

## ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ РОТОРА МАЛОМОЩНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОЙ Э.Д.С.

Г. А. СИПАЙЛОВ, А. Б. ЦУКУБЛИН

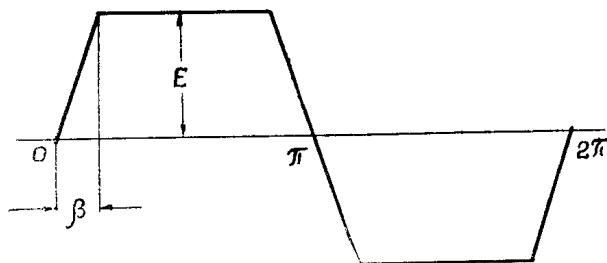
(Рекомендована научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Использование несинусоидальной формы э.д.с. для получения постоянного тока путем выпрямления позволяет получать малые величины переменной составляющей выпрямленного напряжения даже при относительно небольшом числе фаз генератора [1].

Анализ работы трехфазного мостового выпрямителя от генератора с трапецеидальной э.д.с. показал, что при форме э.д.с. — трапеция  $\beta = 30^\circ$  — коэффициент использования агрегата питания снижается незначительно, а выпрямленное напряжение получается более качественным (коэффициент пульсаций не превышает значений 5 проц. даже при относительно высоких нагрузках генератора). Поэтому задачей расчета генератора, работающего на выпрямительный блок, является получение трапецеидальной э.д.с. с выбранным углом наклона. Эта задача сводится к определению такой кривой индукции в воздушном зазоре, которая давала бы в распределенной на статоре обмотке э. д. с. трапецеидальной формы.

Спектр гармонических трапецеидальной волны э.д.с., форма которой указана на рис. 1, определяется разложением в ряд Фурье:

$$E(\omega t) = \frac{4E}{\pi\beta} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2n-1)\beta}{(2n-1)^2} \cdot \sin(2n-1)\omega t. \quad (1)$$



Р и с. 1.

Применяя метод наложения, будем считать, что в воздушном зазоре индукция состоит из ряда гармонических и каждая гармоническая создает свою э.д.с. с частотой гармонической магнитной индукции, т. е.

$$E_{m\nu} = 4,44 \cdot \tau_v \cdot I \cdot W \cdot k_{об\nu} \cdot f_v \cdot B_{m\nu}, \quad (2)$$

$$\nu = 2n - 1.$$

Для упрощения получения трапецеидальной э.д.с. берут обычно обмотку с полным шагом, т. е. коэффициент укорочения такой обмотки  $k_{y1} = k_{yv} = 1$ , а следовательно, обмоточный коэффициент равен коэффициенту распределения

$$K_{o61} = K_{p1}, K_{o6v} = K_{pv}.$$

Коэффициент распределения зависит от числа пазов на полюс и фазу  $q$  и определяется

$$K_{pv} = \frac{\sin \frac{\nu\pi}{2m}}{q \sin \frac{\nu\pi}{2mq}}.$$

Этот коэффициент различный для различных гармонических и, следовательно, не пропорционально уменьшает э.д.с., создаваемые гармоническими. Это обстоятельство является причиной того, что форма э.д.с. отклоняется от формы кривой индукции.

Явление, являющееся положительным с точки зрения улучшения синусоидальности кривой э.д.с., оказывается в рассматриваемом случае вредным. Поэтому необходимо, еще перед окончательным расчетом магнитной цепи определить конфигурацию полюсов индуктора таким образом, чтобы в воздушном зазоре была кривая м.д.с., дающая с учетом  $K_{o6v}$  необходимую форму кривой э.д.с.

Выразим амплитуды гармонических через основную

$$\frac{E_{mv}}{E_{m1}} = \frac{K_{o6v}}{K_{o61}} \cdot \frac{B_{mv}}{B_{m1}}. \quad (3)$$

Отсюда амплитуда индукции  $\nu$ -ой гармонической

$$B_{mv} = \frac{E_{mv}}{E_{m1}} \cdot \frac{K_{o61}}{K_{o6v}} \cdot B_{m1} \quad (4)$$

или, если принять значение первой гармонической за базу, амплитуда высших гармонических индукции в воздушном зазоре в относительных единицах изобразится:

$$B_{mv}^* = E_{mv}^* \cdot \frac{1}{K_{o6v}^*}, \quad (5)$$

где

$$E_{mv}^* = \frac{E_{mv}}{E_{m1}}; K_{o6v}^* = \frac{K_{o6v}}{K_{o61}}.$$

Таким образом, зная спектр гармонических необходимой формы кривой э.д.с., можно определить, задаваясь типом обмотки, спектр гармонических кривой индукции в воздушном зазоре

$$B_{\delta(x)} = \sum_{\nu=1}^{\infty} B_{mv} \cdot \sin \left( \nu \frac{\pi}{\tau} x + \psi_{\nu} \right). \quad (6)$$

Затем считая распределение м.д.с. по длине полюсного деления прямоугольным (сосредоточенная обмотка возбуждения на роторе), а также пренебрегая магнитным сопротивлением стали ротора и статора, можно, ввиду относительно малых величин зазоров, индукцию в каждой точке поля рассматривать как частное от деления м.д.с. в данной точке на величину воздушного зазора. Величина зазора, или длина силовой линии в воздухе, может быть определена как отрезок радиуса окружности якоря, измеренной в данной точке между полюсом и якорем.

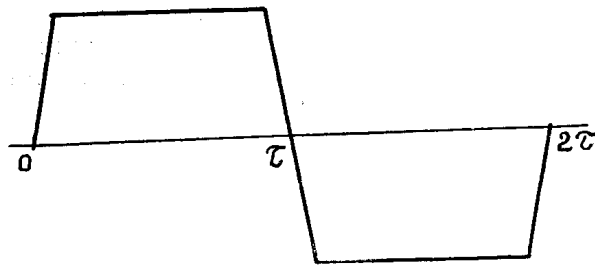


Рис. 2.

Таким образом, при сделанных допущениях

$$F = \frac{B_{\delta(x)}}{\mu_0} \cdot \delta(x) = \text{const.} \quad (7)$$

Примем за единицу воздушного зазора его величину под центром полюса ( $x = \frac{\tau}{2}$ ), тогда

$$F = \frac{B_{\delta\left(\frac{\tau}{2}\right)}}{\mu_0} \cdot \delta\left(\frac{\tau}{2}\right) = \frac{B_{\delta(x)}}{\mu_0} \cdot \delta(x). \quad (8)$$

Воздушный зазор, исходя из этого уравнения, в пределах полюсного деления определится:

$$\delta(x) = \frac{B_{\delta\left(\frac{\tau}{2}\right)}}{B_{\delta(x)}} \cdot \delta\left(\frac{\tau}{2}\right)$$

или

$$\delta^*(x) = \frac{B_{\delta\left(\frac{\tau}{2}\right)}}{B_{\delta(x)}}, \quad \text{где} \quad \delta^*(x) = \frac{\delta(x)}{\delta\left(\frac{\tau}{2}\right)}. \quad (9)$$

При предположении, в первом приближении, что статор является идеально гладким, величина воздушного зазора под полюсом определяет конфигурацию полюсного наконечника.

Что же касается расчета поля вне полюсного наконечника, то он может быть проведен по обычной методике расчета синхронных явнополюсных машин, с учетом заданного спектра гармонических магнитной индукции [2].

Форма поля в межполюсном промежутке определяется только распределением м.д.с. и отношением максимального зазора (под краем полюсного наконечника) к расстоянию между соседними полюсными

наконечниками  $\frac{\delta_{\max}}{\tau(1-\alpha)}$ . Построения этих полей [2] показали, что по-

ле в пространстве между полюсами весьма мало зависит от формы краев полюсных наконечников. При уменьшении зазора под серединой полюса, т. е. в нашем случае базового зазора, относительная величина потоков в межполюсном промежутке уменьшается. Поэтому учитывая, что зазоры в маломощных синхронных генераторах невелики, мож-

но с достаточной для практики точностью построить поле в междуполюсном промежутке.

Методикой определения конфигурации полюса и его ширины должно явиться следующее:

1. Из условий рационального размещения обмотки выбирают число  $q$  и тип обмотки. Обычно для трехфазных синхронных генераторов малой мощности выбирают двухслойную обмотку. Из условия получения трапецеидальной э.д.с. выбирают диаметральный шаг. Выбор величины  $q$  определяется полюсным делением машины и числом фаз. Так как полюсное деление при выбранном числе полюсов зависит от мощности генератора, то и  $q$  зависит от мощности.

Рекомендуется для магнитоэлектрических генераторов обычного применения [3], при  $P = 100 \div 250$  *ва*  $m = 3$  при  $2p = 6$  выбирать  $q = 1\frac{1}{2}$ , а при  $2p + 4$ ,  $q = 2\frac{1}{2}$ , при мощности порядка  $P = 750$  *ва* и  $2p = 6$ ,  $q = 2\frac{1}{2}$ . Но в обычном применении эти рекомендации исходят из условия получения лучшей формы кривой э. д. с., так как обмотка с дробным  $q$  с этой точки зрения эквивалентна обмотке с целым  $q$ , равным числителю дроби. Кроме того, увеличение  $q$  уменьшает рассеяние обмотки статора, улучшает условия ее охлаждения. Однако в нашем применении дробность  $q$  будет отрицательно сказываться на работе генератора, ибо кривая э.д.с. будет приближаться к синусоидальной. Поэтому в мало-мощных синхронных генераторах с трапецеидальной формой волны э. д. с. лучше выбирать  $q$ —целые, причем величина  $q$  определяется, как и в обычном применении, значением мощности и числа полюсов. Наиболее употребительные значения  $q$  для синхронных мало-мощных генераторов, работающих на выпрямитель,  $q = 1 \div 2$ . Большие значения  $q$  ведут к сильному усложнению формы полюса индуктора (подчас даже невыполнимую практически) для получения трапецеидальной э. д. с. С этой точки зрения предпочтительнее выполнение сосредоточенной обмотки ( $q = 1$ ) там, где по другим условиям выбор  $q = 1$ , или  $q = 2$  равнозначен.

После выбора обмотки определяются обмоточные коэффициенты для основной и высших гармоник.

2. Задаются спектром гармонических кривой э.д.с. и по выражению (5) определяют спектр гармонических индукций в воздушном зазоре (рис. 2).

3. С учетом спектра гармонических магнитной индукции в зазоре определяется конфигурация воздушного зазора на длине полюсного деления согласно выражению (9).

4. В соответствии с конфигурацией воздушного зазора выбирается ширина полюса и его конфигурация.

5. Строится картина поля в воздушном зазоре с учетом выбранной конфигурации полюса и проверяется индукция на поверхности статора. Вносятся необходимые коррективы с учетом действительного распределения индукции и влияния реакции якоря.

Дальнейший расчет обмотки статора и магнитной цепи производится обычным порядком в зависимости от типа магнитной цепи и типа генератора. Однако необходимо иметь в виду, что насыщение стали магнитопровода может исказить картину поля в зазоре, поэтому не следует сильно увеличивать значения индукции особенно в полюсах или полюсных наконечниках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. J. T. Дуане. Бесщеточный генератор постоянного тока для авиационного применения. Appl. and Industry, № 39, 1958.
2. Т. Г. Сорокер, И. Н. Горжевский. Расчет магнитных полей в зазоре явнополюсной машины. Электричество, № 6, 1952.
3. Плещунов И. Н. Магнитоэлектрические синхронные генераторы с ротором типа «звездочка», диссертация, ВНИИЭМ, Москва, 1964.