

ПРЕДИСЛОВИЕ

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором являются наиболее массовыми электрическими машинами и наиболее крупными потребителями электрической энергии. Наряду с двигателями общего назначения широкое применение находят многоскоростные двигатели: в приводах металлорежущих и деревообрабатывающих станков, вентиляторов, загрузочных устройств, транспортеров, элеваторов, подъемников, центробежных сепараторов, талей, механизмов передвижения транспортно-складских систем, заточных и шлифовальных станков и т. д.

К достоинству многоскоростных двигателей относят то, что при изменении нагрузки на валу они работают на каждой ступени при незначительном изменении частоты вращения.

Большинство многоскоростных двигателей выполняют с полюсопереключаемыми статорными обмотками. Их первые схемы с соотношением пар полюсов $2/1$ — «схемы Даландера» — были предложены практически одновременно с освоением производства короткозамкнутых двигателей. Схемы Даландера и сегодня составляют основу при производстве двигателей на $4/2$, $8/4$, $12/6$ полюсов, а также двухобмоточных двигателей на $6/4/2$, $8/4/2$, $8/6/4$, $12/8/6/4$ полюса.

Разработанные позже схемы на другие соотношения пар полюсов были обобщены и усовершенствованы Харитоновым А. М. Отдельные схемы в своё время нашли применение в двигателях серии Т2 для текстильной промышленности, а схема на $6/4$ полюса — «схема Харитонова» — была применена в двигателях базовой единой серии 4А.

Формированию схем на новые востребованные соотношения пар полюсов способствовали методы пространственной и фазной модуляции магнитодвижущих сил (МДС) статорных обмоток.

В настоящей работе на основе усовершенствованной теории формирования схем статорных обмоток, в определённой степени обобщающей известные методы, приведены рациональные схемы полюсопереключаемых обмоток многоскоростных двигателей.

Рациональные схемы повышают показатели энергоэффективности многоскоростных двигателей в приводах технических изделий с определённым видом механической характеристики за счёт более высокой степени использования базового габарита и упрощения схем коммутации.

1. БАЗОВАЯ ТЕОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СХЕМ ПОЛЮСОПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК

Статорные обмотки трёхфазных ($m = 3$) асинхронных двигателей на p пар полюсов состоят из катушечных групп с числом катушек в группе $q = Z/2pm = Z/6p$ (Z — число пазов статора). Пазы с q сторонами катушек определяют фазную зону статора. Всего по периметру статора $6p$ фазных зон. При чередующемся направлении тока в зонах каждой фазной обмотки ширина фазной зоны в электрическом измерении составляет 60° . При одинаковом направлении тока ширина фазной зоны равна 120° .

Чередование фазных зон статора, а также чередование элементов $1, a, a^2$ ($a = e^{j2\pi/3}$), отображающих симметричную трёхфазную сеть (рис. 1), представим в виде матриц.

$$\begin{pmatrix} U & V & W \\ U & V & W \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ U & V & W \end{pmatrix};$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & a^2 \end{pmatrix}.$$

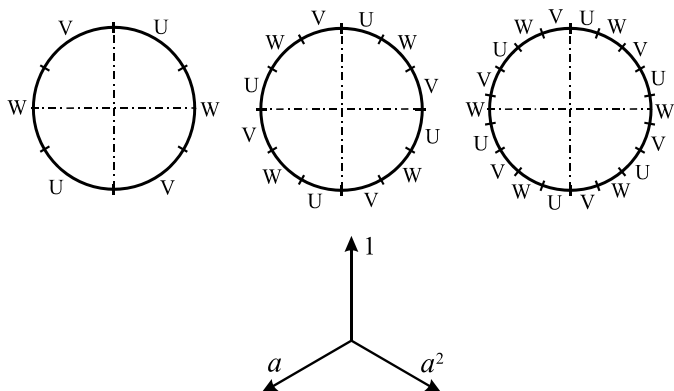


Рис. 1

Фазные зоны статоров и представление трёхфазной сети

Транспонированием чередования фазных зон

$$\begin{vmatrix} U & U & U & \cdot & U \\ V & V & V & \cdot & V \\ W & W & W & \cdot & W \end{vmatrix}$$

любое число пар полюсов обмотки преобразуется в $p = 1$ при ширине фазной зоны 60° или в $p = 2$ при ширине зоны 120° .

При уменьшении столбцов транспонированной матрицы число пар полюсов обмотки не изменится, и преобразование базовой транспонированной матрицы

$$\begin{vmatrix} U & U & U \\ V & V & V \\ W & W & W \end{vmatrix}$$

определяет следующие основные варианты чередования фазных зон ($U \cdot a = V$; $U \cdot a^2 = W$):

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} U & U & U \\ V & V & V \\ W & W & W \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & a^2 \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} U & V & W \\ V & W & U \\ W & U & V \end{vmatrix}; \\ \begin{vmatrix} U & V & W \\ V & W & U \\ W & U & V \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & a^2 \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} U & W & V \\ V & U & W \\ W & V & U \end{vmatrix}; \\ \begin{vmatrix} U & W & V \\ V & U & W \\ W & V & U \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & a^2 \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} U & U & U \\ V & V & V \\ W & W & W \end{vmatrix}, \end{aligned}$$

или цепной вариант — $U V W V W U W U V U V W V W U W U V$, преобразованный — $U W V V U W W V U U W V V U W W V U$, эквивалентный ему вариант — $U W V U W V U W V U W V$.

Преобразование эквивалентного варианта чередования зон

$$\begin{vmatrix} U & W & V \\ U & W & V \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & a^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} U & U & U \\ U & U & U \end{vmatrix}$$

приводит к нулевой последовательности их чередования, а преобразование транспонированной матрицы нулевой последовательности чередования фазных зон матрицей, элементы которой

1 и j отображают двухфазную сеть ($j = e^{j\pi/2}$), образует двухфазный вариант чередования фазных зон ($V = jU$):

$$\begin{vmatrix} U & U \\ U & U \\ U & U \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & j \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} U & V \\ U & V \\ U & V \end{vmatrix}.$$

Варианты чередования фазных зон статора показаны на рисунке 2, где стороны катушек трёхфазной обмотки фазы U обозначены квадратами, фазы V — треугольниками, фазы W — кружками. Очевидно, например, при 18, 54 и 72 пазах статора в каждую зону исходного варианта будут входить 1, 3 и 4 стороны катушек.

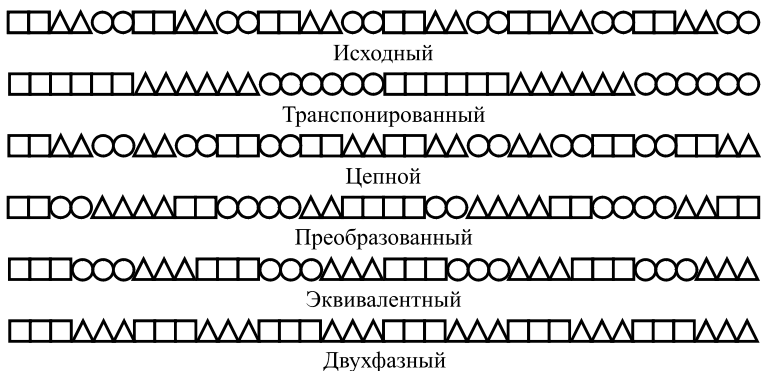


Рис. 2

Варианты чередования фазных зон при $Z = 36$

Чередование фазных зон в исходном, транспонированном и эквивалентном вариантах соответствует обмоткам максимального распределения стандартных асинхронных двигателей.

Цепной вариант служит основой для цепных обмоток — однослойных обмоток, катушки или катушечные группы которых могут выполняться и с укороченным шагом.

Двухфазный вариант является базой для обмоток двухфазных (однофазных конденсаторных) двигателей.

Формирование схем полюсопереключаемых обмоток путём перехода катушечных групп из одного варианта чередования фазных зон в другой вариант связано, как правило, с большим количеством выводов от частей фазных обмоток (рис. 3–6, $k_{об}$ — обмоточный коэффициент).

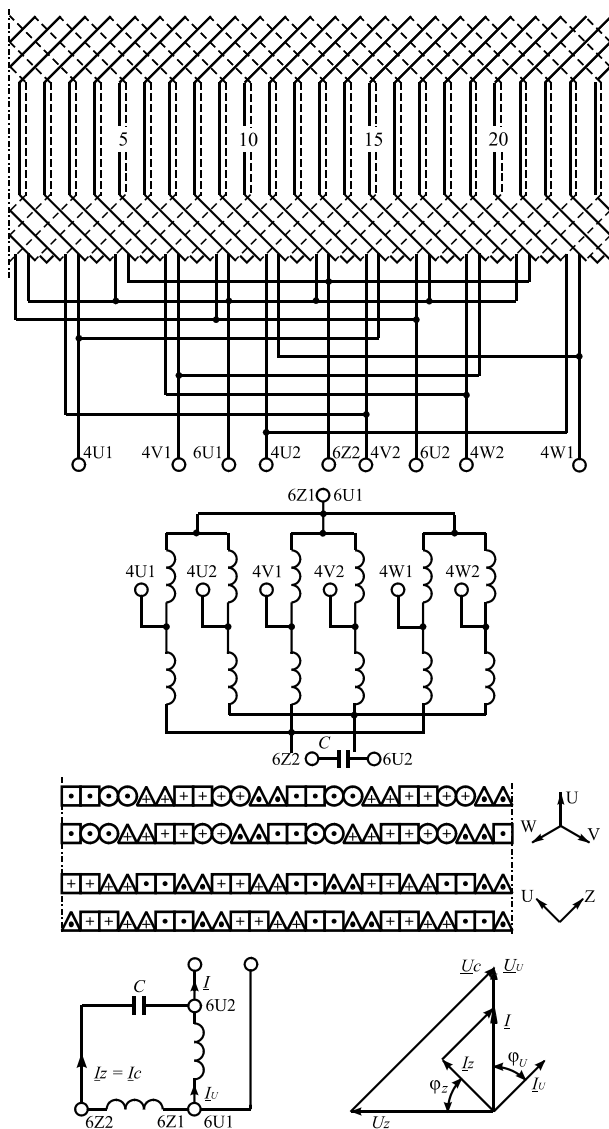


Рис. 3

Схема трехфазно-двухфазной обмотки на 6/4 полюса, L/YYYY
 $(k_{066}/k_{064} = 0,85/0,92)$, векторная диаграмма токов
 в уравновешенном режиме при $2p = 6$

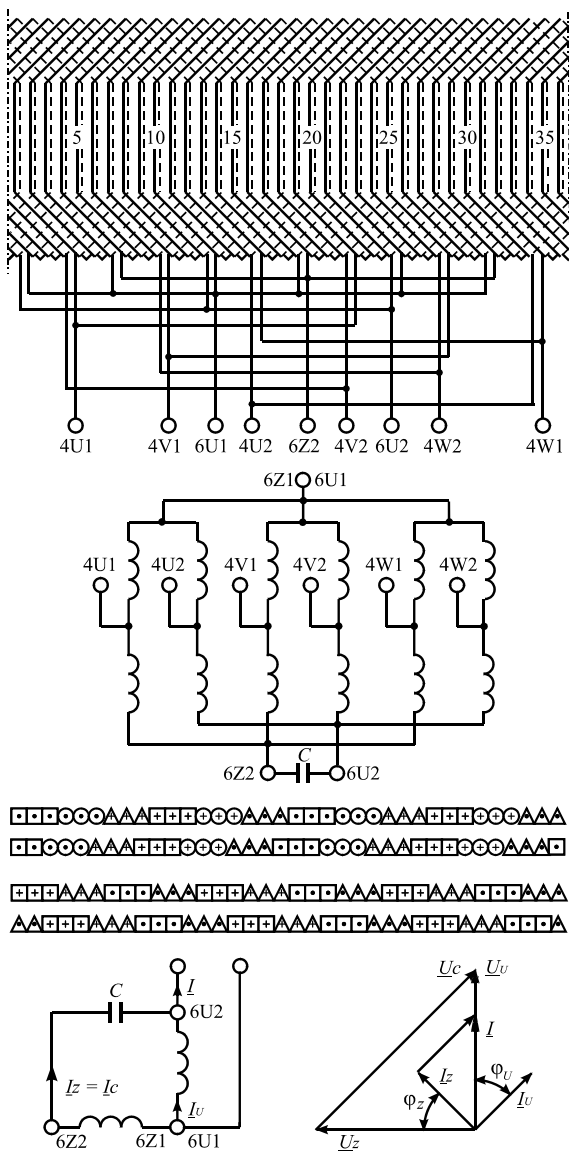


Рис. 4
 Схема трёхфазно-двухфазной обмотки на 6/4 полюса,
 L/YYYYY ($k_{об6}/k_{об4} = 0,79/0,94$)

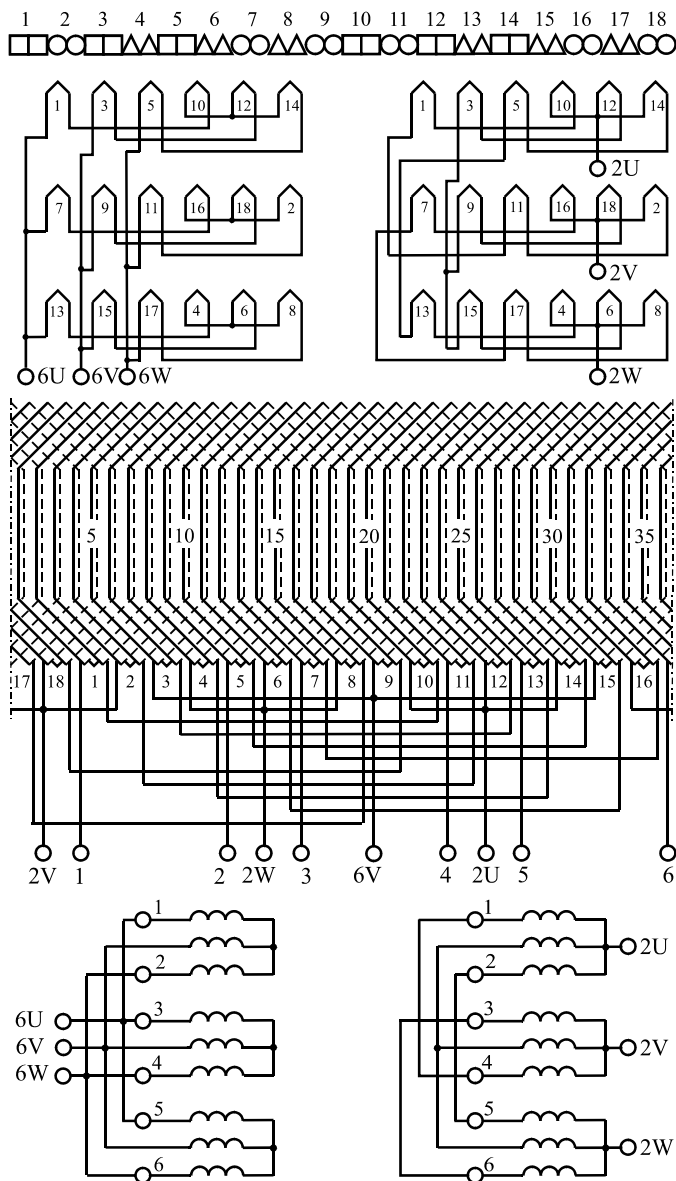


Рис. 5

Схема обмотки на 6/2 полюса, YYY/ΔY ($k_{066}/k_{062} = 0,927/0,548$)

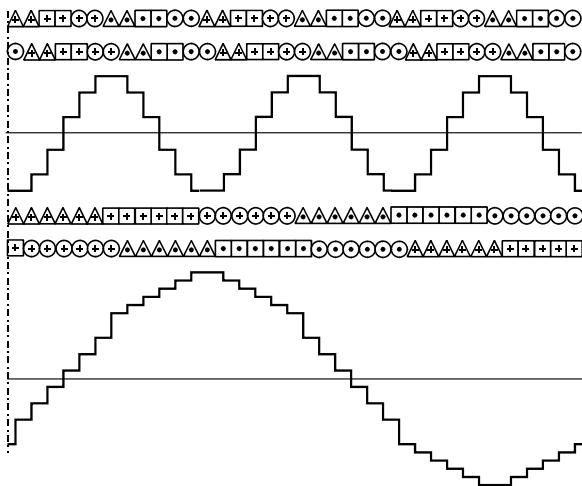


Рис. 6

МДС обмотки на 6/2 полюса

Трёхфазно-двухфазный двигатель на 6/4 полюса с соотношением индукций в воздушном зазоре ($w_6 = 2w_4$, $U_{н6} = U_{н4}$)

$$\frac{B_{\delta 6}}{B_{\delta 4}} = \frac{p_6}{2 \cdot p_4} \cdot \frac{k_{об4}}{k_{об6}} = \frac{3}{2 \cdot 2} \cdot \frac{0,94}{0,79} = 0,89$$

выполняют на базе четырёхполюсного двигателя.

Число витков на фазу обмотки, например, на базе двигателя АИР100Л4 ($Z = 36$, $w = 174$ и $k_{об} = 0,96$):

$$w_4 = wk_{об}/k_{об4} = 174 \cdot 0,96/0,94 \approx 180.$$

В параллельную ветвь фазной обмотки входят 3 катушки.

В катушке $180/3 = 60$ витков. В пазу 120 проводников.

По площади паза статора, занятой 29 проводниками диаметром $d = 1,32$ мм обмотки базового двигателя, определяем диаметр обмоточного провода трёхфазно-двухфазной обмотки:

$$d = \sqrt{\frac{29 \cdot 1,32^2}{120}} = 0,649 \text{ мм.}$$

Выбираем $d/d_{нз} = 0,63/0,685$ мм.

При шести полюсах и симметричных токах балансу реактивной мощности двигателя $2U_{н}I_{н}\sin 45^\circ$ и конденсатора $U_c^2\omega C$ отвечает ёмкость конденсатора:

$$C = \frac{I_{н6}}{\omega U_{н}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} 10^6 = \frac{I_{н6}}{314 U_{н}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} 10^6 = 2250 \frac{I_{н6}}{U_{н}} \text{ мкФ.}$$

Номинальный ток двигателя в двухфазном режиме относительно номинального тока в трёхфазном режиме (для АИР100L4 $I_{н4} = 8,5 \text{ А}$) можно определить по соотношению обмоточных коэффициентов и количеству параллельных ветвей:

$$I_{н6} = \frac{k_{об6}}{k_{об4}} \cdot \frac{3}{4} \cdot I_{н4} = \frac{0,79}{0,94} \cdot \frac{3}{4} \cdot 8,5 = 5,35 \text{ А.}$$

Ёмкость конденсатора:

$$C = 2250 \frac{I_{н6}}{U_{н}} = 2250 \frac{5,35}{220} = 54 \text{ мкФ.}$$

Для двигателя на 6/2 полюса соотношение индукций в воздушном зазоре при переключении полюсов ($w_6 = w_2$, $U_{н6} = U_{н2}$):

$$\frac{B_{\delta 6}}{B_{\delta 2}} \simeq \frac{p_6}{p_2} \cdot \frac{k_{об2}}{k_{об6}} = \frac{3}{1} \cdot \frac{0,548}{0,927} = 1,77,$$

например,

$$B_{\delta 6} / B_{\delta 2} = 0,82 / 0,46 \text{ Тл.}$$

Для двигателя АИР100L6/2 на базе АИР100L4 ($D = 104 \text{ мм}$ и $l = 127 \text{ мм}$ — внутренний диаметр и длина статора, $h_a = 15,8 \text{ мм}$ — высота спинки статора, $Q_a = 0,95 h_a l = 0,95 \cdot 0,0158 \cdot 0,127 = 1,91 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ — площадь спинки) поток и индукция в спинке:

$$\Phi_2 = B_{\delta 2} D l / p = 0,46 \cdot 0,104 \cdot 0,127 / 1 = 6,08 \cdot 10^{-3} \text{ Вб};$$

$$B_a = \Phi / 2 Q_a = 6,08 \cdot 10^{-3} / (2 \cdot 1,91 \cdot 10^{-3}) = 1,59 \text{ Тл.}$$

Индукция в спинке статора не превышает принятой из опыта электромашиностроения величины — 1,6 Тл.

Число витков на фазу (для $U_{н} = 220 \text{ В}$ и $f = 50 \text{ Гц}$):

$$w_2 \approx U_{н2} / (4,44 f \Phi_2 k_{об2}) \approx 1 / (\Phi_2 k_{об2}) = 1 / (6,08 \cdot 10^{-3} \cdot 0,548) = 300.$$

В параллельную ветвь фазной обмотки входят 4 катушки. В катушке 75 витков. В пазу 150 проводников. Диаметр провода:

$$d = \sqrt{\frac{29 \cdot 1,32^2}{150}} = 0,58 \text{ мм.}$$

Выбираем $d/d_{из} = 0,56/0,615 \text{ мм.}$

Данные базовых двигателей приведены в Приложении.

2. СХЕМЫ ДАЛАНДЕРА

Переключение пар полюсов статорной обмотки в отношении 2/1 выполняют по схемам Даландера (рис. 7–14).

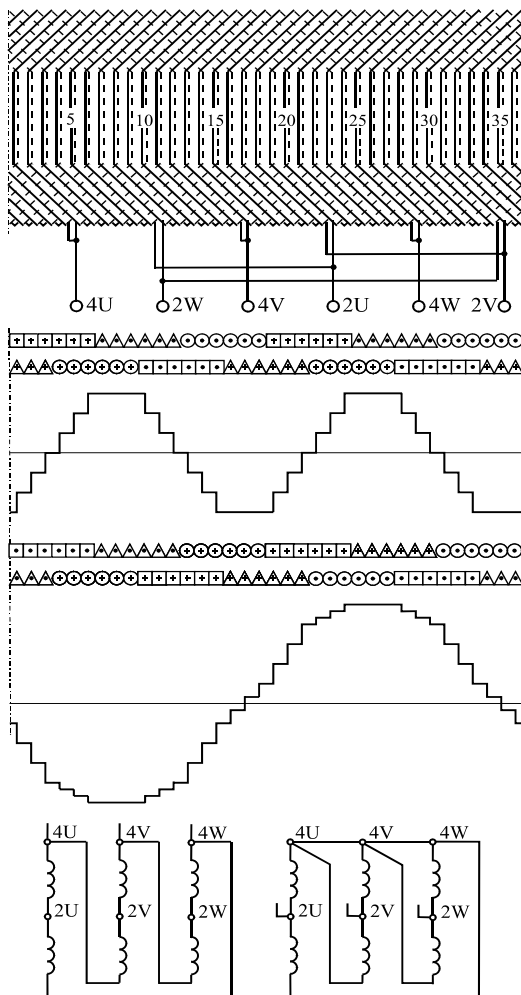


Рис. 7

Схема и МДС обмотки на 4/2 полюса, $\Delta/Y\bar{Y}$ ($k_{об4}/k_{об2} = 0,831/0,676$)

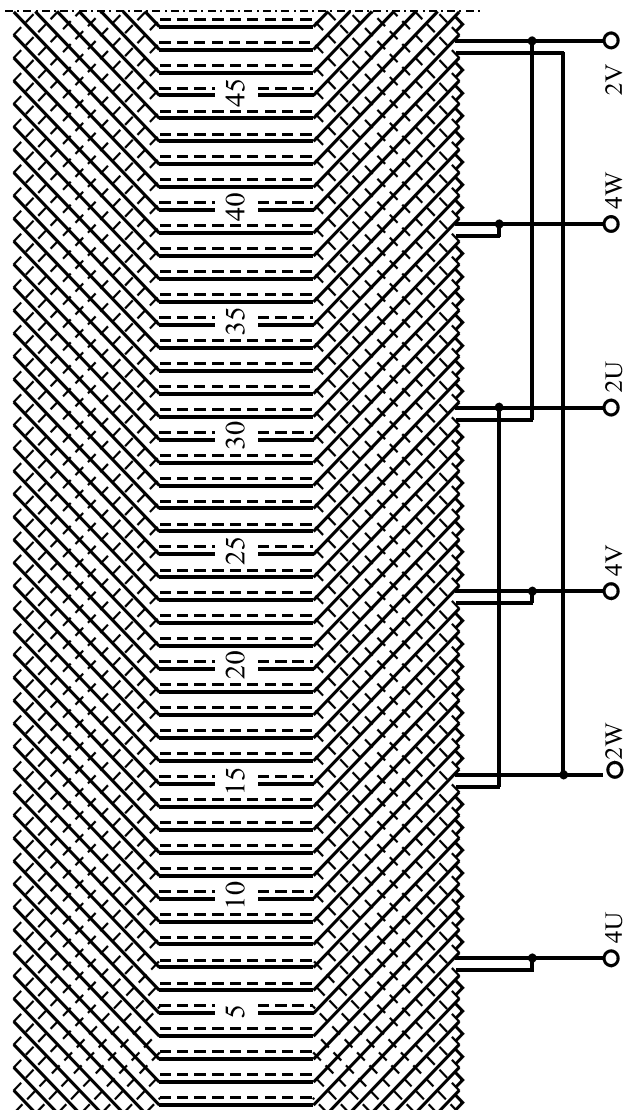


Рис. 8

Схема обмотки на 4/2 полуса, $\Delta/Y/Y$ ($k_{\text{оет}}k_{\text{оет}} = 0,822/0,718$)

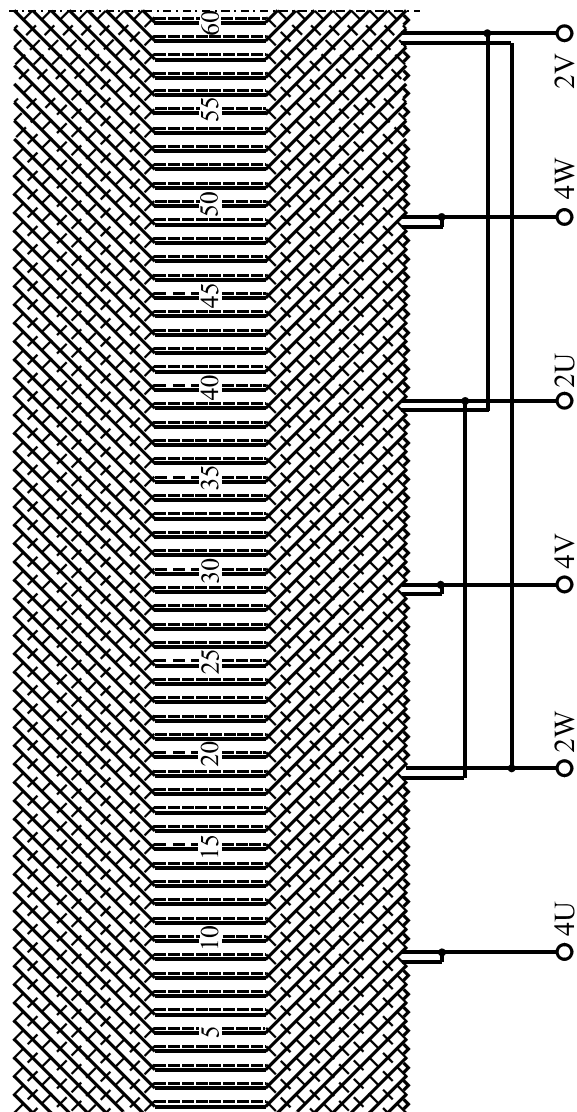


Рис. 9

Схема обмотки на 4/2 полюса, $\Delta/Y/Y$ ($k_{004}/k_{002} = 0,831/0,676$)

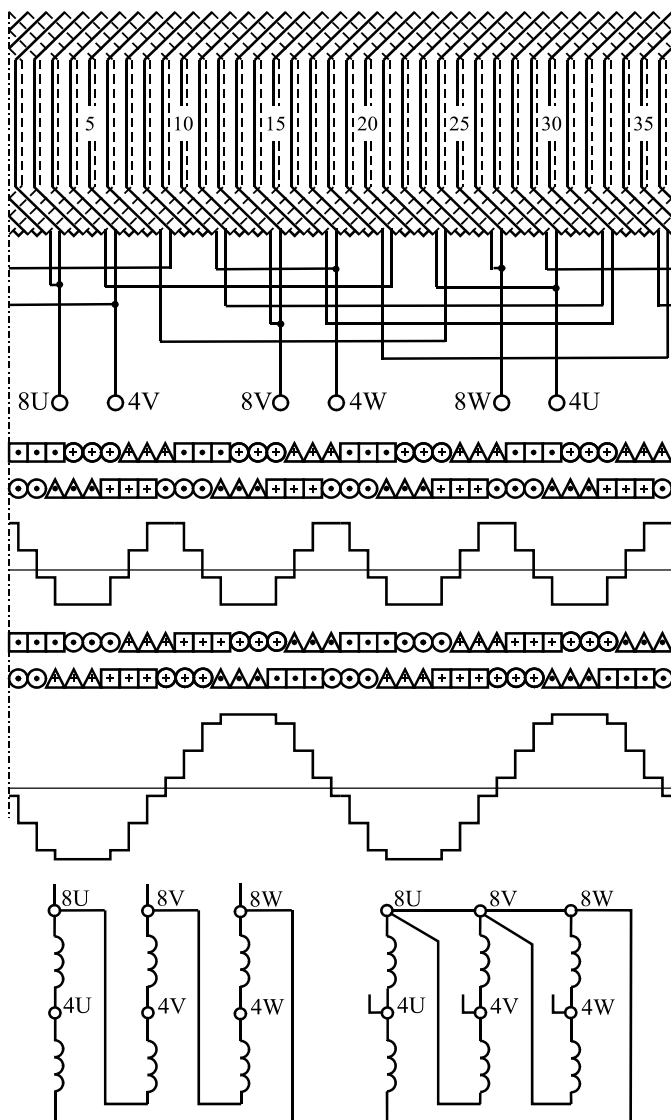


Рис. 10

Схема обмотки на 8/4 полюса, $\Delta/Y/Y$ ($k_{o08}/k_{o04} = 0,818/0,735$)

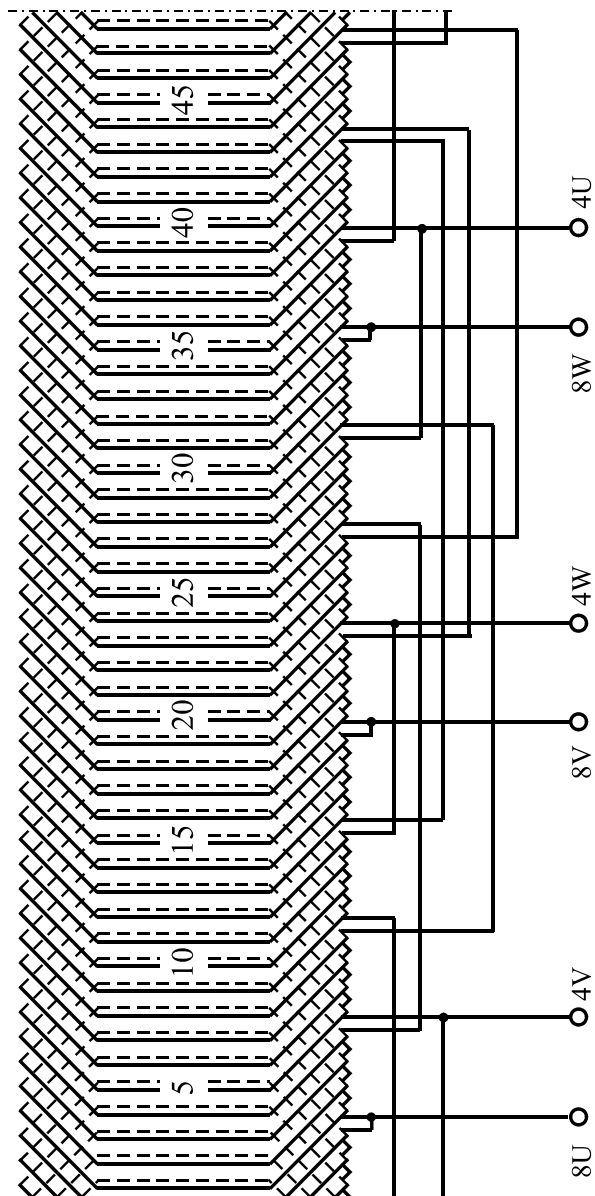


Рис. 11

Схема обмотки на 8/4 полюса, $\Delta/Y/Y$ ($k_{008}/k_{004} = 0,836/0,677$)

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru