

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ В ЗАЗОРЕ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ПОМОЩЬЮ ВИТКОВ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ

**Махмадиев Г.М.**

Алмалыкский филиал Ташкентского  
государственного технического университета

E-mail: [giyos2007@rambler.ru](mailto:giyos2007@rambler.ru)

### АННОТАЦИЯ

Применение синусоидальных измерительных витков для определения синхронного поля в воздушной зазоре с помощью витков синусоидальной формы с учетом величин потоков рассеяния по коронке зубцов обмотки якоря пронизывающих синусоидальные витки который даёт возможность более точно определять режимные величины машин переменного тока.

**Ключевые слова:** синусоидальный, измерительный, витке, зазор, поток, рассеяния, коронка зубца.

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE FIELD IN THE GAP OF A SYNCHRONOUS MACHINE WITH THE HELP OF SINUSOIDAL COILS

#### ABSTRACT

The use of sinusoidal measuring coils to determine the synchronous field in the air gap using coils of a sinusoidal shape, taking into account the magnitude of the leakage fluxes along the crown of the teeth of the armature winding penetrating the sinusoidal coils, which makes it possible to more accurately determine the regime values of AC machines.

**Key words:** sinusoidal, measuring, coil, gap, flow, scattering, tooth crown.

#### ВВЕДЕНИЕ

Общее известно, что поведение электрической машины переменного тока, т.е. основные электромагнитные процессы в электромагнитном преобразованы энергии в ней определяются синхронным полем в её основном воздушном зазоре. Поэтому большинство из известных экспериментальных методов исследования магнитного поля машины в её воздушном зазоре посвящены в основном определению именно в этой составляющей поля

#### ЛИТЕРАТУРА И МЕТОДОЛОГИЯ

Для гармонического анализа электромагнитного поля в воздушном зазоре машины переменного тока в статических и переходных режимах ее работы применяются измерительные витки синусоидальной формы [1,2,3,4,5].

Фирма Сименс закладывает синусоидальный виток в воздушный зазор для измерения первой пространственной гармонической поля при расчете переходных процессов в турбогенераторах [5]. Путем исследования ЭДС, наводимых в измерительных витках синусоидальной формы, установленных в воздушном зазоре турбо – и гидрогенераторов в [3], указывается на то, что в витке синусоидальной формы, распределенной вдоль расточки статора, наводится ЭДС только от той пространственной гармонической поля, период которой совпадает с длиной волны наложенного синусоидального витка.

Экспериментальные исследования статических режимов работы синхронных машин в неподвижном состоянии ротора путем питания обмоток статора и ротора постоянным током проводились с помощью витков синусоидальной и косинусоидальной форм относительно поперечной оси, установленных в воздушном зазоре на поверхности ротора по продольной и поперечной осям, соответственно [2]. В [1] отмечается, что осциллографирование электромагнитного момента в статических и переходных режимах работы машины переменного тока осуществляется путем непосредственного измерения ЭДС воздушного зазора с помощью витка синусоидальной формы. Исследования особенностей поля, создаваемой обмоткой якоря в воздушном зазоре машины переменного тока показали, что пространственные гармонические поля многофазной обмотки якоря, питаемой многофазным током в отличие от гармонических поля возбуждения синхронной машины, являются не вращающимися относительно создающей их обмотки, а восстанавливающимися и суммирование их в определенном диапазоне порядка пространственного распределения дает картину поля рассеяния обмотки якоря по коронкам зубцов [6, 7]. Кривая распределения поля рассеяния по коронкам зубцов по окружности воздушного зазора показывает, что оно образует пары полюсов, поток каждой из которых сцеплен с определенным пазом, величина полного тока которого отлична от нуля и протекает в воздушном зазоре в радиальном и тангенциальном направлениях, а часть его может проникать в тело ротора и сцепляться с контурами в нем. Поток рассеяния по коронкам зубцов сцепляясь с синусоидальным витком, уложенным в воздушный зазор наводит в ней ЭДС основной гармонической, вектор которой в зависимости от режима работы машины определенным образом направлен по отношению к ЭДС воздушного зазора. В результате этого синусоидальный виток для основной гармонической поля, уложенный по расточке статора, не измеряет

непосредственно ЭДС воздушного зазора при нагрузке. Поэтому выводы, сделанные в [3] относительно того, что «измерительные витки, синусоидально распределенные вдоль расточки статора с длиной волны, равной длине волны исследуемой пространственной гармонической поля, являются пространственными фильтрами, выделяющими соответствующие пространственные гармонические», следует отнести не к восстанавливающимся [6] пространственным гармоническим полям якоря, а только к вращающимся вместе с ротором гармоническим полям обмотки возбуждения синхронных машин. В переходных режимах, когда ток якоря в несколько раз может превышать свою номинальную величину ЭДС, наводимый в синусоидальном витке от потока рассеяния по коронкам зубцов, существенно исказит величину измеряемой ЭДС воздушного зазора. Проведенные расчеты на ЭВМ величины потока рассеяния по коронкам зубцов, пронизывающего синусоидальный виток, установленный по расточке статора [8] показали, что он имеет довольно большую величину, особенно в машинах с малой величиной воздушного зазора. В явнополюсных синхронных машинах величина потока рассеяния по коронкам зубцов зависит от характера тока якоря. Синусоидальные витки должны быть уложены там, где это возможно, в тех частях воздушного зазора, где поле рассеяния по коронкам зубцов практически отсутствует. Это поле убывает по мере удаления от поверхности расточки статора, достигая практически нулевого значения на расстоянии, равном половине зубцового шага статора. В двухполюсных турбогенераторах обычно воздушный зазор больше половины зубцового шага статора и поэтому у них есть возможность размещения синусоидальных витков в воздушном зазоре вне зоны действия поля рассеяния по коронкам зубцов. В машинах с малым зазором такой возможности нет и учет ЭДС, наводимой в синусоидальном витке от потока рассеяния по коронкам зубцов, может быть осуществлен расчетно.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Для проверки теоретических рассуждений относительно образования поля рассеяния по коронкам зубцов якоря, как сумма пространственных гармонических в определенном диапазоне их порядка пространственного распределения и пронизывания ими синусоидальных измерительных витков, построенных для основной гармонической поля воздушного зазора и установленных в воздушном зазоре, в синхронной явнополюсной машине типа МСА-72/4 воздушный зазор под полюсным наконечником был увеличен с 0,76 мм до равномерного 3,2 мм. На одном месте по его окружности в пределах одного полюсного деления были установлены два синусоидальных витка для основной гармонической поля с расстоянием между ними в радиальном

направлении равно  $\Delta\rho = 1,8$  мм. Один из синусоидальных витков располагался на поверхности расточки статора и имел длину полуволны, равную полюсному

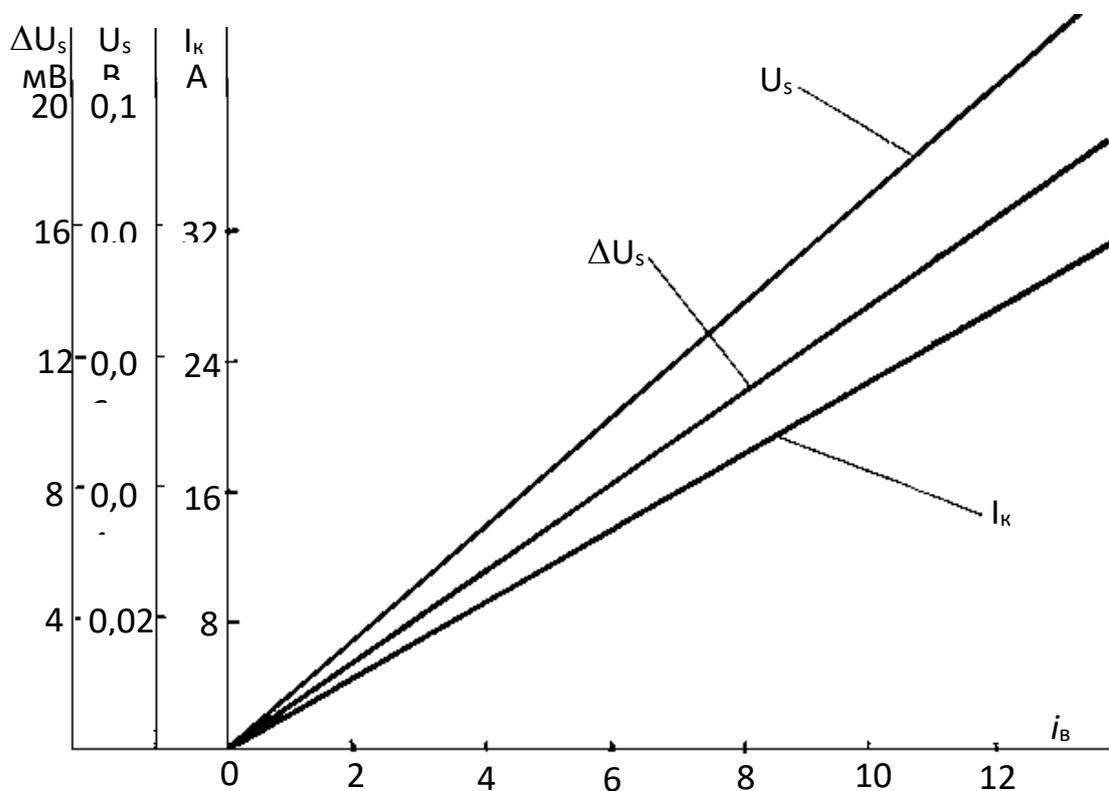


Рис. 1. Характеристика трехфазного короткого замыкания и зависимости  $U_s, \Delta U_s = f(i_B)$ .

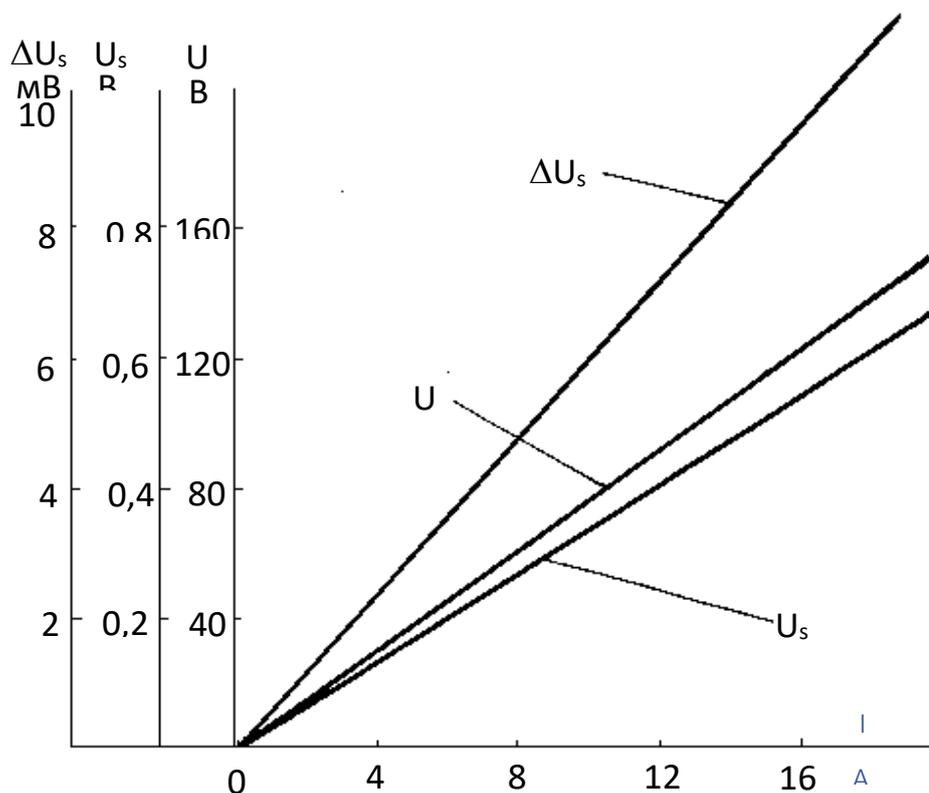


Рис. 2. Зависимости  $U$ ,  $U_s$ ,  $\Delta U_s = f(I)$  при питании со статора.

делению, а вторая с длиной полуволны

$$\tau_p = \frac{\pi(D - 2\Delta\rho)}{2p},$$

где

$D$  – диаметр расточки статора;

$p$  – число пар полюсов, был установлен ближе к ротору. Таким образом, каждый синусоидальный виток имел длину полуволны, равную расстоянию между осями двух соседних полюсов, соответствующему его месту расположения в радиальном направлении воздушного зазора.

Исследования проводились в режимах холостого хода, трехфазного короткого замыкания и при питании трехфазным током отдельно со стороны статора при разомкнутой обмотке возбуждения.

Во всех опытах поддерживалось вращение ротора с синхронной скоростью измерялись ЭДС наводимый в синусоидальном витке  $U_s$ , а также разность ЭДС  $\Delta U_s$  основной гармонической, наводимых в витках синусоидальной формы при их противовключении.

### ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 приведена характеристика трехфазного короткого замыкания  $I_k = f(i_B)$ , а также зависимости  $U_s$ ,  $\Delta U_s = f(i_B)$  в этом режиме. На рис. 2 приведена зависимость напряжения на зажимах якоря  $U$  от тока статора  $I$ , а также зависимости  $U_s$ ,  $\Delta U_s = f(I)$  при питании трехфазным током со стороны статора и разомкнутой обмотке возбуждения. Из сопоставления кривых видно, что величина  $\Delta U_s$  при одинаковых значениях тока статора в обоих опытах практически одинаковая. При возбуждении машины только со стороны ротора, т.е. в режиме холостого хода величина  $\Delta U_s$  практически была равна нулю. Значит величина  $\Delta U_s$  обусловлена в основном потоком рассеяния якоря по коронкам зубцов, который пронизывает синусоидальный виток тем больше, чем он ближе к поверхности расточки статора. Это показывает на то, что гармонические поля якоря в отличие от вращающихся вместе с ротором гармонических поля возбуждения являются восстанавливающимися и совокупность их в определенном диапазоне высокого порядка их пространственного распределения образует поле рассеяния по коронкам зубцов, пронизывающее синусоидальный виток, а вращающиеся высшие гармоники поля обмотки возбуждения не пронизывают синусоидальный виток для основной гармонической.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синусоидальный виток нельзя применить для непосредственного измерения ЭДС воздушного зазора без учета восстанавливающегося характера гармоник поля обмотки якоря. Это особенно важно при исследовании переходных процессов, связанных с большой величиной тока якоря.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА: (REFERENCES)

1. Ахматов М.Г., Ахматова В.М., Камалов Н.К. Осциллографирование электромагнитного момента машины переменного тока // Изв. АН Уз ССР, СТН. –1980. –№1. –С. 39 – 42.
2. Ахматов М.Г. Синхронные машины. Специальный курс. –М.: Высш. шк., 1984. –135 с.
3. Казовский Е.Я., Лернер Л.Г., Шмони́на Л.И. Метод экспериментального исследования магнитного поля в воздушном зазоре турбо– и гидрогенераторов //Турбо– и гидрогенераторы. Методы исследования и расчета. –Л.: Наука, 1974. –С. 56–65.
4. Одилов Г. Исследование поля в зазоре синхронной машины с помощью витков синусоидальной формы //Межвуз. сб. науч. тр. «Актуальные вопросы в области гуманитарных, социально – экономических и технических наук», ТашГТУ, Ташкент. – 1996. – С. 183 – 187.
5. Fork K. Meßtechnische Crundlagen zur Berechnung von Ausgleichsvorgangen der Synchronmaschine ETZ–A, 1967, 88, №3.
6. Одилов Г. Восстанавливающийся характер поля якоря в воздушном зазоре многофазной машины переменного тока: //Межвуз. сб. науч. тр. «Актуальные вопросы в области гуманитарных, социально – экономических и технических наук», Таш ГТУ, Ташкент. – 1996. – С. 57 – 61.
7. Одилов Г. Поле рассеяния по коронкам зубцов якоря машины переменного тока //7-междунар. межвуз. конфер. «Теория и методы расчета нелинейных цепей и систем»: Сб. матер. – Ташкент, ТашГТУ, 1995. – С. 63.
8. Одилов Г. Расчет потока рассеяния по коронкам зубцов якоря электрической машины, пронизывающего синусоидальный виток //7-междунар. межвуз. конфер. «Теория и методы расчета нелинейных цепей и систем»: Сб. матер. – Ташкент, ТашГТУ, 1995. – С. 62.