

В.В.Суханов
СПГПУ, кафедра «Электрические машины»
**Моделирование при помощи пакета ELCUT магнитных полей
в явнополюсном синхронном генераторе при различных способах
возбуждения магнитной системы машины**
(Аннотация доклада)

Вступительная часть

Возбуждение магнитной системы со стороны ротора явнополюсного синхронного генератора принципиально возможно тремя способами. Это:

1. Традиционное электромагнитное возбуждение при помощи обычной обмотки возбуждения (ОВ), питаемой постоянным током.
2. Возбуждение с помощью постоянных магнитов (ПМ) с высокими энергетическими параметрами [магниты типа Sm-Co (самарий-кобальт) и Nd-Fe-B (неодим-железо-бор)].
3. Комбинированное возбуждение, когда на роторе имеется как обычная обмотка возбуждения, так и постоянные магниты.

Синхронные генераторы с традиционной системой возбуждения обладают хорошими регулировочными свойствами как при работе на сеть, так и на автономную нагрузку (например, регулировочные характеристики при постоянном $\cos\varphi$ или при постоянной активной мощности P_a). Однако применение обычных обмоток возбуждения в ряде случаев ограничивается электрическими и тепловыми нагрузками.

Использование для возбуждения высокоэнергетических постоянных магнитов позволяет избавиться от потерь на возбуждение и уменьшить габариты ротора, а, следовательно, и всей машины в целом. Вместе с тем, в генераторах с возбуждением от постоянных магнитов отсутствует возможность влиять на изменение основного потока, то есть машина становится нерегулируемой и в этом их недостаток.

При комбинированном возбуждении большая часть основного потока создается постоянными магнитами, а обычная обмотка с электромагнитным возбуждением имеет меньшую мощность - такую, чтобы создаваемый ею дополнительный поток составлял бы примерно $\pm 10\%$ от потока постоянного магнита.

Основной целью нижеследующего доклада является демонстрация на примере конкретной машины возможностей программного комплекса ELCUT по расчету магнитных полей в синхронном генераторе при вышеперечисленных способах возбуждения магнитной системы со стороны явнополюсного ротора.

Основные данные синхронного генератора:

1. Номинальная мощность - $P_n = 800$ кВт;
2. Номинальное линейное напряжение - $U_{лн} = 490$ В;
3. Номинальный фазный ток - $I_{фн} = 1109$ А;
4. Число фаз - $m = 3$;
5. Число пар полюсов - $p = 3$;
6. Номинальная частота вращения - $n_n = 1000$ об/мин;
7. Номинальный коэффициент мощности - $\cos\varphi_n = 0,85$;
8. Номинальная частота - $f_n = 50$ Гц;
9. Соединение фаз обмотки статора - звезда;

Определение основных размеров магнитной системы и электромагнитный расчет машины с вышеприведенными исходными данными выполнен на основе обычной инженерной методики расчетов, основанной на законе Ома для магнитной цепи. Полученная при этом геометрия магнитной системы в поперечном сечении машины показана на рис.1.

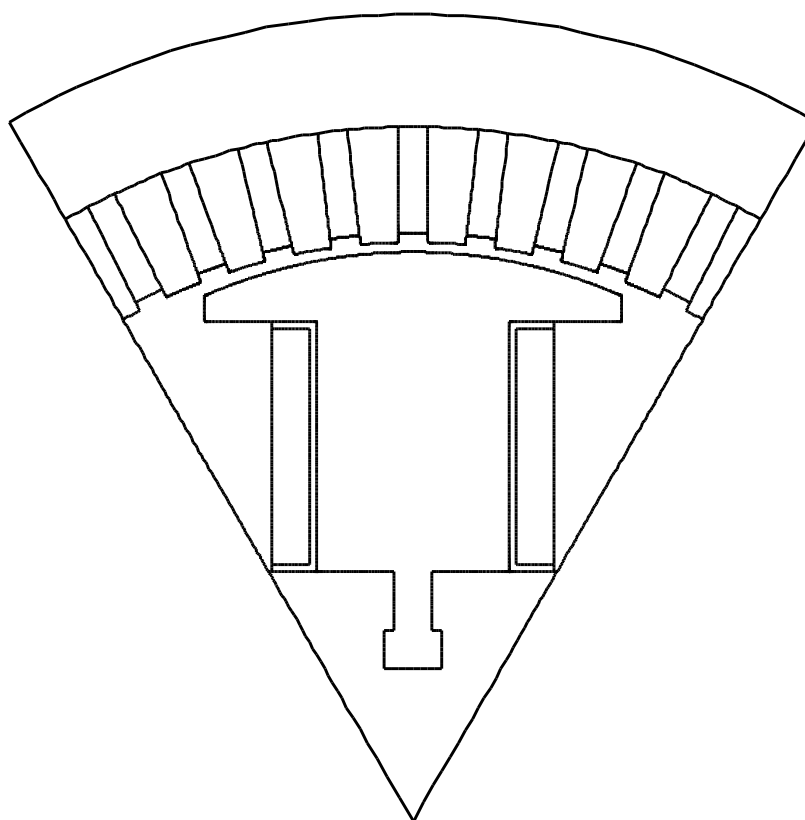


Рис.1. Геометрия магнитной системы на полюсном делении синхронного явнополюсного генератора. Ось d совпадает с осью паза.

В результате электромагнитного расчета было получено, что в режиме холостого хода номинальному потоку полюса в зазоре $\Phi_{он}=0,111$ Вб (ось ординат на рис.2) от основной гармоники магнитной индукции поля возбуждения ротора соответствует номинальная намагничивающая сила (н.с.) на пару полюсов $F_{он}=6672$ А (ось абсцисс на рис.2). При этом сама характеристика холостого хода (кривая намагничивания) выглядит так, как это показано на рис.2 в виде сплошной кривой (trace 1).

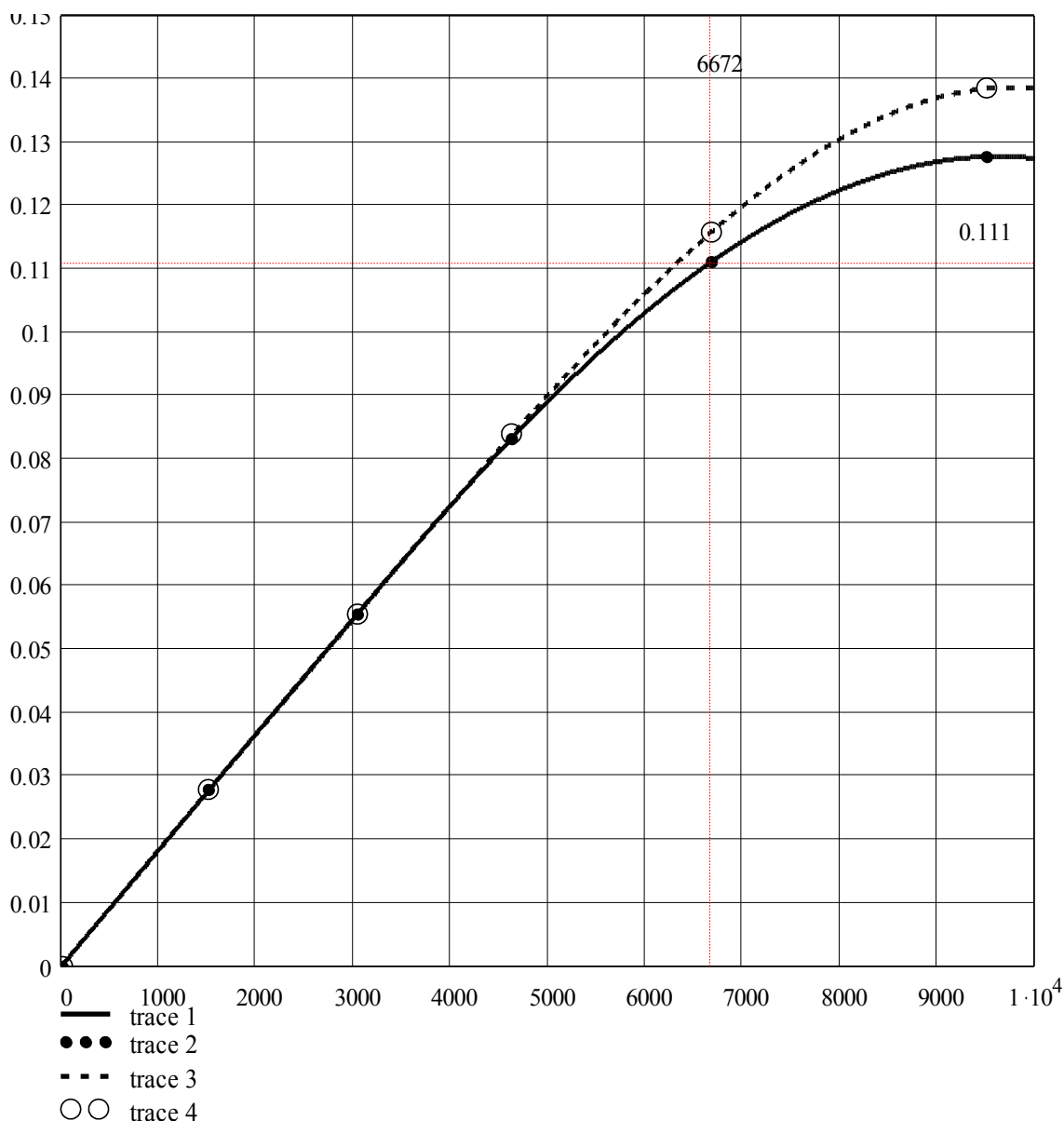


Рис.2. Характеристики холостого хода.

trace 1, trace 2- электромагнитный расчет;
trace 3, trace 4- моделирование при помощи Elcut.

Пунктирная кривая на рис.2 (trace 3) получена путем моделирования средствами программного комплекса Elcut для геометрической конфигурации магнитной системы, показанной на рис.1, и при тех же значениях намагничивающей силы обмотки возбуждения (trace 2 и trace 4).

Понятно, что результаты полевых расчетов (результаты моделирования) являются более точными, нежели результаты электромагнитного расчета, основанные на методе магнитных цепей. Так, из полевых расчетов величина основного потока при $F_{\text{он}}=6672$ А оказалась несколько большей номинального значения ($\Phi_0=0.116$ Вб $>$ $\Phi_{\text{он}}=0.111$ Вб), в то время как из тех же полевых расчетов следует, что для создания того же номинального потока $\Phi_{\text{он}}$ требуется меньшая намагничивающая сила ($F_0=6300$ А $<$ $F_{\text{он}}=6672$ А). Таким образом, результаты моделирования позволяют скорректировать номинальную величину намагничивающей силы обмотки возбуждения до значения $F_{\text{он}}=6300$ А, которое необходимо для создания номинального потока $\Phi_{\text{он}}=0,111$ Вб.

Основное содержание доклада

Содержательную часть доклада по заявленной теме можно классифицировать следующим образом:

Магнитные поля явнополюсного синхронного генератора при различных способах возбуждения магнитной системы машины со стороны ротора

I. Электромагнитное возбуждение (ЭМВ)

(Вал ротора – ферромагнитный)

I.1. Магнитное поле ротора. Продольная ось ротора d совпадает с осью зубца статора.

I.2. Продольное магнитное поле якоря. Продольная ось ротора d совпадает с осью зубца статора.

III.3. Поперечное магнитное поле якоря. Продольная ось ротора d совпадает с осью паза статора.

II. Магнитоэлектрическое возбуждение (МЭВ)

(Вал ротора – немагнитный)

II.1. Магнитное поле ротора. Продольная ось ротора d совпадает с осью зубца статора.

II.2. Продольное магнитное поле якоря. Продольная ось ротора d совпадает с осью зубца статора.

II.3. Поперечное магнитное поле якоря. Продольная ось ротора d совпадает с осью паза статора.

III. Комбинированное возбуждение (КВ)

(Вал ротора – немагнитный)

III.1. Магнитное поле ротора. Продольная ось ротора d совпадает с осью зубца статора. Обмотка возбуждения включена встречно по отношению к полю постоянного магнита.

III.2. Магнитное поле ротора. Продольная ось ротора d совпадает с осью зубца статора. Обмотка возбуждения обесточена.

III.3. Магнитное поле ротора. Продольная ось ротора d совпадает с осью зубца статора. Обмотка возбуждения включена согласно по отношению к полю постоянного магнита.

III.4. Продольное магнитное поле якоря. Продольная ось ротора d совпадает с осью зубца статора.

III.5. Поперечное магнитное поле якоря. Продольная ось ротора d совпадает с осью паза статора.

Для каждого пункта I.1-III.5 создана своя «папка» с соответствующим набором Elcut-файлов (файлы задачи, геометрии, физических свойств и результатов). Основные комментарии и пояснения ко всем задачам моделирования магнитных полей будут даны при непосредственном рассмотрении каждого конкретного варианта расчета. В нижеследующей таблице приведены лишь те результаты постпроцессорной обработки, которые касаются расчета амплитуды основной (первой) гармоники магнитной индукции на уровне середины минимального зазора.

Таблица

Способ возбуждения	ЭМВ	МЭВ	Комбинированное возбуждение $H_c=860$ кА/м	
			ОВ вкл. встречно	0.561
Амплитуда 1-ой гармоники магнитной индукции поля возбуждения ротора на уровне середины минимального зазора $B_{\delta m1o}$ (Т)	0.631	0.633 $H_c=785$ кА/м	ОВ	0.632
			обесточена	
			ОВ вкл. согласно	0.7
Амплитуда 1-ой гармоники магнитной индукции продольного поля якоря на уровне середины минимального зазора $B_{\delta m1d}$ (Т)	0.878	0.319 $H_c=0$	0.319 $H_c=0$ ОВ обесточена	
Амплитуда 1-ой гармоники магнитной индукции поперечного поля якоря на уровне середины минимального зазора $B_{\delta m1q}$ (Т)	0.573	0.573 $H_c=0$	0.573 $H_c=0$ ОВ обесточена	

Значение индукции $B_{\delta m1o}$ при электромагнитном возбуждении получено при н.с. на пару полюсов $F_{он}=6300$ А, а при комбинированном возбуждении-при н.с. $F_o=3000$ А (н.с. на полюс 1500 А). Указанные в таблице для полей якоря значения $H_c=0$ означают, что постоянные магниты отсутствуют, а сами поля определены при номинальном токе обмотки статора ($I_{фн}=1109$ А).

По индукциям $B_{\delta m1o}$ можно определить потоки полюса Φ_o , так как

$$\Phi_o = 2/\pi \times B_{\delta m1o} \times S_\tau,$$

где S_τ – поверхность на уровне середины минимального зазора в пределах полюсного деления τ и расчетной длины машины l ($S_\tau = 0.2755$ м²).

Расчеты потоков Φ_o при комбинированном возбуждении дали следующие результаты:

$$B_{\delta m1o} = 0.561 \text{ Т} \rightarrow \Phi_o = 0.0984 \text{ Вб}$$

$$B_{\delta m1o} = 0.63 \text{ Т} \rightarrow \Phi_o = 0.111 \text{ Вб}$$

$$B_{\delta m1o} = 0.7 \text{ Т} \rightarrow \Phi_o = 0.1228 \text{ Вб}$$

Характеристика холостого хода, построенная по этим данным показана на рис.3. Относительное изменение потока при этом составило:

$$\Delta\Phi = (0.1228 - 0.0984) / 0.111 = 0.22 \text{ о.е. (или 22\%)}$$

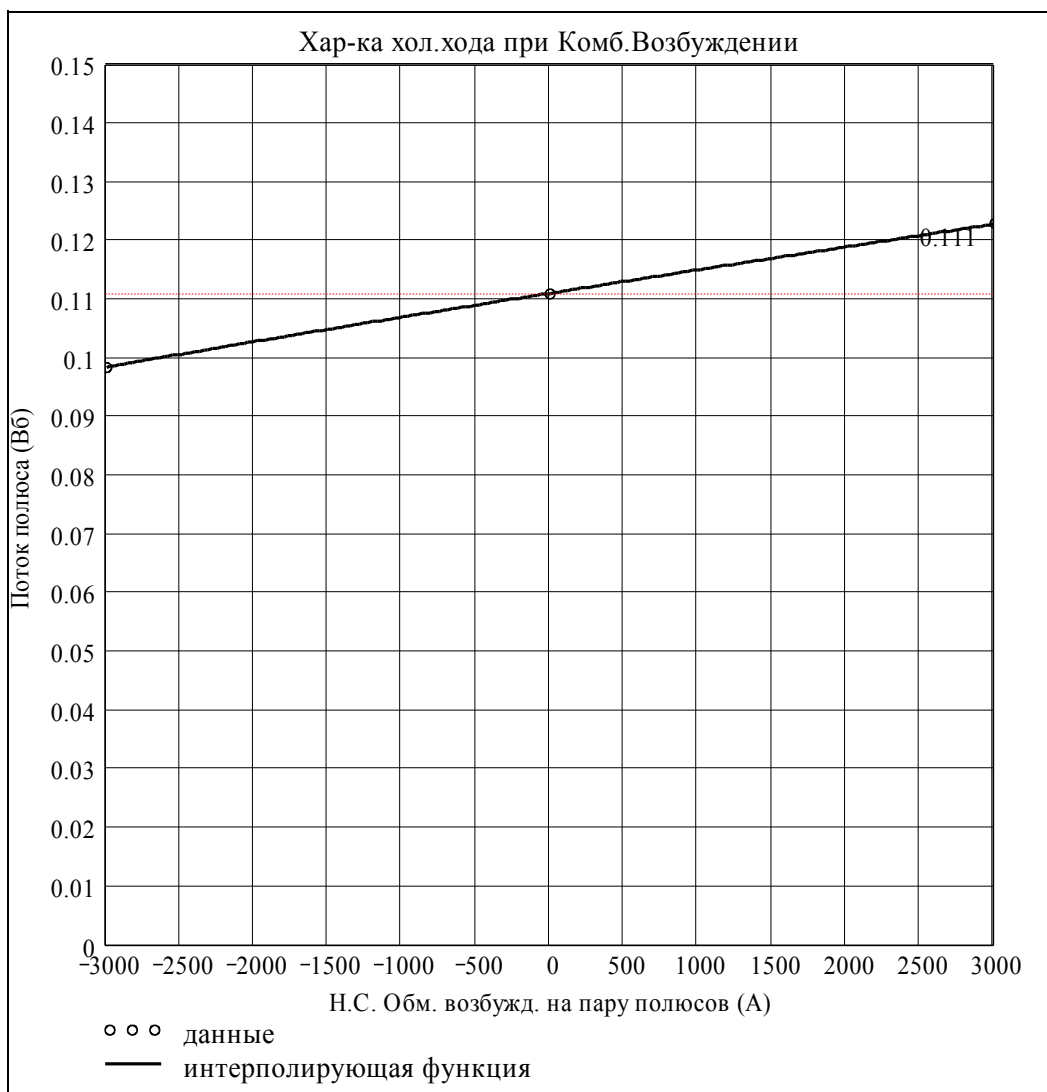


Рис.3. Характеристика холостого хода при комбинированном возбуждении.

Заключение

1. На конкретном примере показаны возможности пакета Elcut по формированию геометрии магнитной системы синхронной машины и расчету магнитных полей в ней при различных способах возбуждения явнополюсного ротора.
2. Представленные результаты моделирования и расчета получены путем последовательных приближений как в отношении геометрической конфигурации постоянных магнитов и обмотки возбуждения при магнитоэлектрическом и комбинированном возбуждении, так и в отношении параметров магнитов и электрических нагрузок дополнительной обмотки возбуждения.