

Общие вопросы теории электрохимического преобразования энергии в электрических машинах



2.1. ОБМОТКИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

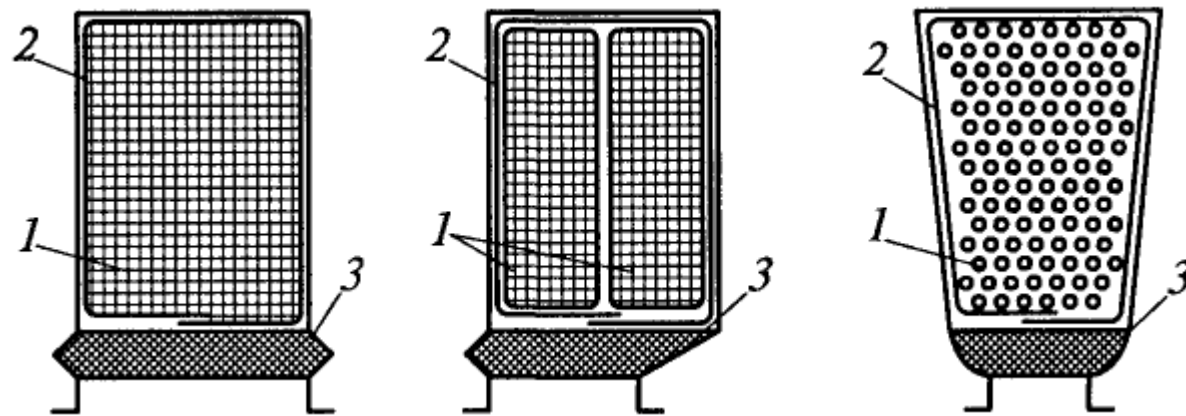
Обмотки машин переменного тока

Статор машины переменного тока

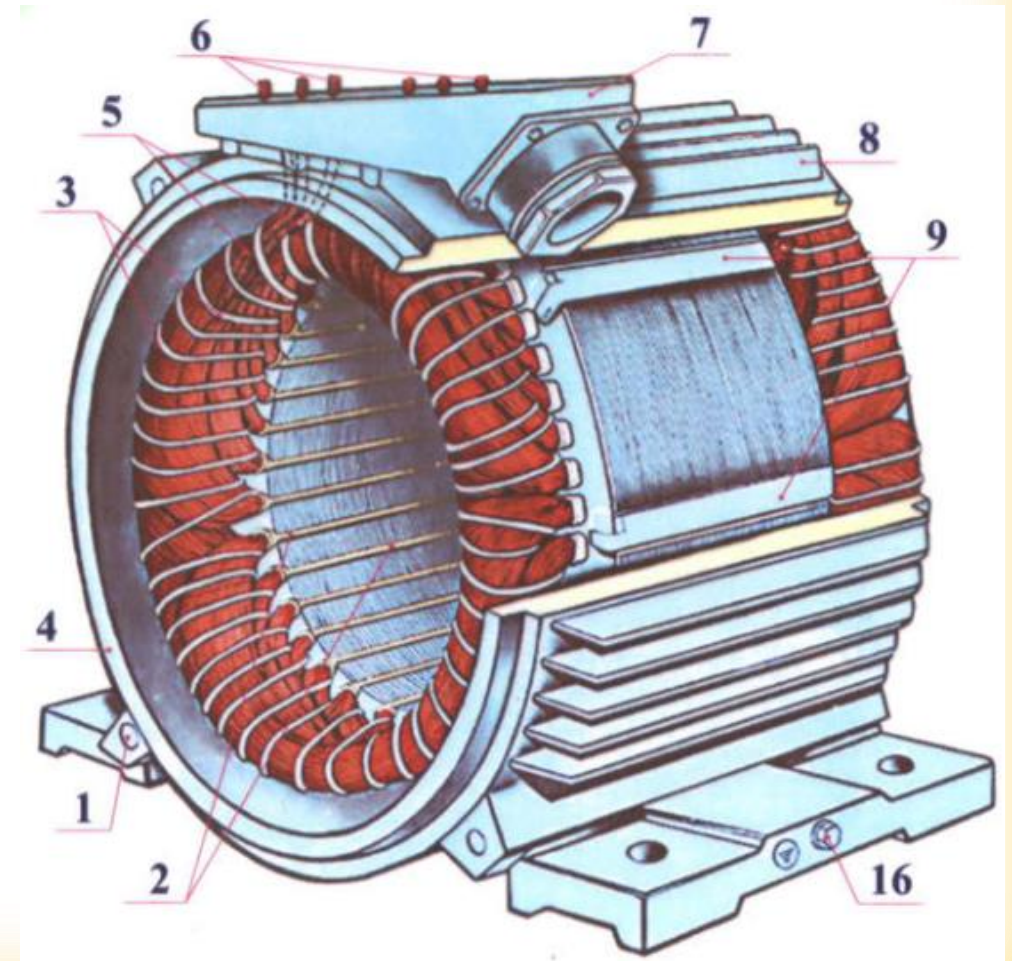
- сердечник (шихтованный) с пазами
- в пазах – распределенная многофазная обмотка

Виды пазов

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

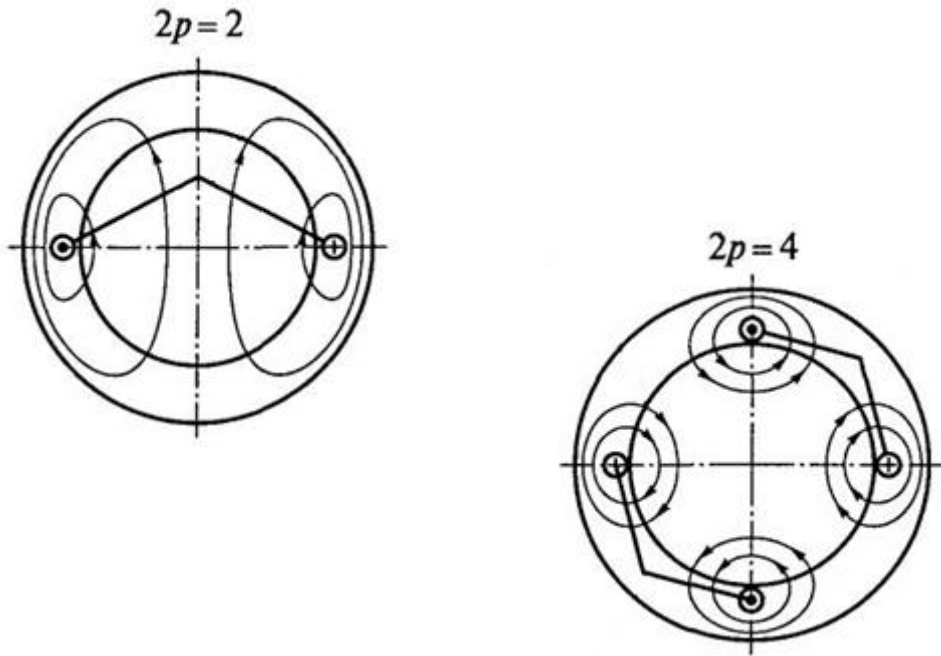


1 – проводники; 2 – изоляция; 3 – пазовый клин

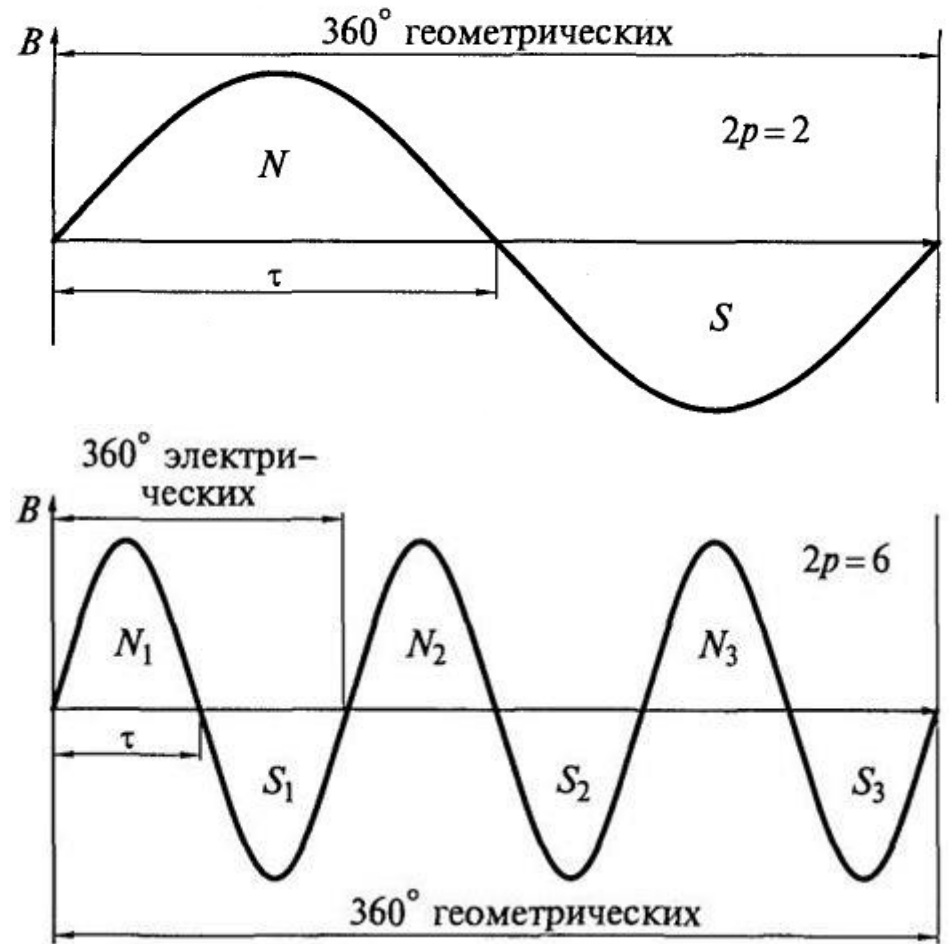


Обмотки машин переменного тока

Период и число пар полюсов p , электрические градусы



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



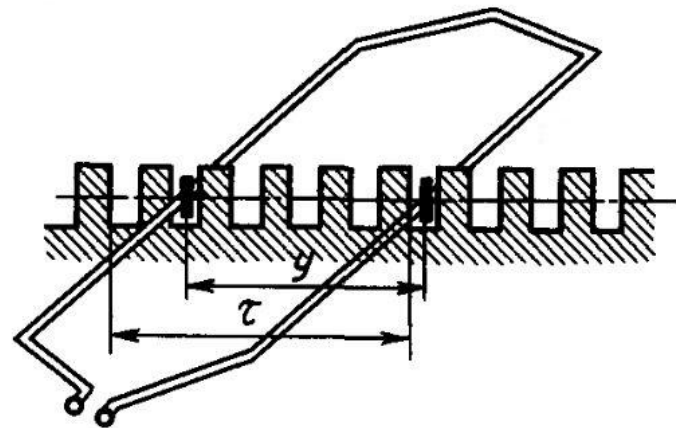
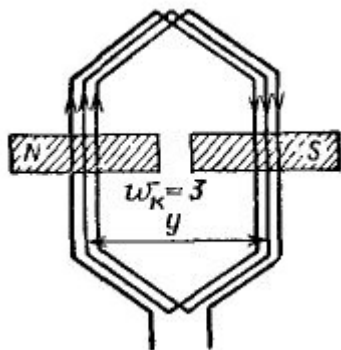
Обмотки машин переменного тока

Катушка (секция)

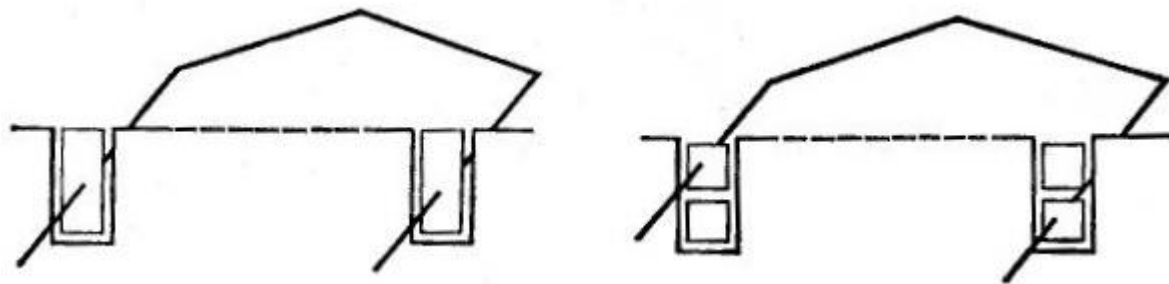
- одно/многовитковая (w_k)
- пазовая часть / лобовая часть
- шаг катушки y
- полюсное деление τ

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

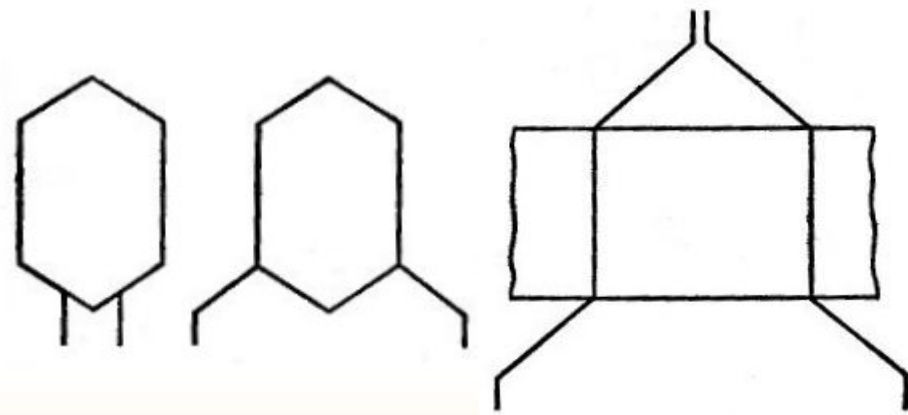
шаг диаметральный ($y = \tau$) / укороченный ($y < \tau$)



Однослойная / двухслойная обмотка



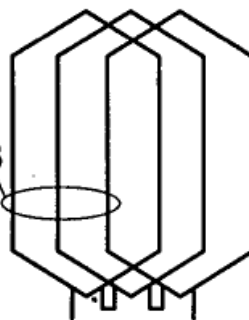
Петлевая / волновая обмотка



Обмотки машин переменного тока

Катушечная группа

- q – число пазов на полюс и фазу $q=3$



Период обмотки

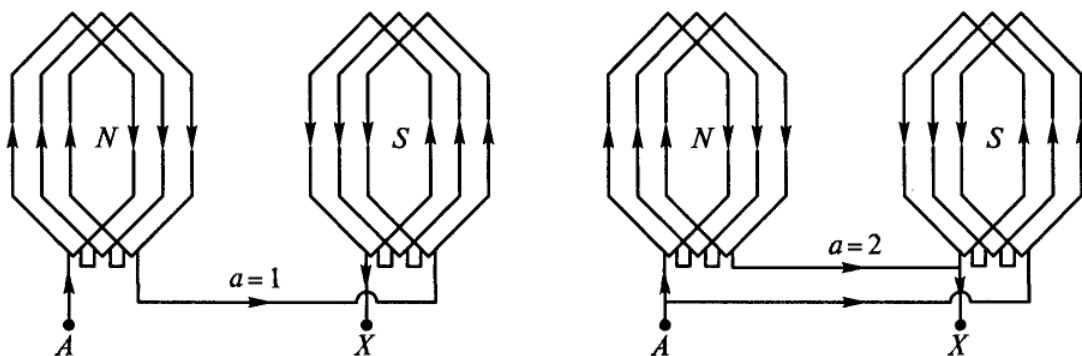
- [1 катушечная группа]
- 2 катушечные группы (вкл.встречно)

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°



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

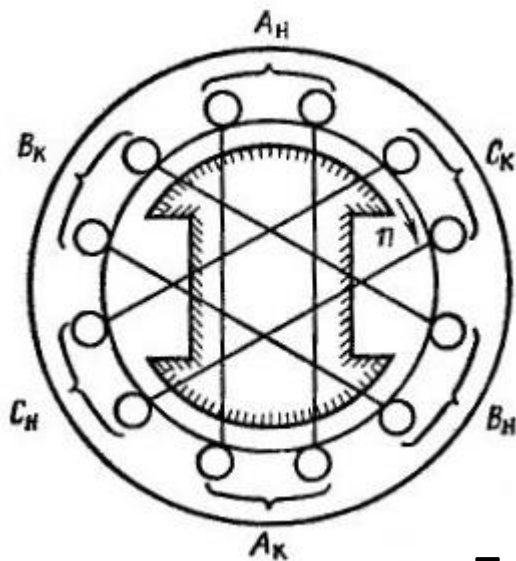
При вращении поля:

E_{Amax} потом E_{Bmax} потом E_{Cmax} = период
 \rightarrow фазовый сдвиг $E_A - E_B - E_C = 120^\circ$
 \rightarrow 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

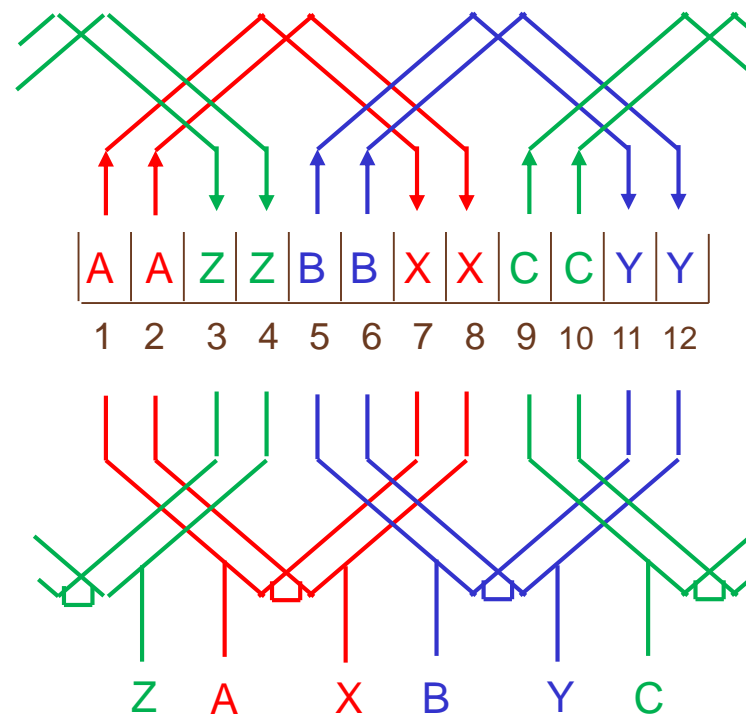
- Концентрические обмотки (двух- и трехплоскостные)
- Шаблонные обмотки (цепная)
- др.

Схема обмотки

$$Z = 2pmq = 12$$

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

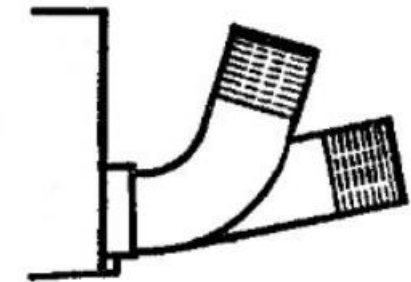
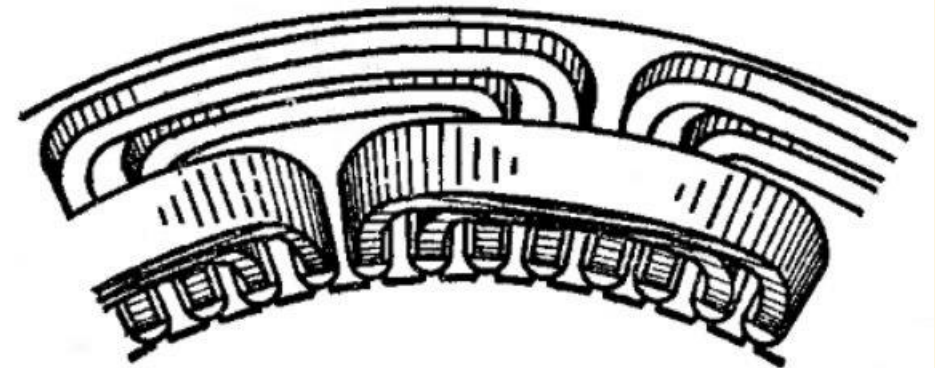
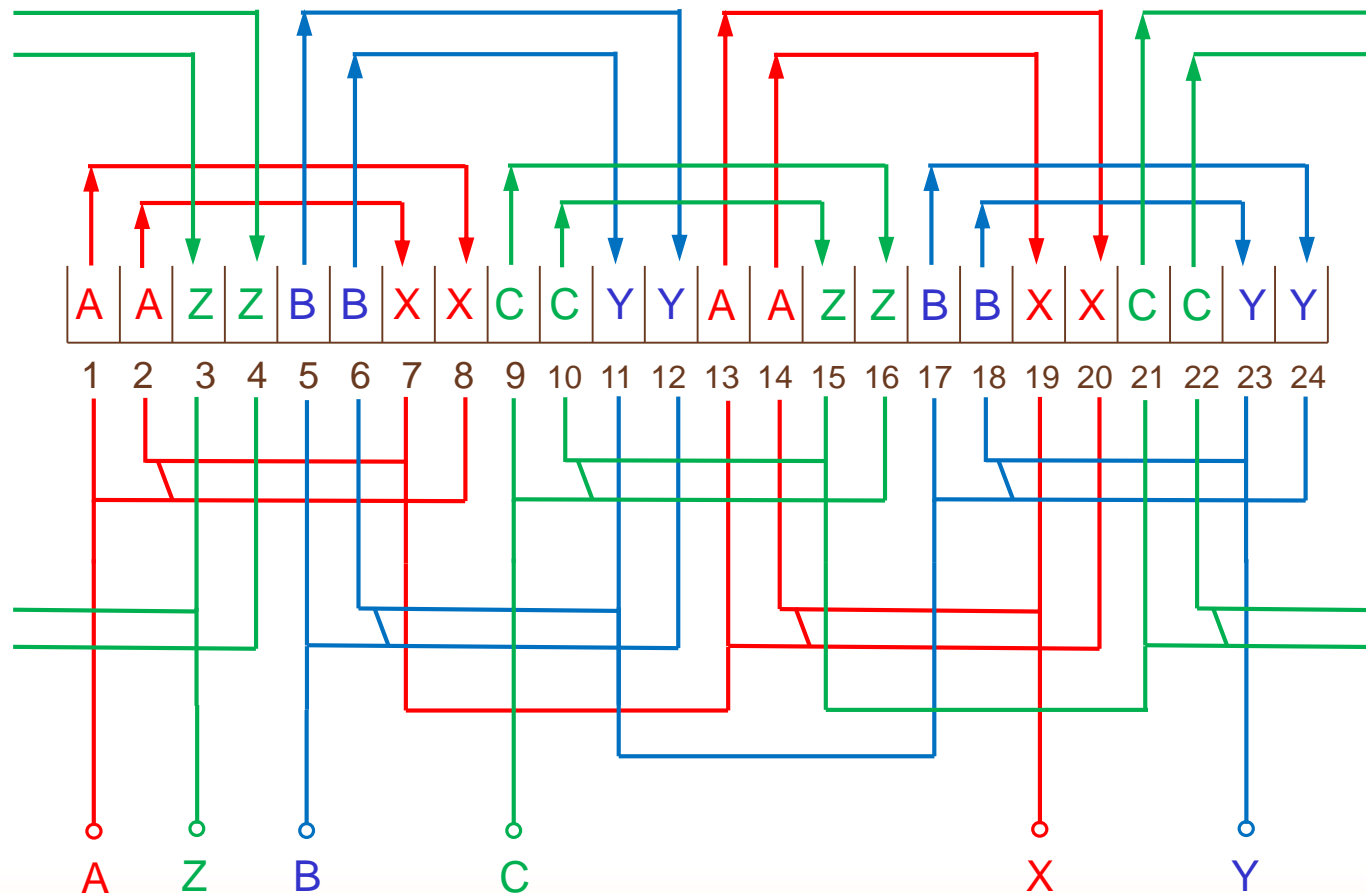
$$y_{BA} = 2\tau/3 = 4$$



Обмотки машин переменного тока

Однослойная концентрическая обмотка (двухплоскостная)

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

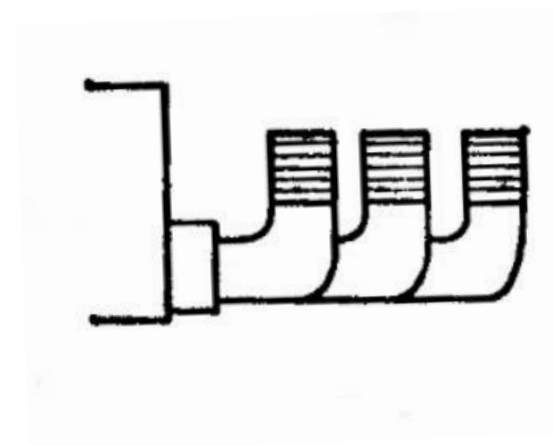
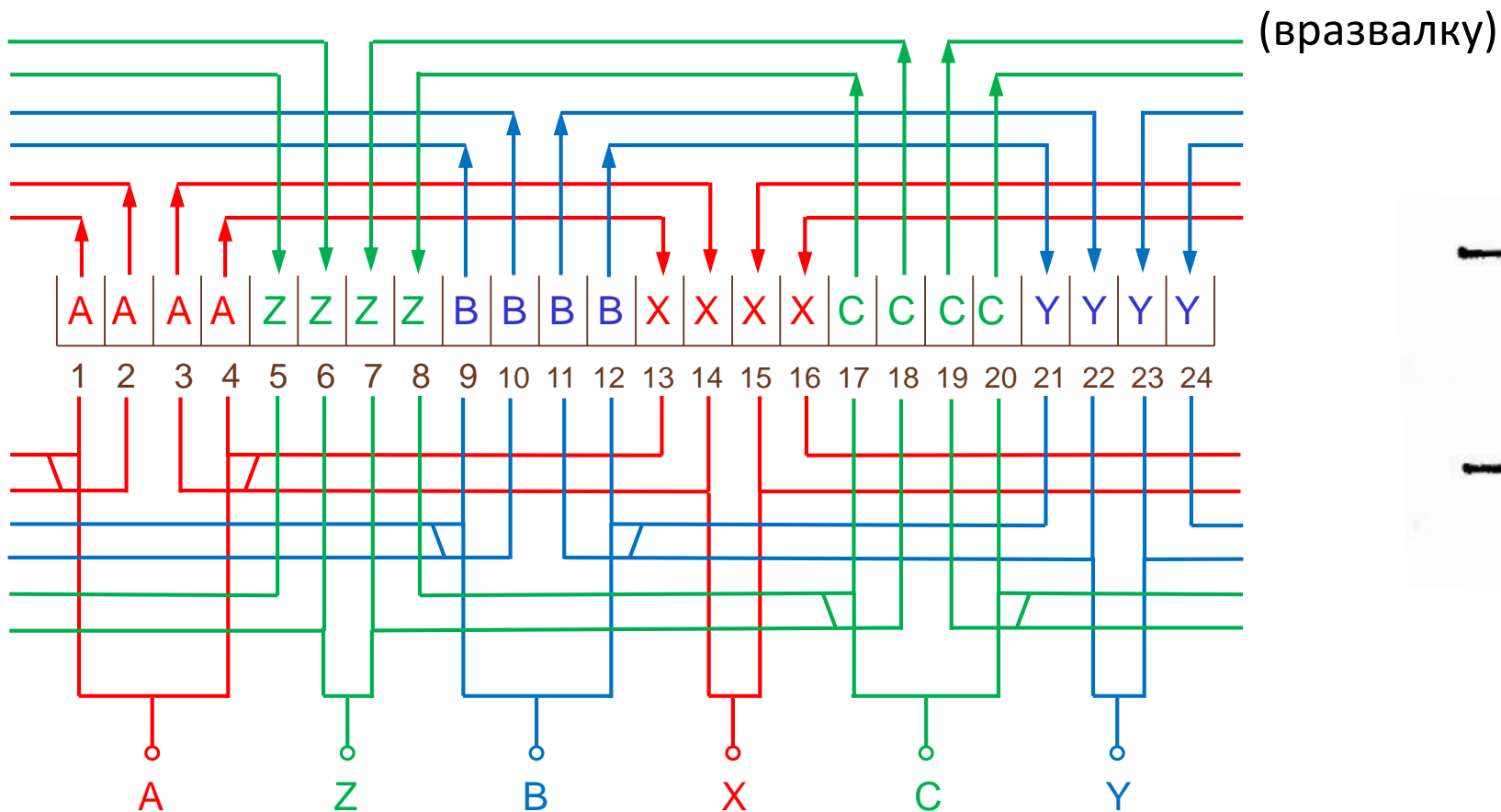


Обмотки машин переменного тока

Однослойная концентрическая обмотка (трехплоскостная)

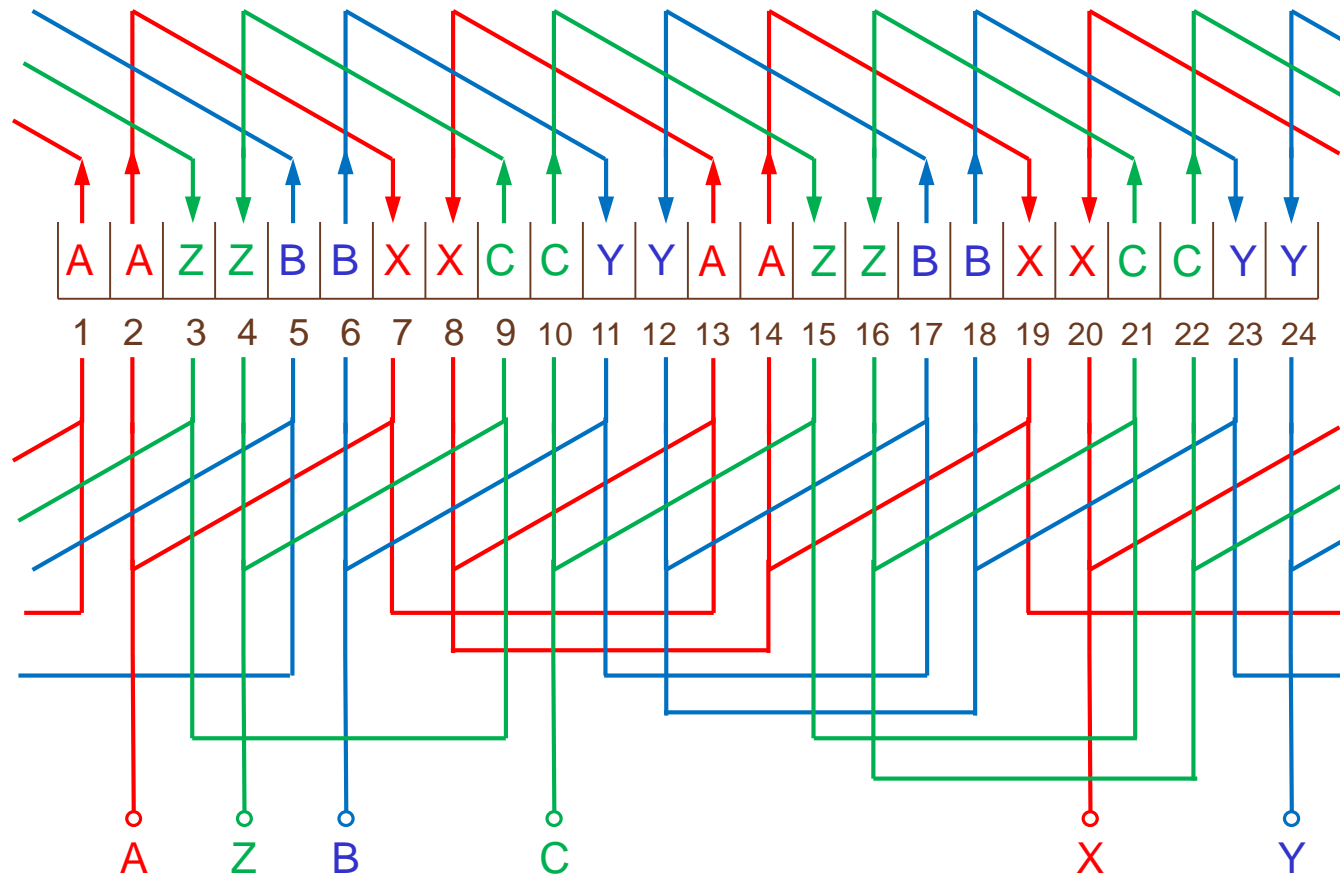
– при четном q половина катушек в одну сторону, половина – в другую

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



Обмотки машин переменного тока

Однослойная шаблонная обмотка (цепная)



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

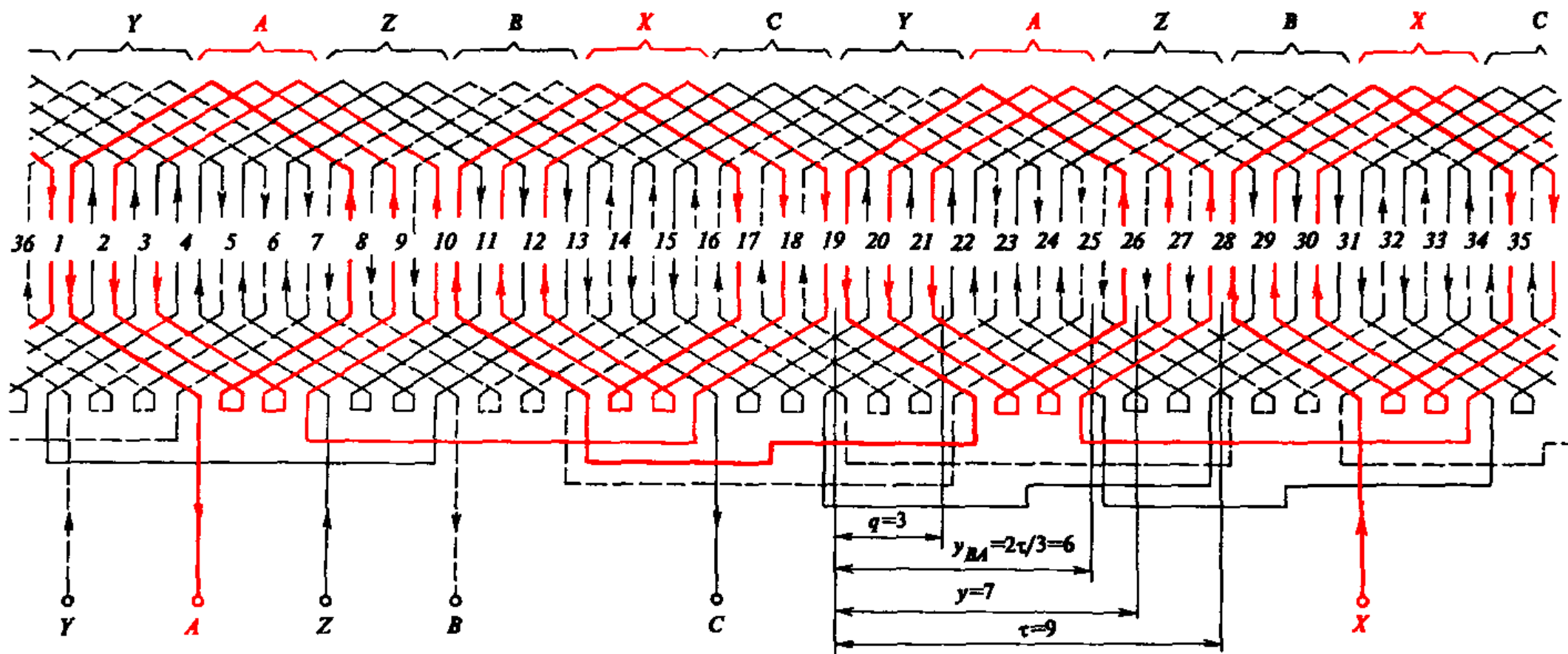
Удобно для
автоматической
укладки

Обмотки машин переменного тока

Пример: 3-фазная двухслойная обмотка

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

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



Обмотки машин переменного тока

Пример: 3-фазная двухслойная обмотка

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

$$Z = 2pmq = 36$$

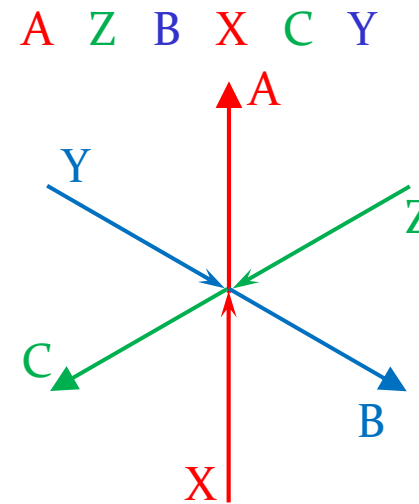
$$q = 3$$

$$p = 2$$

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	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

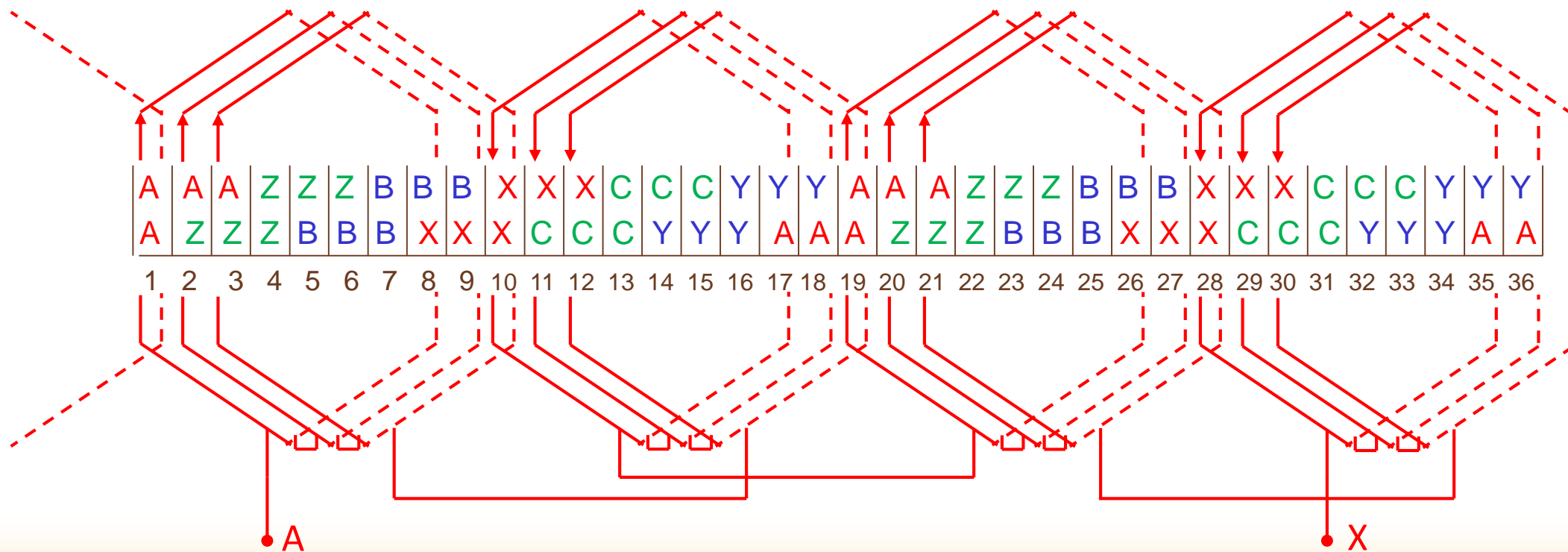
Обмотки машин переменного тока

Пример: 3-фазная двухслойная обмотка

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

полюсное деление $\tau = mq = 9$
шаг катушки $y = 7$

пусть $a = 1$



Обмотки машин переменного тока

Пример: 3-фазная двухслойная обмотка

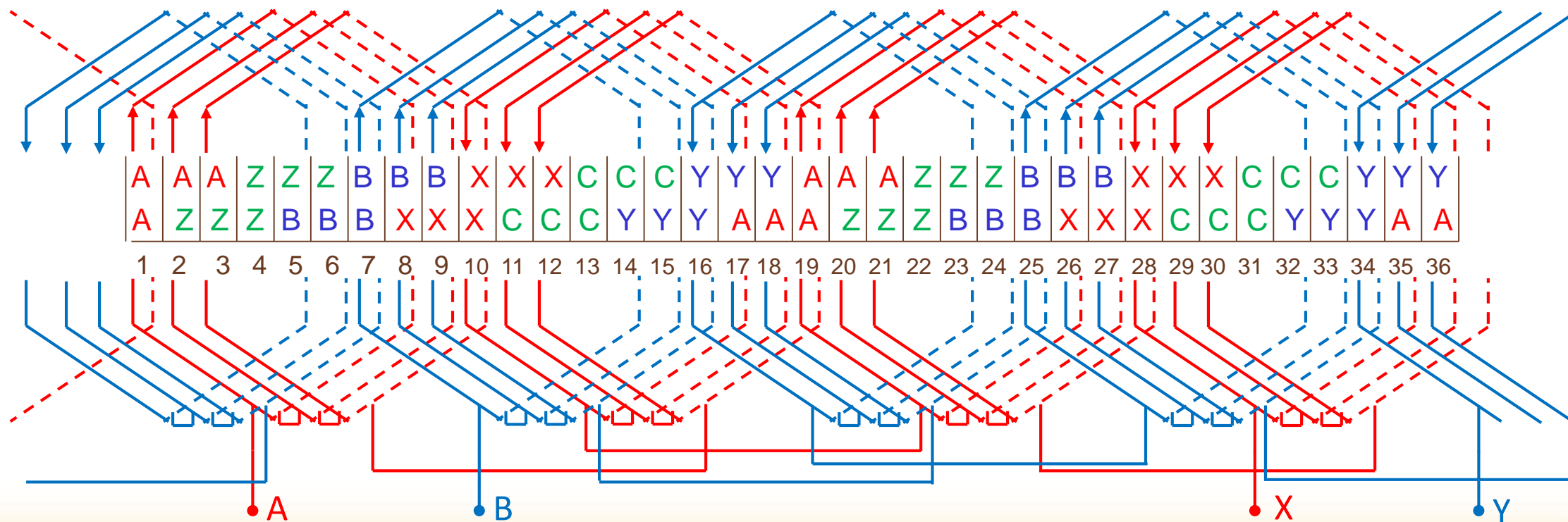
- $m = 3, p = 2, q = 3, y = 7$
петлевая обмотка

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

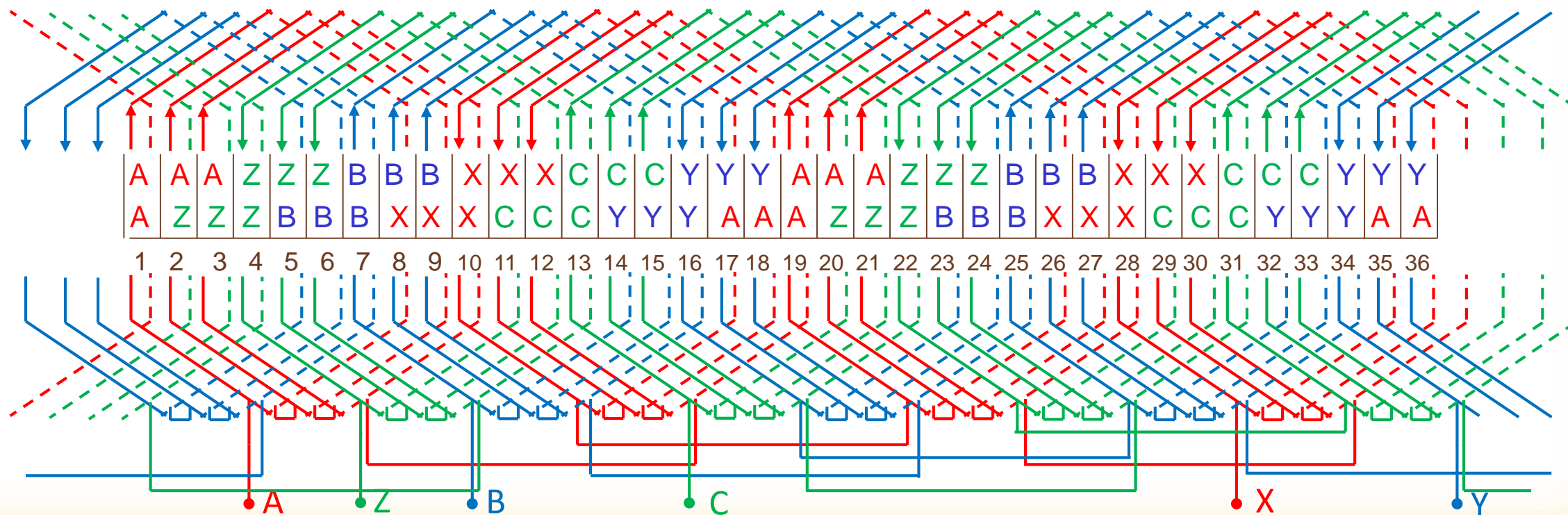
пусть $a = 1$

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

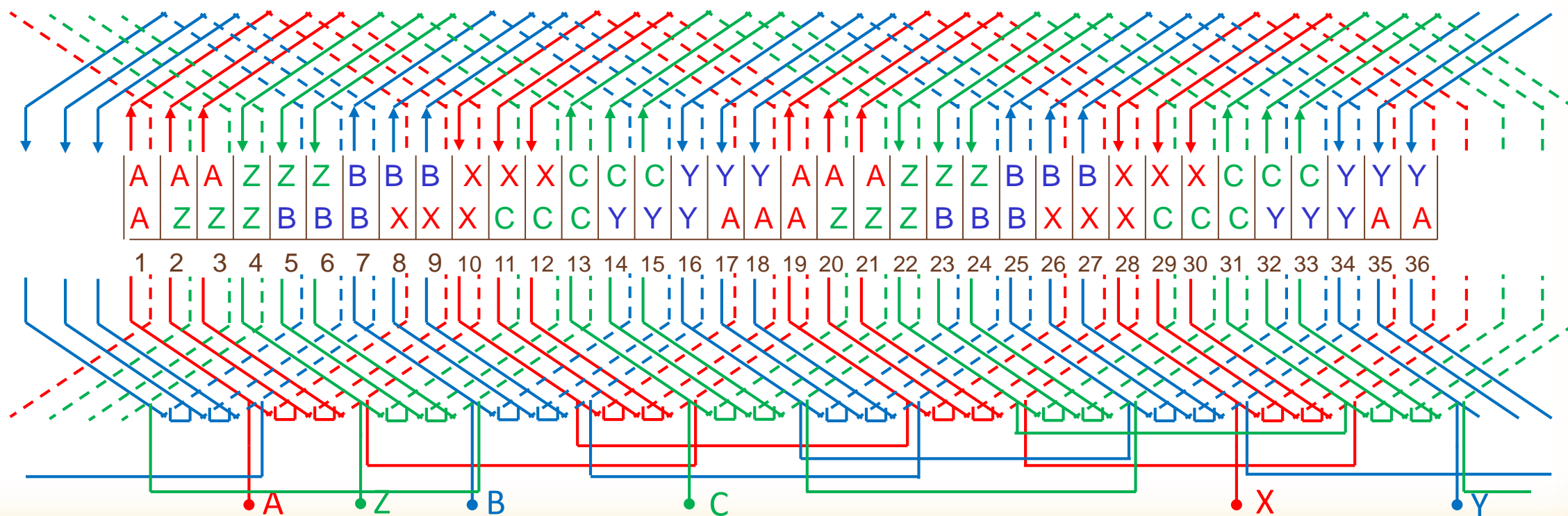
Число параллельных ветвей (a)

- 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 $a = 1; 2; 4$

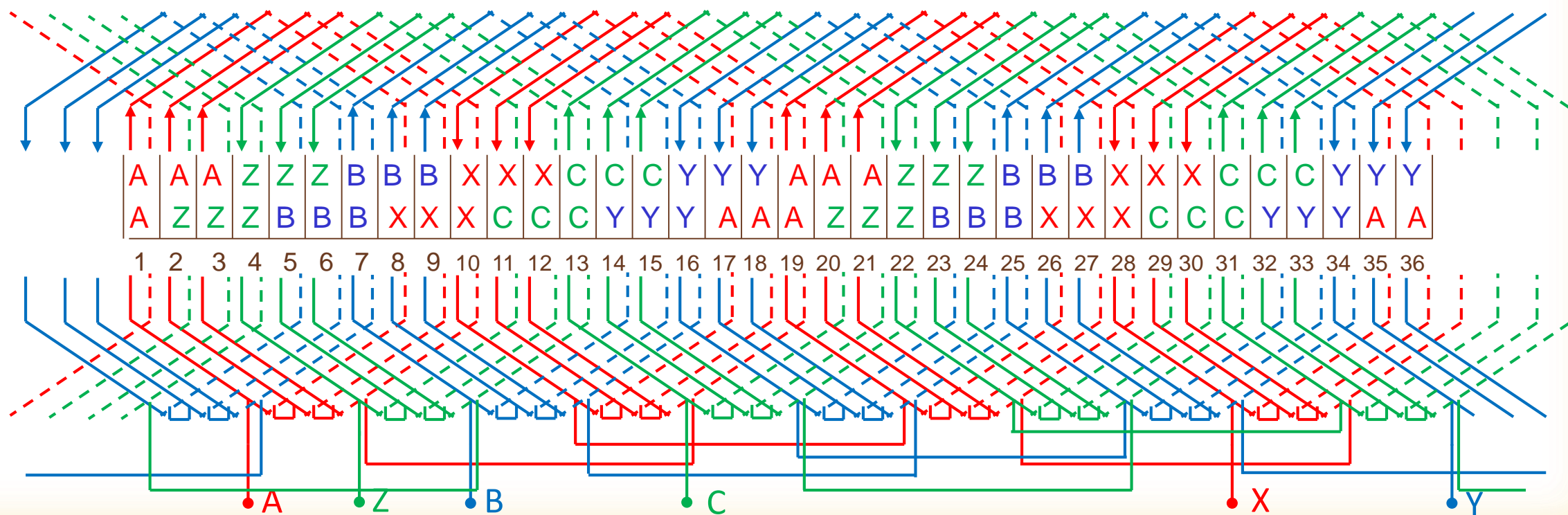


Обмотки машин переменного тока

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

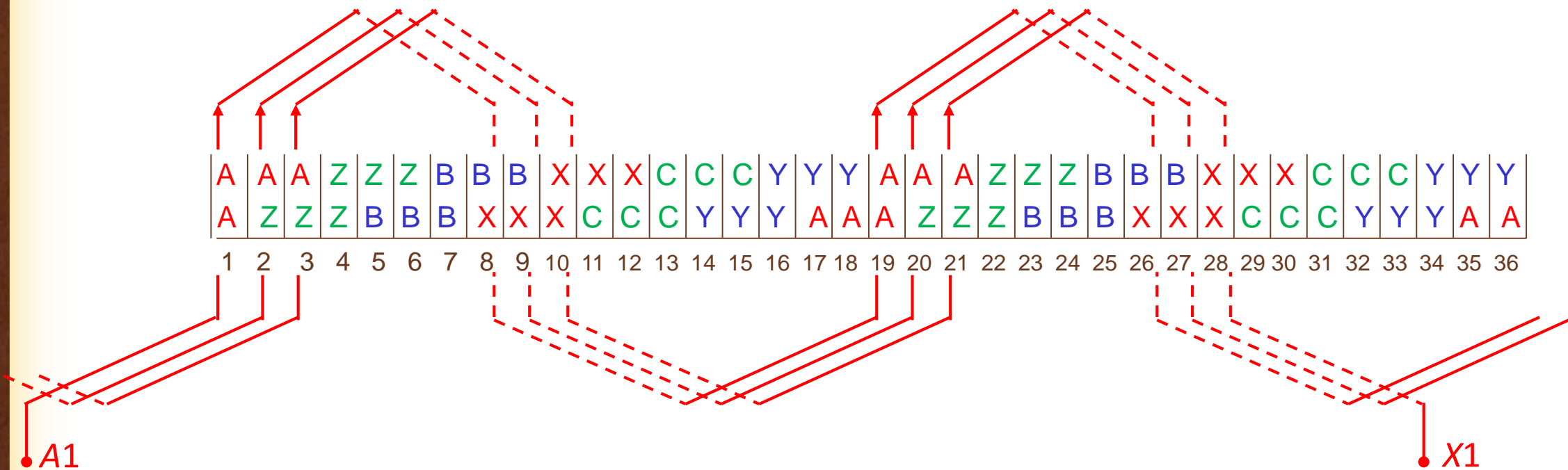
- $m = 3, p = 2, q = 3, y = 7$
(в многополюсных машинах – экономия меди на межкатушечных соединениях)

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

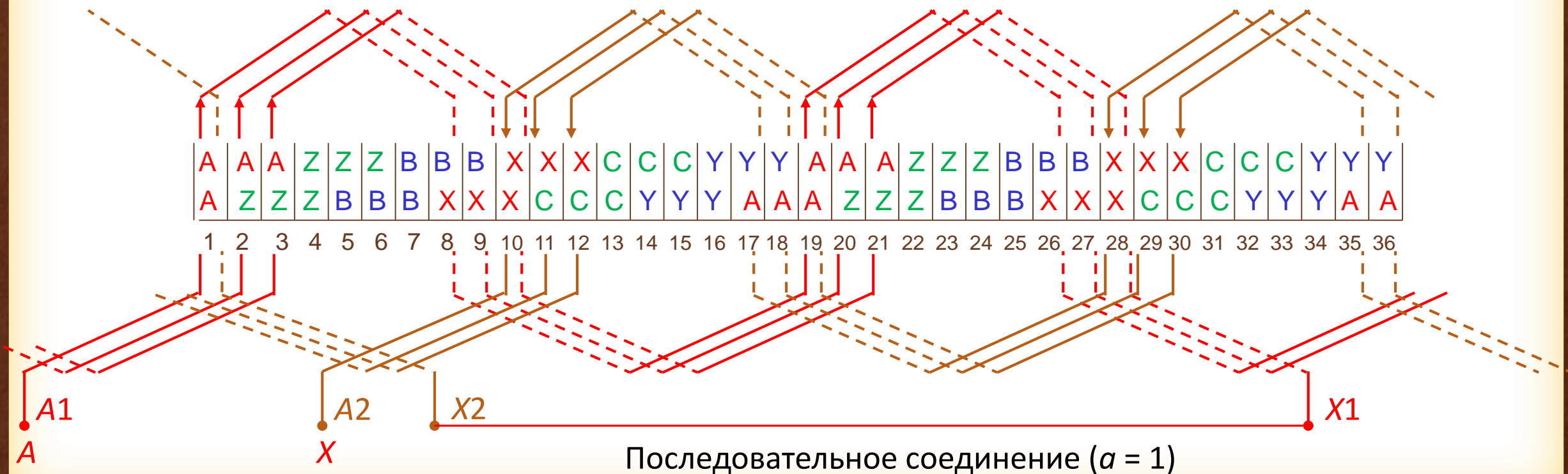


Обмотки машин переменного тока

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



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

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

