

**РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК  
БЕСКОНТАКТНОГО ОДНОФАЗНОГО СИНХРОННОГО  
ГЕНЕРАТОРА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ**

**А. П. Фельзинг, М. Л. Костырев, А. И. Скороспешкин**

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Проводимые в СССР исследования по проблеме оптимизации частоты промышленного переменного тока свидетельствуют о безусловной целесообразности применения повышенной частоты 100—400 гц [1]. В качестве источников повышенной частоты для автономных систем все более широко применяются бесконтактные генераторы, в том числе каскадные бесконтактные с совмещенными магнитными, а иногда и электрическими цепями. Каскадный генератор имеет электромагнитное возбуждение и допускает регулирование выходного напряжения в широком диапазоне. Совмещение двух или более машин в одном магнитопроводе позволяет выполнить генератор в одномашинном исполнении, уменьшить габаритные размеры и вес за счет сокращения расхода конструктивных материалов. Электрическое совмещение позволяет дополнительно сократить расход активных материалов, уменьшить количество обмоток и упростить тем самым конструкцию машины.

В предлагаемой статье описывается принцип действия и методика расчета основных характеристик каскадного бесконтактного однофазного синхронного генератора повышенной частоты с совмещенными магнитными и электрическими цепями, принципиальная схема которого приведена на рис. 1.

Генератор представляет собой каскадное соединение двух синхронных машин, схемы обмоток и числа пар полюсов которых выбраны и

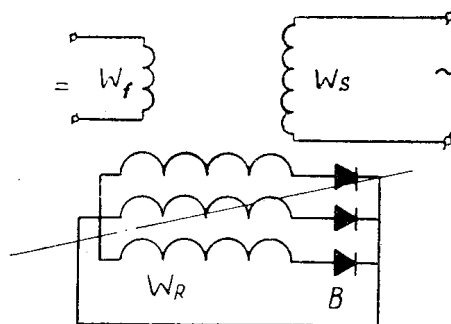


Рис. 1. Схема бесконтактного однофазного генератора с совмещенными магнитными и электрическими цепями

выполнены таким образом, что между ними отсутствует взаимоиндуктивная связь. Особенностью схемы рис. 1 является то, что обмотка ротора  $W_R$ , замкнутая через однополупериодный выпрямитель, выполняет одновременно две функции:

- а) выходной обмотки первого каскада.
- б) обмотки возбуждения второго каскада.

Генератор работает следующим образом. При подаче напряжения на обмотку возбуждения  $W_f$  и вращении ротора в обмотке  $W_R$  наводится э.д.с. с частотой

$$f_R = P_1 \cdot n, \quad (1)$$

где (1)

- $P_1$  — число пар полюсов первого каскада,
- $n$  — скорость вращения ротора в об/сек.

Эта э.д.с. через однополупериодный выпрямитель питает обмотку ротора постоянным током. Выпрямленный ток, протекая по обмотке ротора, создает неподвижный относительно ротора магнитный поток с числом пар полюсов  $P_2$ . При этом первые гармонические н. с. отдельных фаз обмотки, создаваемых постоянной составляющей тока, совпадают по фазе во времени, сдвинуты в пространстве на угол  $\frac{2\pi}{m}$  и дают в

геометрической сумме нуль [2]. Гармонические составляющие н. с. кратные  $m$ , совпадают по фазе во времени и сдвинуты в пространстве на угол

$$\frac{2\pi}{m} \cdot \nu_m, \quad \text{где } \nu_m = k \cdot m, \quad k = 1, 3, 5.$$

$m$  — число фаз обмотки ротора, т. е. в пространстве они совпадают и накладываются друг на друга.

Следовательно, результирующая постоянная н. с. всех фаз обмотки ротора от выпрямленного тока является результатом наложения друг на друга гармоник, кратных числу фаз этой обмотки. Все остальные гармоники постоянных н. с. фаз дают в сумме нуль.

Число пар полюсов постоянного магнитного поля, создаваемого обмоткой ротора

$$P_2 = \nu_m \cdot P_1. \quad (2)$$

Амплитудное значение постоянной н. с. совмещенной обмотки на пару полюсов

$$F_R = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{m \cdot W_R \cdot k_{об} \gamma_m}{P_2} \cdot I_R, \quad (3)$$

где  $W_R$  — число витков в фазе,

$k_{об} \gamma_m$  — обмоточный коэффициент для гармонической  $\gamma_m$ ,

$I_R$  — постоянная составляющая тока в фазе обмотки ротора.

Под действием этой н. с. в выходной обмотке  $W_S$  наводится э.д.с. с частотой

$$f_S = p_2 \cdot n. \quad (4)$$

Обмотка статора  $W_S$  при протекании по ней переменного тока нагрузки создает пульсирующее поле, которое может быть представлено состоящим из двух, вращающихся в противоположные стороны, магнитных полей, с амплитудами, равными половине амплитуды пульсирующего поля.

В обычных генераторах обратносинхронное поле (ОСП) приводит к ряду нежелательных явлений — возникают добавочные потери в обмотке возбуждения, искажается форма выходного напряжения и т. д. В предлагаемой схеме бесконтактного генератора ОСП используется в качестве обратной связи по току. Наводимая в обмотке ротора э.д.с. от

ОСП через однополупериодный выпрямитель питает эту же обмотку постоянным током, пропорциональным току нагрузки.

Появление обратно синхронного поля при включении генератора на нагрузку и работа выпрямителя в режиме короткого замыкания обуславливают специфичность методики расчета характеристик такого генератора.

Наличие индуктивного сопротивления рассеяния в фазах обмотки ротора приводит к тому, что диоды, работая в таком глубоком режиме, проводят ток практически в течение всего периода. Поэтому угол коммутации диодов без учета активного сопротивления фазы  $\gamma \approx 180^\circ$ . Ток в каждой фазе существует в течение всего периода, а его среднее значение [3, 4]

$$I_{R1} = \frac{E_{01}}{X_{d1}}, \quad (5)$$

где  $E_{01}$  — э.д.с. наводимая потоком возбуждения в обмотке ротора.

$X_{d1}$  — синхронное сопротивление первого каскада. Таким образом, постоянная составляющая тока, протекающая по обмотке ротора, равна току трехфазного короткого замыкания первого каскада. Из условия равенства действительной и приведенной н. с., создаваемой обмоткой  $W_f$ , коэффициент приведения обмотки возбуждения к ротору

$$K_{i1} = \frac{I_f}{I_f'} = \frac{0,9 \cdot m \cdot W_R \cdot K_{об}}{W_f \cdot K_f}, \quad (6)$$

где  $W_f$ ,  $K_f$  — число витков и коэффициент формы поля обмотки возбуждения,

$K_{об}$  — обмоточный коэффициент обмотки ротора относительно поля первого каскада.

Постоянная составляющая тока в роторе от поля возбуждения

$$I_{R1} = I_{\mu 1} - \frac{I_f}{K_{i1}}, \quad (7)$$

где  $I_{\mu 1}$  — ток намагничивания первого каскада.

Обмотки  $W_S$  и  $W_R$  относительно ОСП можно рассматривать как обмотки некоторого замкнутого накоротко трансформатора [5]. Из условия равенства действительной и приведенной н. с., создаваемой обмоткой статора, коэффициент приведения обмотки статора к ротору

$$K_{i2} = 2 \frac{m \cdot W_R \cdot K_{об\gamma m}}{W_S \cdot K_{обS}}, \quad (8)$$

где  $K_{обS}$  — обмоточный коэффициент обмотки статора. Постоянная составляющая тока в роторе от обратносинхронного поля

$$I_{R2} = I_{\mu 2} - \frac{I_S}{K_{i2}}, \quad (9)$$

где  $I_{\mu 2}$  — ток намагничивания второго каскада относительно ОСП.

Результирующий постоянный ток в фазе обмотки ротора

$$I_R = I_{R1} + I_{R2}. \quad (10)$$

Наличие трансформаторной связи между обмотками  $W_S$  и  $W_R$  приводит к дополнительному падению напряжения на выходе генератора. С учетом этого напряжения на выходе генератора

$$U_S = E_{02} - j(X_a + X) \cdot I - R \cdot I, \quad (11)$$

$$X = X_{\sigma S} + X_2, \quad R = r_S + r_2,$$

где

$r_1$  и  $r_2$  — активные сопротивления прямой и обратной последовательности обмотки  $W_s$ ,

$X_{\sigma s}$ ,  $X_a$ ,  $X_2$  — индуктивные сопротивления рассеяния, прямой и обратной последовательности обмотки  $W_s$ .

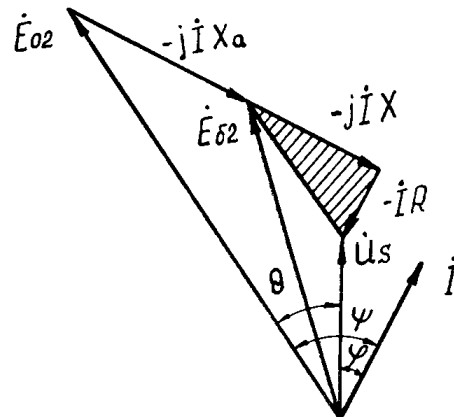


Рис. 2. Векторная диаграмма эдс бесконтактного однофазного генератора

На рис. 2 построена векторная диаграмма э.д.с., из которой получаем следующее выражение для внешней характеристики однофазного совмещенного генератора

$$U_s = \sqrt{E_{02}^2 - [(X_d \cos \varphi - R \sin \varphi) \cdot I_s]^2} - (x_d \sin \varphi + R \cos \varphi) \cdot I_s, \quad (12)$$

где

$$X_d = X_a + X.$$

По предложенной методике определения тока в роторе и учета влияния ОСП были рассчитаны характеристика холостого хода и внешняя характеристика совмещенного однофазного генератора, приведенные на рис. 3 и 4. Для сравнения на этих же рисунках приведены и экспериментально снятые характеристики. Кроме того, на рис. 4 приведена экспериментально снятая внешняя характеристика без использования ОСП. Эксперименты проводились на макете генератора с совмещенными магнитными электрическими цепями, изготовленного на базе двигателя АО—32—6. Данные макета:

$$\begin{aligned} P &= 150 \text{ Вт,} \\ f_s &= 150 \text{ Гц,} \\ n &= 3000 \text{ об/мин.} \end{aligned}$$

Как видно из приведенных рисунков, расчетные и экспериментальные кривые достаточно близко совпадают друг с другом. Некоторое расхождение объясняется тем, что при расчете характеристики холостого хода не учитывались потери в стали, а при расчете внешней характеристики — токи намагничивания.

Из выражения (10) и из сравнения кривых рис. 4 видно, что использование ОСП существенно увеличивает жесткость внешней характеристики, а следовательно, и мощность каскадного однофазного бесконтактного синхронного генератора.

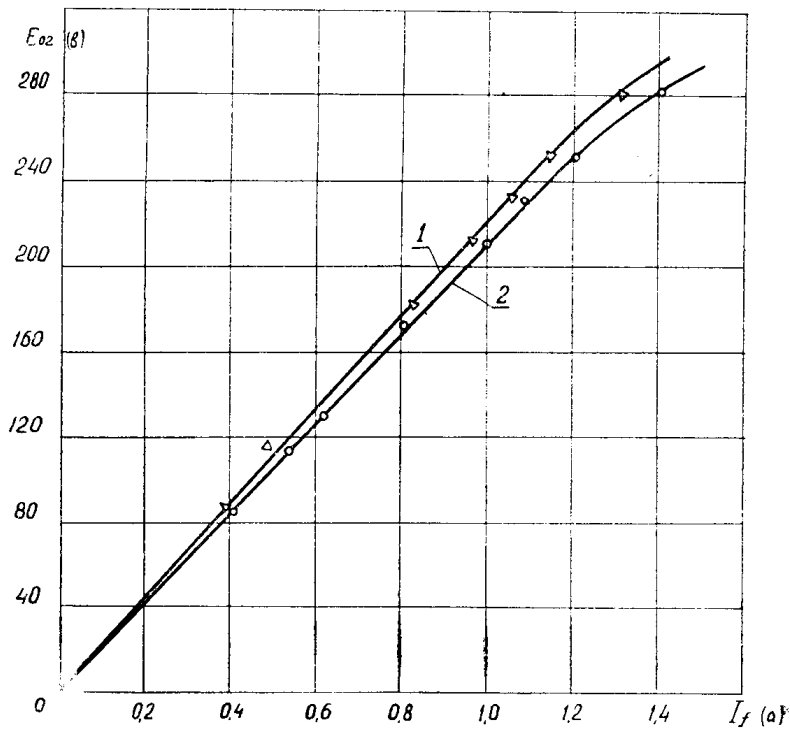


Рис. 3. Характеристика холостого хода: 1) расчетная, 2) экспериментальная

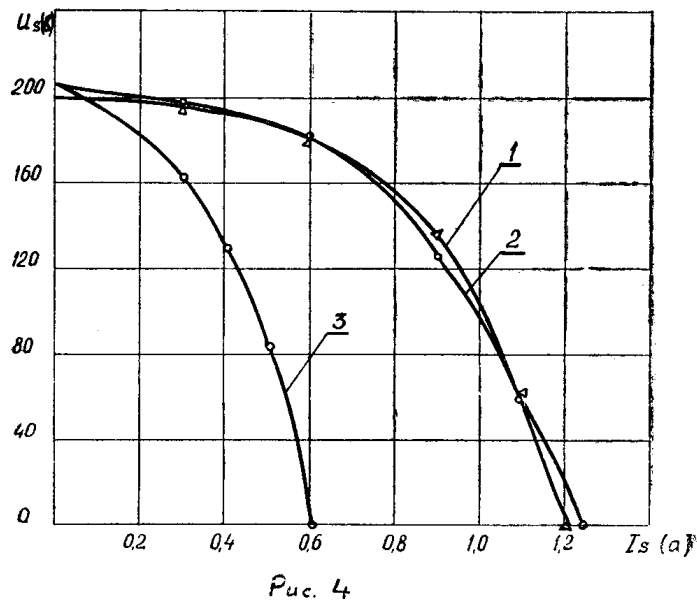


Рис. 4. Внешние характеристики: 1) расчетная, 2) экспериментальная, 3) экспериментальная без использования ОСП

## Выводы

1. Однофазный синхронный генератор с совмещенными магнитными и электрическими цепями имеет простую конструкцию и жесткие внешние характеристики за счет использования обратносинхронного поля.

Предложенный метод учета влияния ОСП и режима работы выпрямителя позволяет с достаточной для практики точностью рассчитывать все характеристики однофазного совмещенного генератора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Чалый. Частота промышленного переменного тока и проблема ее оптимизации. АН Молд. ССР, Кишинев, 1969.
  2. В. И. Попов. Одномашинный трехфазный утроитель частоты с совмещенными обмотками. Передовой научно-технический и производственный опыт, № 9—68—188/16.
  3. В. Н. Аксенов. Выпрямители и трансформаторные подстанции. Москва, 1961.
  4. И. А. Глебов. Применение выпрямителей для возбуждения синхронных генераторов. Москва, 1963.
  5. М. П. Костенко и Л. М. Пиотровский. Электрические машины, ч. 2, «Энергия», 1964.
-