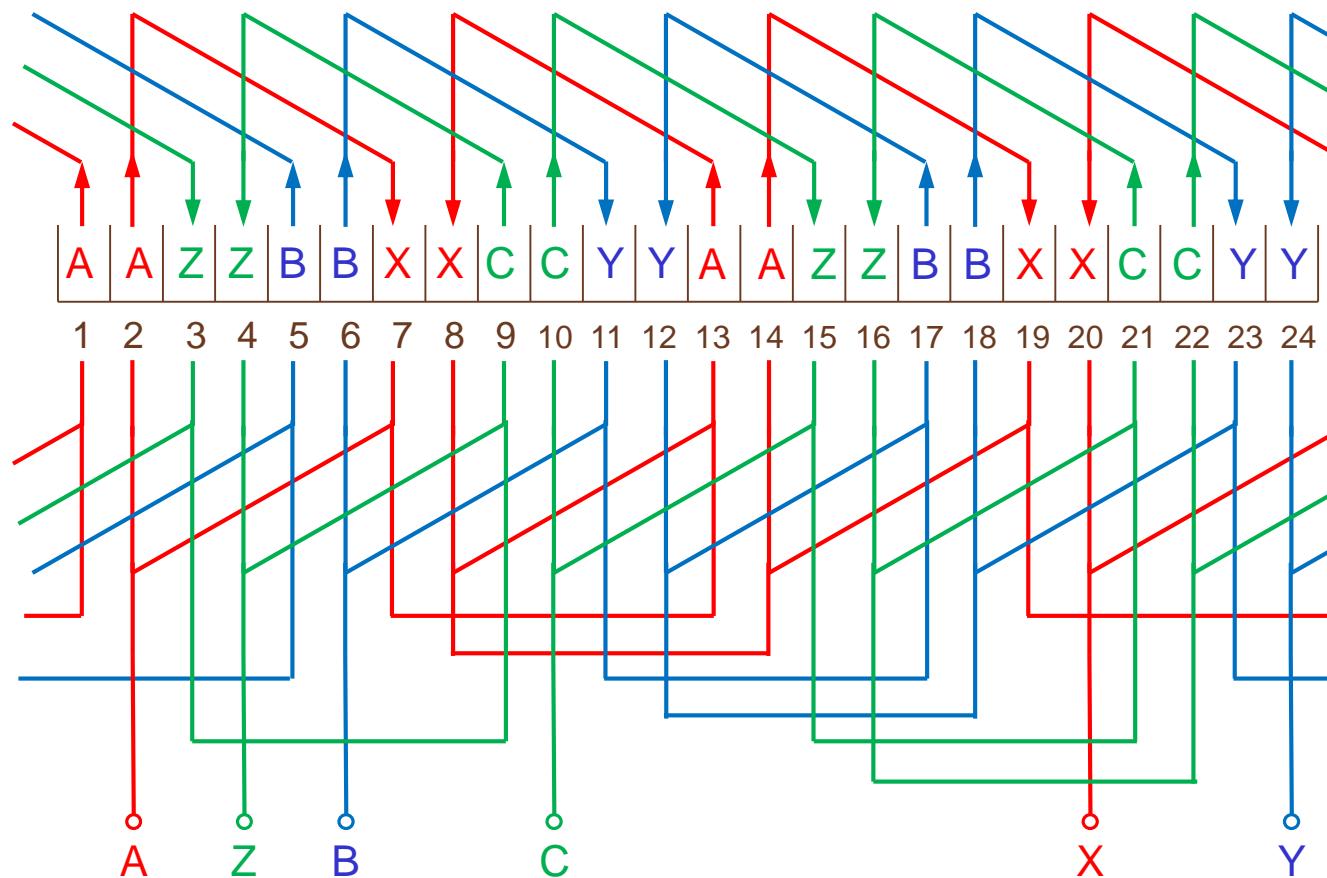
– при четном  $q$  половина катушек в одну сторону, половина – в другую

- $m = 3, 2p = 2, q = 4$
- $Z = 2pmq = 24$



# Обмотки машин переменного тока

## Однослочная шаблонная обмотка (цепная)



- $m = 3, 2p = 4, q = 2$
- $Z = 2pmq = 24$

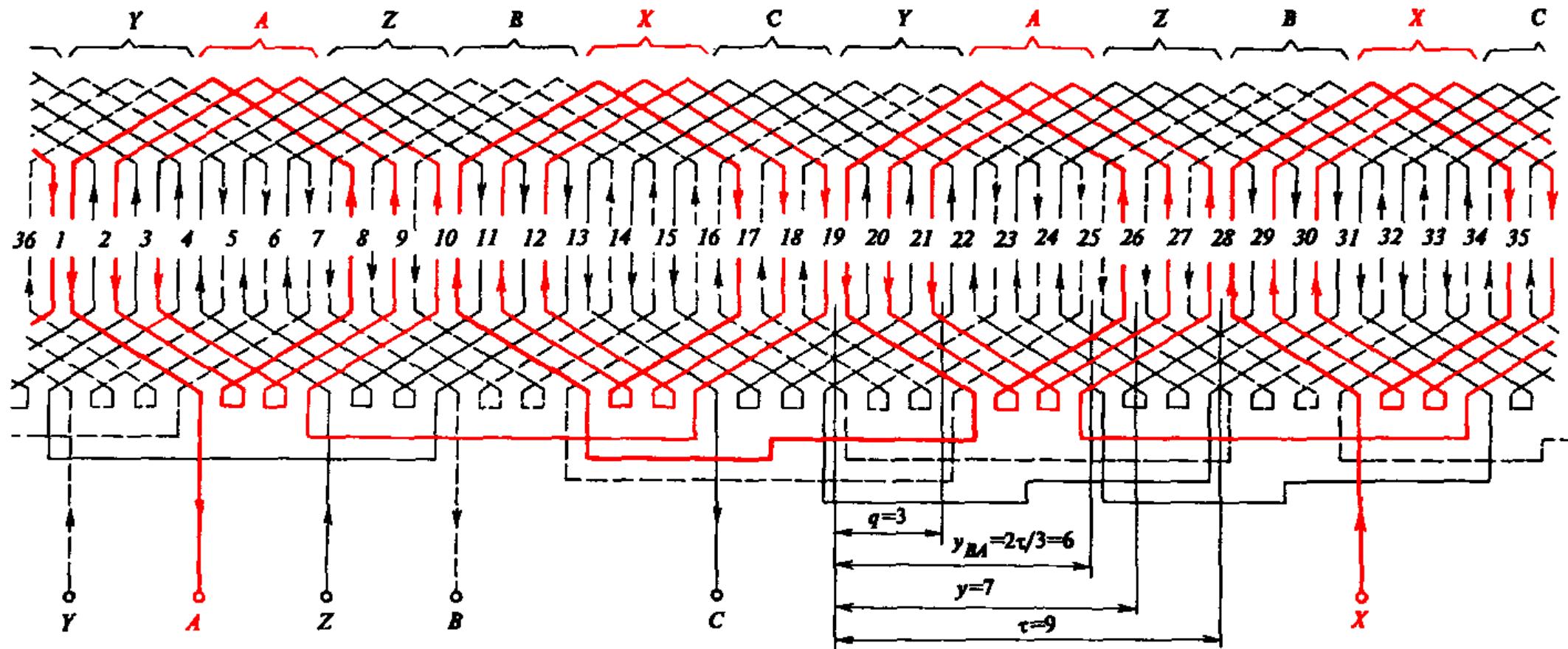
Удобно для  
автоматической  
укладки

# Обмотки машин переменного тока

Пример: 3-фазная двухслойная обмотка

- $m = 3, p = 2, q = 3, y = 7, a = 1$

- $Z = 2pmq = 36, \tau = mq = 9, y_{BA} = 2\tau/m = 6$



# Обмотки машин переменного тока

**Пример: 3-фазная двухслойная обмотка**

- $m = 3, p = 2, q = 3, y = 7$

$$Z = 2pmq = 36$$

$$q = 3$$

$$p = 2$$

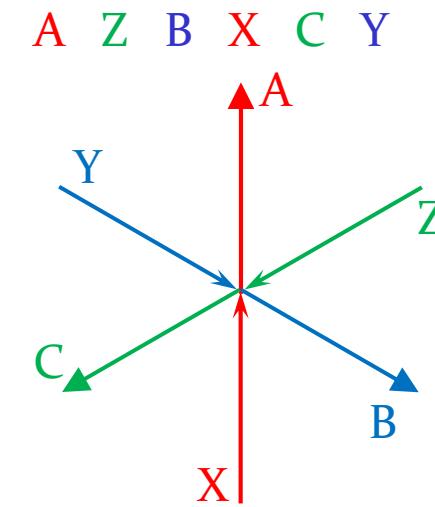
верхний слой

$$y = 7$$

нижний слой

A	A	A	Z	Z	Z	B	B	B	X	X	X	C	C	C	Y	Y	Y	A	A	A	Z	Z	Z	B	B	B	X	X	X	C	C	C	Y	Y	Y
A	Z	Z	Z	B	B	B	X	X	X	C	C	C	Y	Y	Y	A	A	A	Z	Z	Z	B	B	B	X	X	X	C	C	C	Y	Y	A	A	

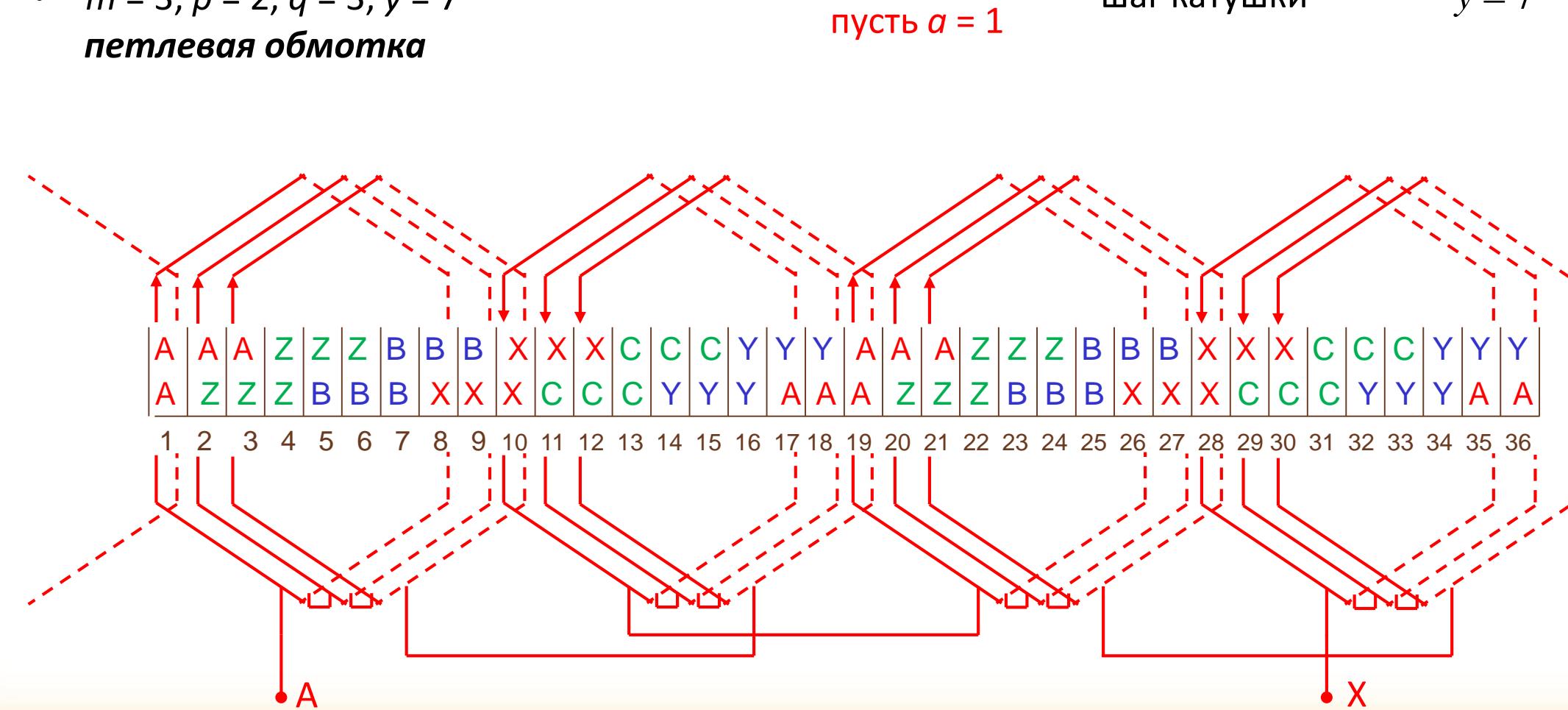
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36



# Обмотки машин переменного тока

**Пример: 3-фазная двухслойная обмотка**

- $m = 3, p = 2, q = 3, y = 7$
- петлевая обмотка**



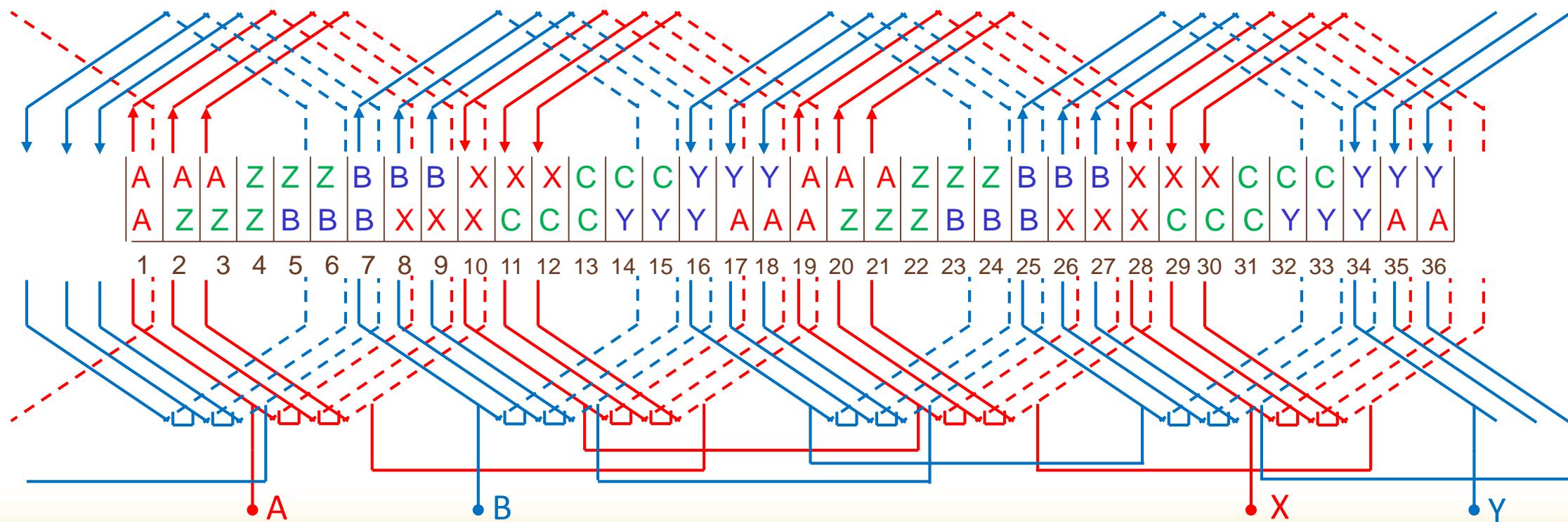
# Обмотки машин переменного тока

**Пример: 3-фазная двухслойная обмотка**

- $m = 3, p = 2, q = 3, y = 7$
- петлевая обмотка**

пусть  $a = 1$

полюсное деление  $\tau = mq = 9$   
шаг катушки  $y = 7$   
сдвиг между фазами  $y_{AB} = \frac{2}{3}\tau = 6$



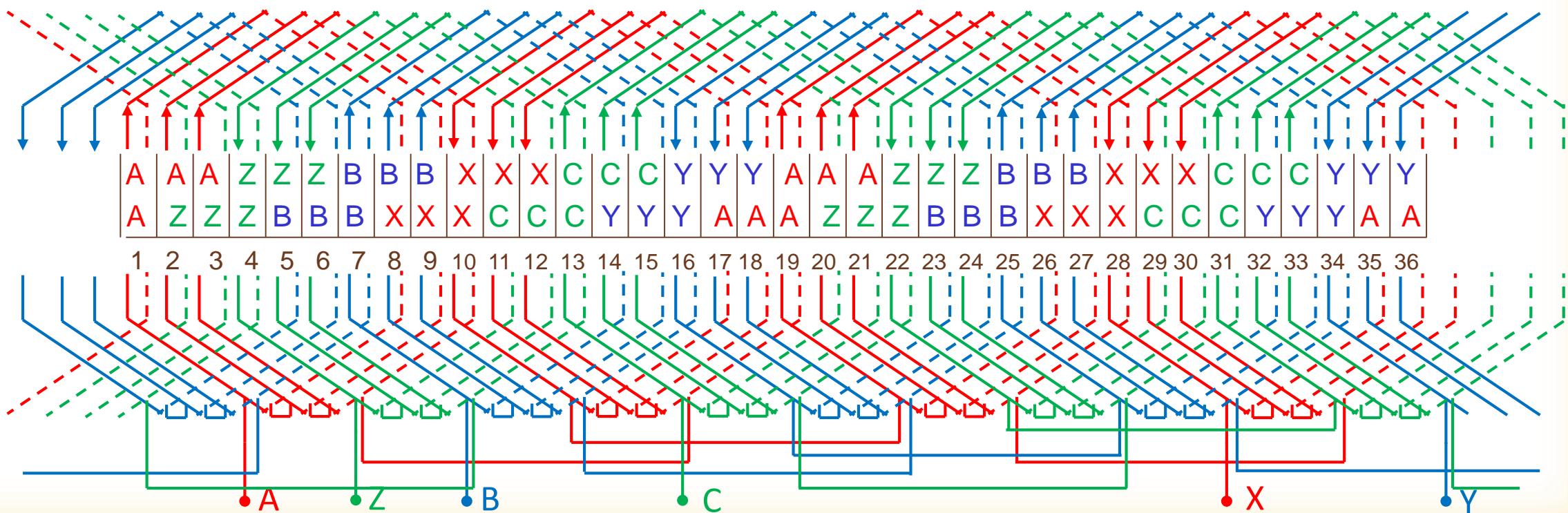
# Обмотки машин переменного тока

**Пример: 3-фазная двухслойная обмотка**

- $m = 3, p = 2, q = 3, y = 7$
- петлевая обмотка**

пусть  $a = 1$

полюсное деление  $\tau = mq = 9$   
 шаг катушки  $y = 7$   
 сдвиг между фазами  $y_{AB} = \frac{2}{3}\tau = 6$   
 $y_{BC} = y_{AB} = 6$



# Обмотки машин переменного тока

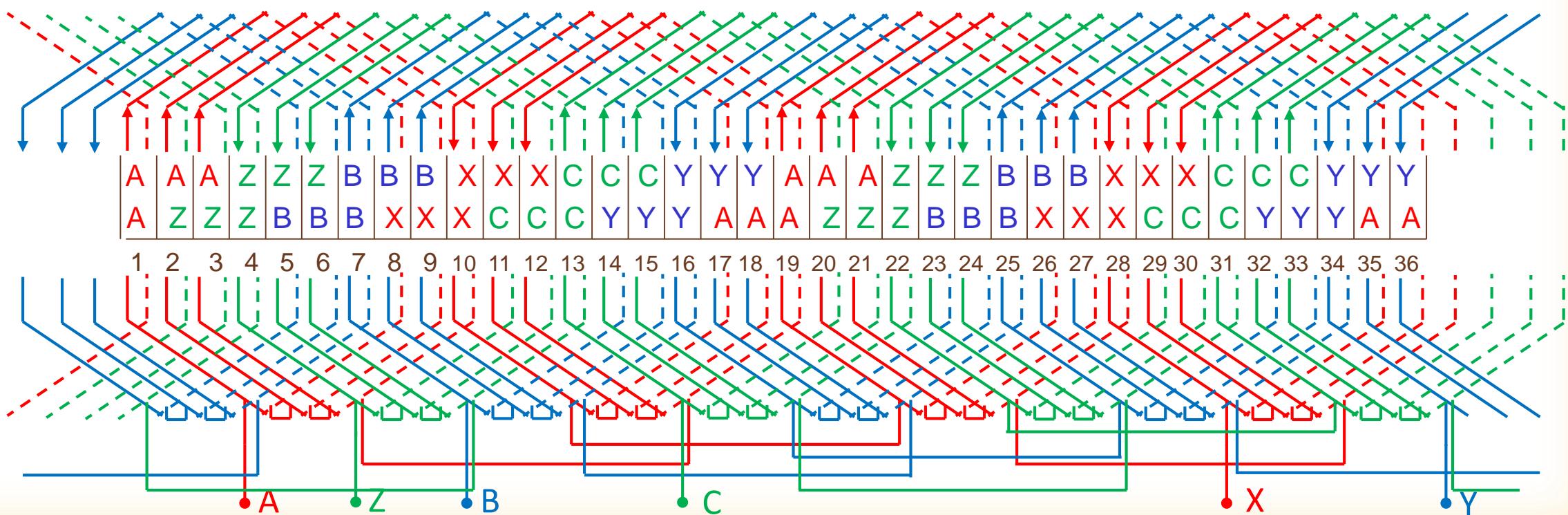
## Число параллельных ветвей ( $a$ )

- ток параллельной ветви – до 150 А
- все параллельные ветви – одинаковы  
(одинаковое  $R$ , одинаковый ток  $I_a$ )

$$a_{\min} = 1$$

$$a_{\max} = [\text{число катушечных групп} = 2p]$$

В данном примере возможно  $a = 1; 2; 4$

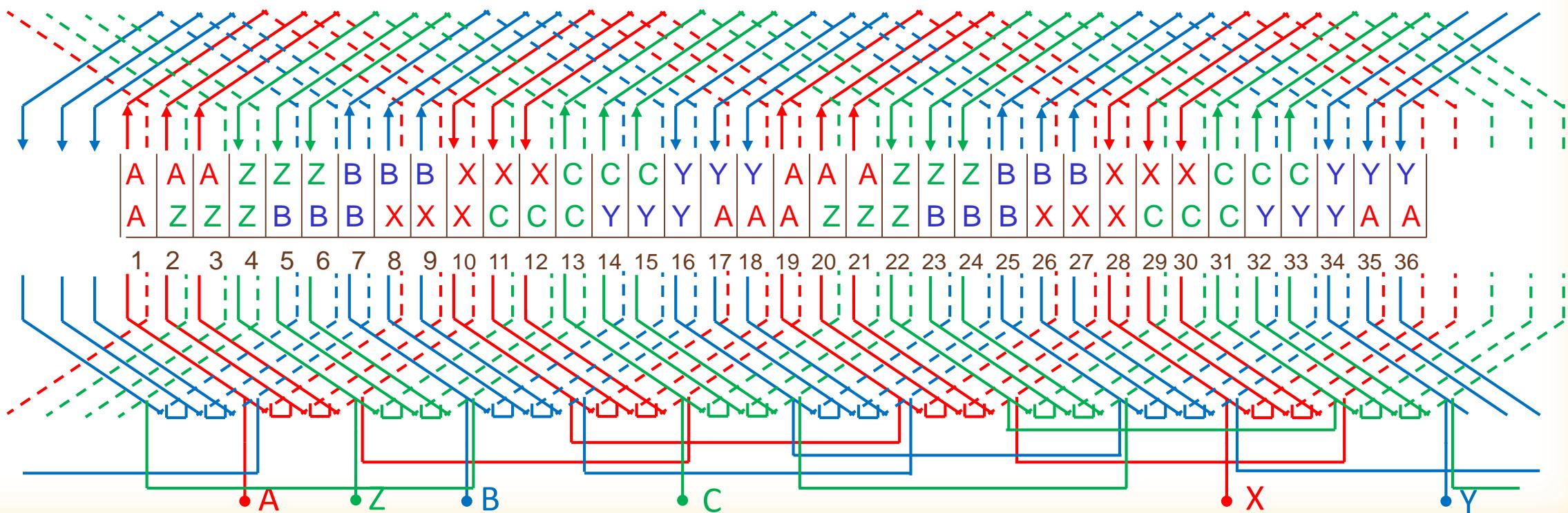


# Обмотки машин переменного тока

## Число последовательно соединенных витков в фазе

- число витков в катушке –  $w_k$
- число катушек в катушечной группе –  $q$
- число катушечных групп –  $2p$
- число параллельных ветвей –  $a$

$$w = \frac{2p}{a} q w_k$$



# Обмотки машин переменного тока

## Волновая обмотка

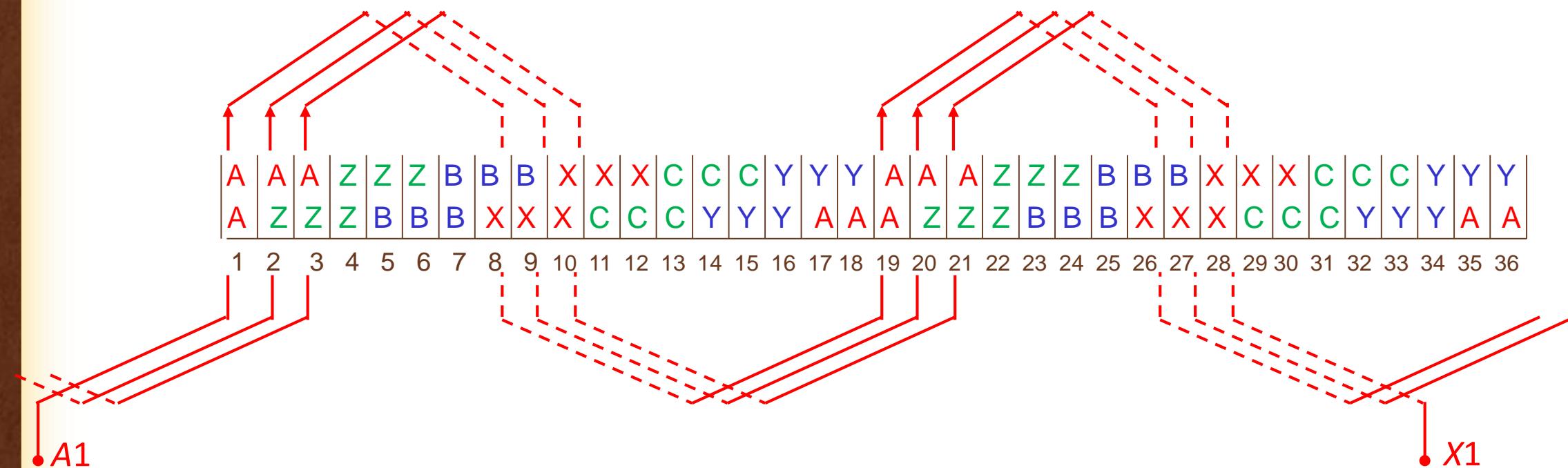
- $m = 3, p = 2, q = 3, y = 7$   
(в многополюсных машинах –  
экономия меди на  
межкатушечных соединениях)

Прямой обход  $A1 \rightarrow X1$

первая волна:  $y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow \dots \rightarrow (2\tau-y+1)$

вторая волна:  $y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow \dots \rightarrow (2\tau-y+1)$

$q$  волна:  $y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow \dots A1 \rightarrow X1$



# Обмотки машин переменного тока

## Волновая обмотка

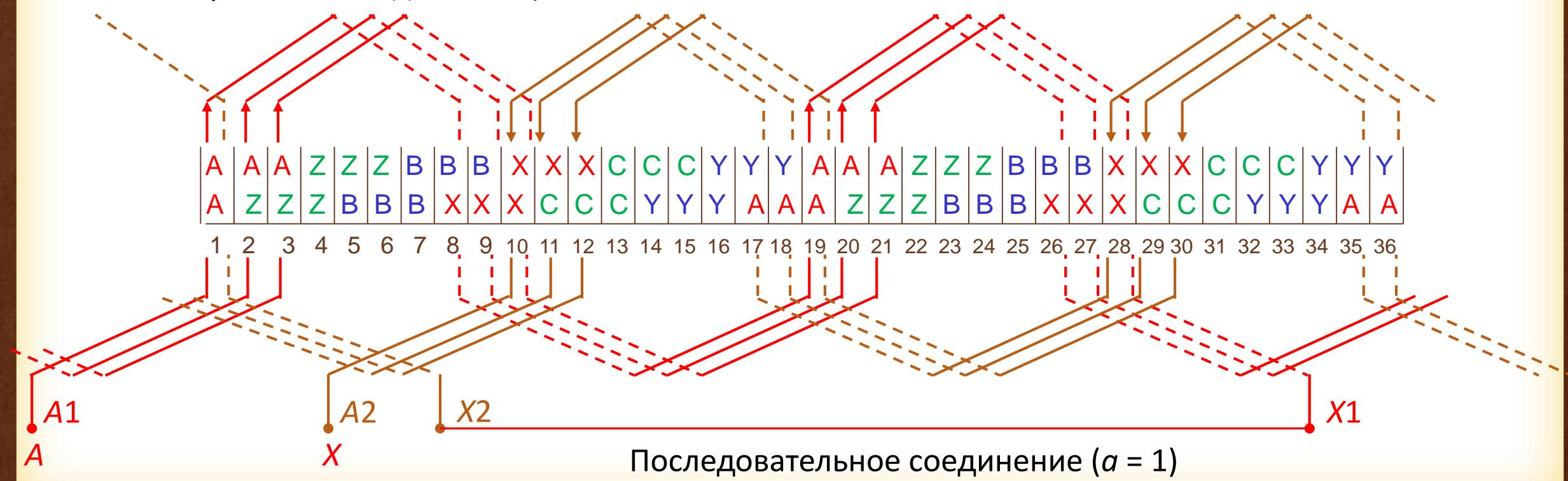
- $m = 3, p = 2, q = 3, y = 7$   
(в многополюсных машинах –  
экономия меди на  
межкатушечных соединениях)

*Обратный обход  $A2 \rightarrow X2$  (обратный ток и сдвиг на  $\tau$ )*

первая волна:  $y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow \dots \rightarrow (2\tau-y+1)$

вторая волна:  $y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow \dots \rightarrow (2\tau-y+1)$

$q$  волна:  $y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow y \rightarrow (2\tau-y) \rightarrow \dots A2 \rightarrow X2$



# Обмотки машин переменного тока

Фазы *B* и *C* – аналогично со сдвигом  $2/3 \tau$

Число параллельных ветвей

- $a_{\min} = 1$
- $a_{\max} = 2$

Число последовательно соединенных витков в фазе

- число витков в катушке –  $w_k$
- число катушек в волне –  $p$
- число волн в обходе –  $q$  (обходов – 2)
- число параллельных ветвей –  $a$

$$w = \frac{2pqw_k}{a}$$

