

В.И. Панченко

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

АСИНХРОННЫЕ ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ С ЯВНО ВЫРАЖЕННЫМИ ЗУБЦАМИ

Уменьшение расхода проводниковых материалов и электротехнической стали всегда было главной проблемой в электромашиностроении. В настоящее время проблема обострилась из-за дефицита меди в Украине. Наибольшая доля указанных материалов расходуется при производстве асинхронных электродвигателей, составляющих 90% всех электромашин. Простые по конструкции асинхронные трехфазные двигатели с короткозамкнутым ротором, несмотря на общеизвестные достоинства, имеют и некоторые недостатки: сравнительно сложная конструкция статора, имеется ввиду обмотка, при выходе из строя одной секции которой необходимо, как правило, заменять всю обмотку, кроме того, магнитопровод статора обычно изготавливают из отдельных штампованных пластин, при этом из-за наличия в пластинах пазов безвозвратно теряется часть сравнительно дорогой электротехнической стали.

Поиск менее материалоемких конструкций привел к созданию двигателя, в котором магнитопровод статора состоит из отдельных пакетов пластин - зубцов 1 (рис.1), торцовая часть которых непосредственно примыкает к навитому из ленты электротехнической стали кольцевому ярму 2.

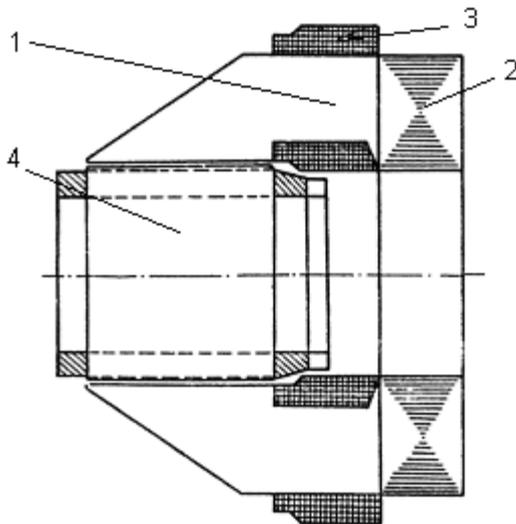


Рис. 1. Асинхронный трехфазный двигатель с когтеобразными зубцами статора

На концах зубцов со стороны ярма размещены катушки 3, образующие обмотку статора. Внутренняя, в радиальном направлении поверхность зубцов образует так называемую расточку статора, внутри которой располагается короткозамкнутый ротор 4.

Обмотка статора двигателя в двухполюсном исполнении представлена на рис.2. Шаг обмотки составляет $1/m$ полюсного деления τ , что дает возможность

располагать каждую катушку на отдельном зубце и избежать таким образом пересечений катушек различных фаз в лобовой части обмотки (m – число фаз).

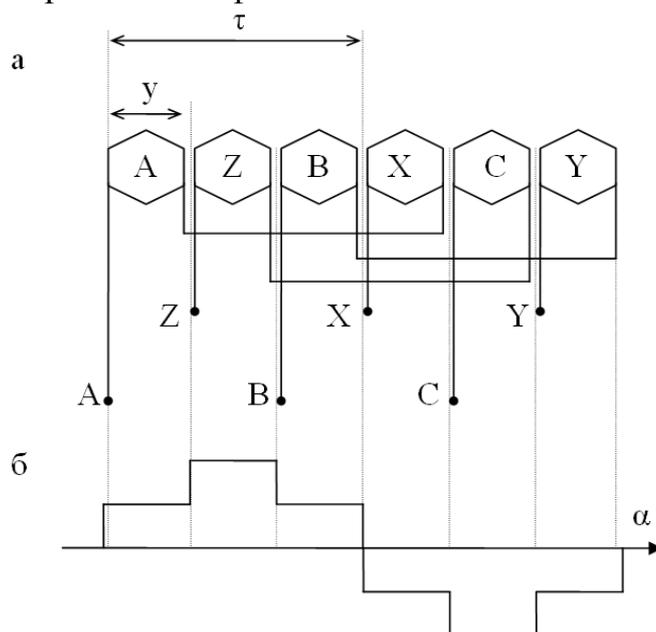


Рис. 2. Схема обмотки статора (а) и форма кривой МДС обмотки (б)

Число катушек и, следовательно, число зубцов статора $Z = 2pm$, где p – число пар полюсов. Поскольку обмотка сосредоточенная ($q = 1$), то коэффициент распределения K_{pv} равен единице для любой гармонической составляющей (гармоники) магнитной индукции.

Коэффициент укорочения катушки определяется по формуле

$$K_{yv} = \text{Sin}v\pi/2m ,$$

где v -порядковый номер (порядок) гармоники,

Для первой гармоники ($v=1$) $K_{y1} = 0,5$ и, соответственно, обмоточный коэффициент $K_{об1} = K_{y1} \cdot K_{p1} = 0,5$. Последнее обстоятельство в двигателях традиционной конструкции приводит к увеличению расхода обмоточного провода. Однако индукция в горизонтальной части зубцов (в зоне катушек) может быть максимальной по условиям насыщения двигателя (1,7-1,8 Тл), что более чем в 2 раза превышает индукцию в случае распределенных обмоток.

Поэтому в рассматриваемой конструкции двигателя расход обмоточного провода, несмотря на низкий обмоточный коэффициент, существенно уменьшается. Другие достоинства рассматриваемой конструкции: практически безотходная технология при изготовлении магнитопровода статора; простота обмотки статора; высокая ремонтоспособность в эксплуатационных условиях, т. к. вышедшую из строя катушку можно легко заменить запасной, не разрушая всю обмотку.

Недостатки конструкции: магнитодвижущая сила обмотки статора вследствие того, что $q = 1$, имеет ярко выраженный ступенчатый характер (рис.2,б). При этом магнитная индукция в воздушном зазоре машины содержит значительные по амплитуде 5-ю и 7-ю пространственные гармоники; их обмо-

точные коэффициенты такие же по величине, как и для основной гармоники. Вследствие этого затрудняется пуск двигателя, возникают повышенные магнитная вибрация и шум, уменьшается КПД.

Для устранения указанных недостатков рассматриваемой конструкции в работе [1] предложено число зубцов статора увеличить до значения $z=4pm$, вместо одной катушки на фазу и полюс применить катушечные группы из 4-х катушек, включенных между собой последовательно-согласно и расположенных на 4-х рядом расположенных зубцах. Число витков отдельных катушек, составляющих группу, должно находиться в соотношении 1:3:3:1. Схема обмотки двигателя с $2p=2$ согласно работе [1] представлена на рис.3, а.

Внутри многоугольников, изображающих катушку, указано относительное число витков катушек. Форма кривой МДС создаваемой обмоткой, для момента времени, когда ток в фазе А максимальный, представлена на рис.3,б. Состав высших гармонических при такой форме кривой соответствует случаю распределенной обмотки при числе пазов на полюс и фазу $q=2$ и относительной ширине витка $y=(5/6)\tau$. Обмоточный коэффициент обмотки (рис.3,а) для основной гармоники $K_{об1}=0,933$, для высших, 5-й и 7-й – $K_{об5}=K_{об7}=0,067$, что в 14 раз

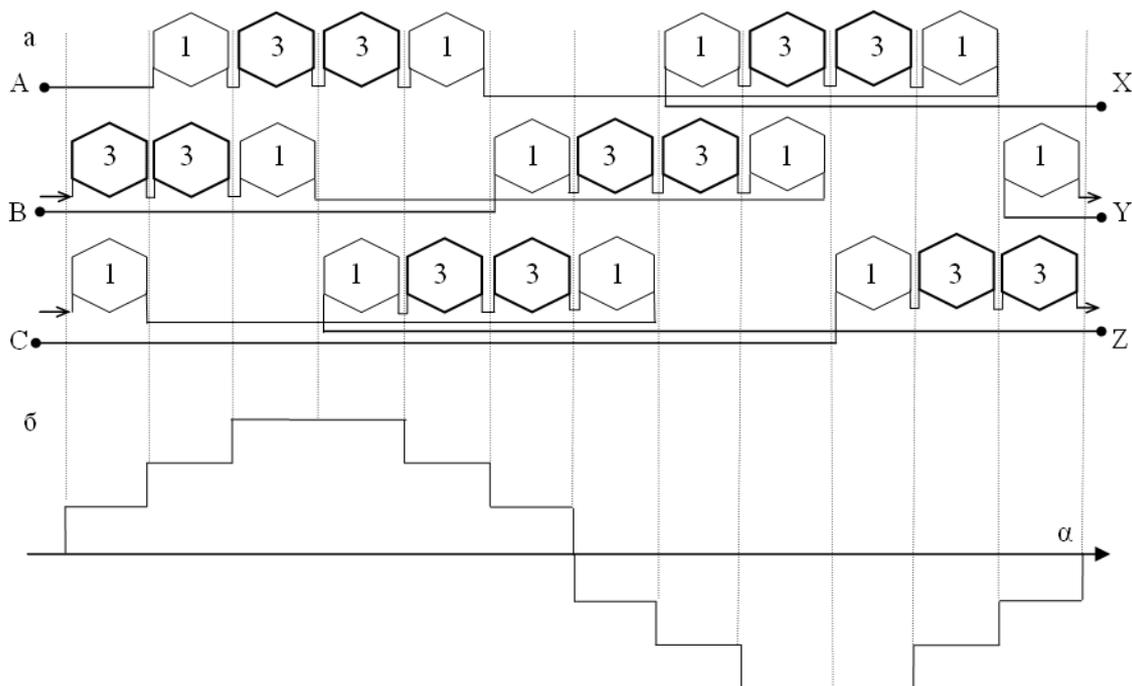


Рис. 3 Схема обмотки (а) и форма МДС обмотки (б) двигателя согласно работе [1]

меньше по сравнению с $K_{об1}$. Расход обмоточного провода в рассматриваемом двигателе примерно такой же, как и в двигателе традиционной конструкции. Обмотка (рис.3,а) двигателя с явно выраженными зубцами обеспечивает хорошие пусковые свойства, уменьшение добавочных потерь и некоторое снижение магнитного шума и вибрации. Однако ремонтоспособность двигателя несколько хуже по сравнению с конструкцией на рис.1, поскольку на каждом зубце находятся катушки различных фаз. К недостаткам двигателя с обмоткой, изображенной рис.3,а, следует отнести сложность конструкции, вызванной необходи-

мостью выполнения катушечных групп из четырех катушек, а также сравнительно большие амплитуды высших гармонических МДС.

Автором данной статьи предложена усовершенствованная конструкция обмотки двигателя с явно выраженными зубцами [2]. Статор такого двигателя (рис.4) имеет два ярма 1 и 2, навитых из лент электротехнической стали. На концах зубцов 3, поперечное сечение которых близко к прямоугольному, размещены части обмоток 4 и 5.

Между зубцами в пространстве, свободном от обмотки, находится ротор 6. Число зубцов, как и в предыдущей конструкции, равно $4p$. На рис.5,а представлена схема обмотки для $2p=2$. Каждая из фазных обмоток имеет $2p$ катушечных групп, в свою очередь каждая состоит из катушек, расположенных на трех соседних зубцах и включенных между собой последовательно-согласно.

Число витков в катушках, образующих группу, находится в соотношении 4:7:4. Катушечные группы взаимно смещены на 180 эл. градусов и включены между собой последовательно-встречно. Обмотка каждой фазы разделена на две одинаковые части 4 и 5, которые размещены на противоположных концах зубцов и соединенных между собой также последовательно-встречно.

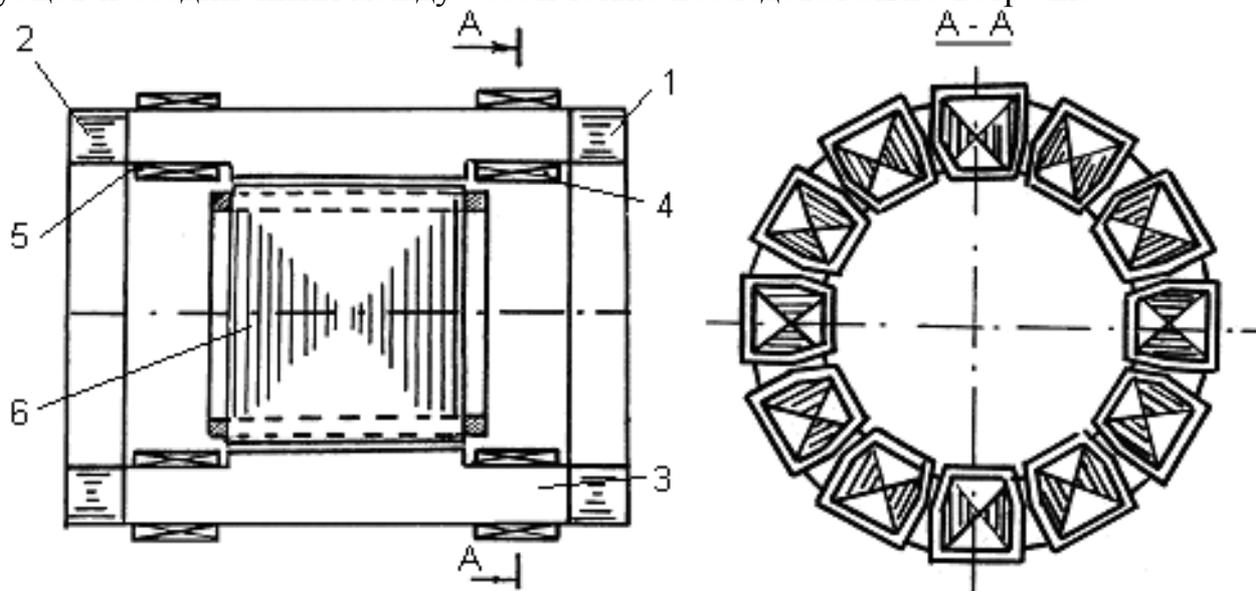


Рис. 4. Усовершенствованная конструкция двигателя с явно выраженными зубцами

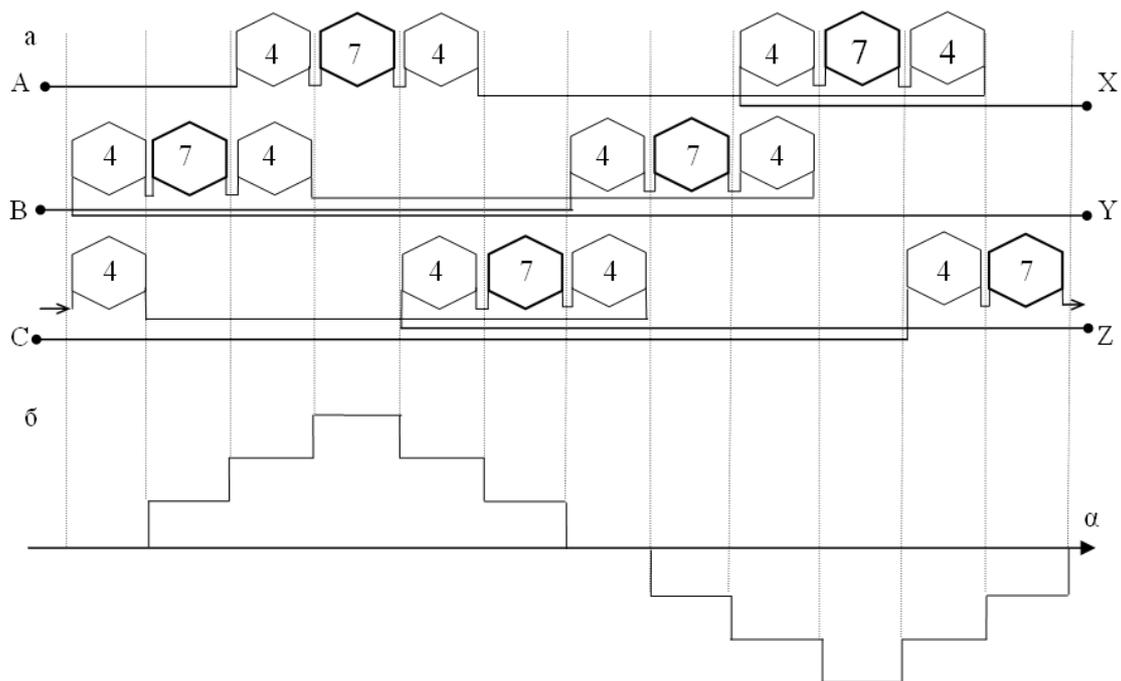


Рис. 5. Усовершенствованная схема обмотки (а) и форма МДС обмотки (б)

На рис.5,б представлена форма кривой МДС, создаваемой обмоткой. Согласно расчету обмоточный коэффициент обмотки рис.5,б для основной гармоники $K_{об1}=0,902$, для 5-й и 7-й гармоник $K_{об5}=K_{об7}=0,0174$, что в 51,9 раза меньше обмоточного коэффициента для основной гармоники. По этой причине двигатель с обмоткой на рис.5,а имеет лучшие энергетические показатели, меньшие вибрации и шум. Кроме того, упрощается его конструкция, т. к. катушечные группы состоят из 3-х катушек, повышается ремонтоспособность, поскольку на половине общего числа зубцов расположены катушки только одной фазы. Расход проводниковых материалов в предложенной конструкции составляет примерно 60% относительно расхода в двигателе традиционной конструкции.

Список литературы

1. А. с. СССР. 964875, НО2К 17/12. Асинхронный трехфазный двигатель./ В.Д. Лущик. – Оpubл. 07.10.82, Бюл. № 37. – 5 с.
2. Патент UA 4695 С1, НО2К 17/12. Асинхронный трифазный электродвигун. В.І. Панченко., В.В. Панченко// Відкриття. Винаходи – 1994. - № 7 – 1.