

Определение коэффициентов поля возбуждения на конечно-элементных моделях

По определению коэффициент формы поля возбуждения явнополюсной синхронной машины равен отношению амплитуды основной гармоники поля к значению индукции на оси полюса:

$$k_f = \frac{B_{\delta 1m}}{B_{\delta}} \quad (1)$$

При этом предполагается, что относительная магнитная проницаемость сердечников статора и ротора бесконечно велика, зубчатость обоих сердечников учтена коэффициентом Картера: $k_{\delta} = k_{\delta 1} k_{\delta 2}$ ($k_{\delta 2}$ учитывает наличие пазов демпферной обмотки в полюсном наконечнике второго сердечника).

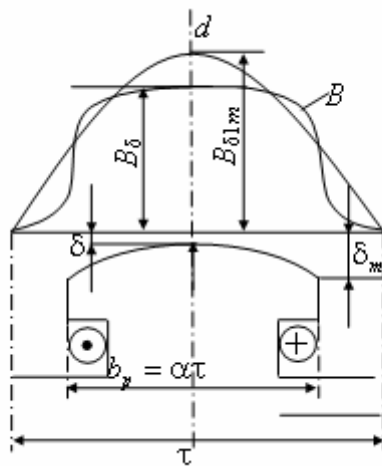


Рис. 1. К определению коэффициентов поля возбуждения

При построении теории явнополюсных машин используются и другие коэффициенты: коэффициент потока возбуждения

$$k_{\Phi} = \frac{\Phi_{fm}}{\Phi_{f1m}} \quad , \quad (2)$$

где Φ_{fm} – полный поток обмотки возбуждения на полюсном делении,
 Φ_{f1m} – поток основной (первой) гармоники на полюсном делении,
 и расчетный коэффициент полюсного перекрытия

$$\alpha_{\delta} = \frac{B_{\delta p}}{B_{\delta}} \quad (3)$$

На рис. 2 показана картина поля, созданного обмоткой возбуждения при холостом ходе, полученная на конечно-элементной модели, при формировании которой выполнены условия, соответствующие указанным выше допущениям: зубчатость сердечников не воспроизводится, а значение относительной магнитной проницаемости сердечников принято достаточно большим: $\mu_r = 10000$. Как можно судить по картине поля, на верхней и нижней дуговых границах области для векторного магнитного потенциала заданы условия Дирихле, а на левой и правой радиальных границах – периодические условия (впрочем, на данной модели та же картина поля могла быть получена и при задании на боковых границах условий Неймана).

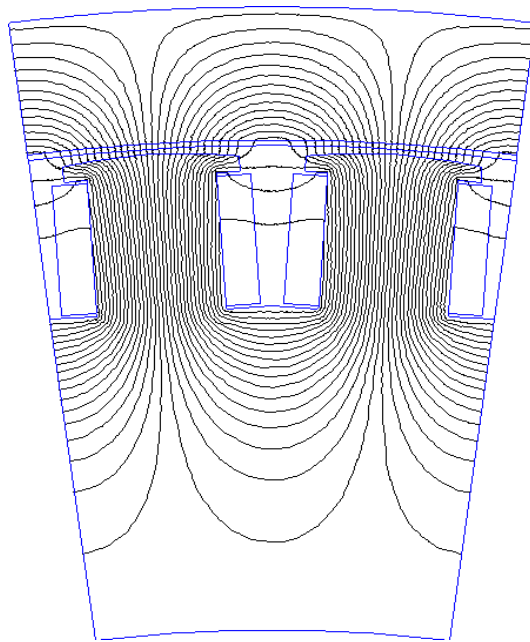


Рис. 2. Картина поля возбуждения при холостом ходе, полученная на конечно-элементной модели.

Для проведения гармонического анализа поля в зазоре необходимо назначить контур, на котором через равные интервалы будут считываться значения индукции. На рис. 2 такой контур представлен окружностью, проведенной на средней высоте минимального воздушного зазора. Напомним, что для того, чтобы воспользоваться для гармонического анализа встроенной функцией *MathCAD*'а *fft* (*fast Fourier transform*), число считываемых на контуре графика значений индукции должно быть целой степенью двух.

Для анализа поля обмотки возбуждения может использоваться и другая модель (рис. 3), на которой сталь сердечников не воспроизводится, а на контурах сердечников задаются однородные («нулевые») условия Неймана. В этом случае можно считать, что относительная магнитная проницаемость стали сердечников задана равной бесконечности.

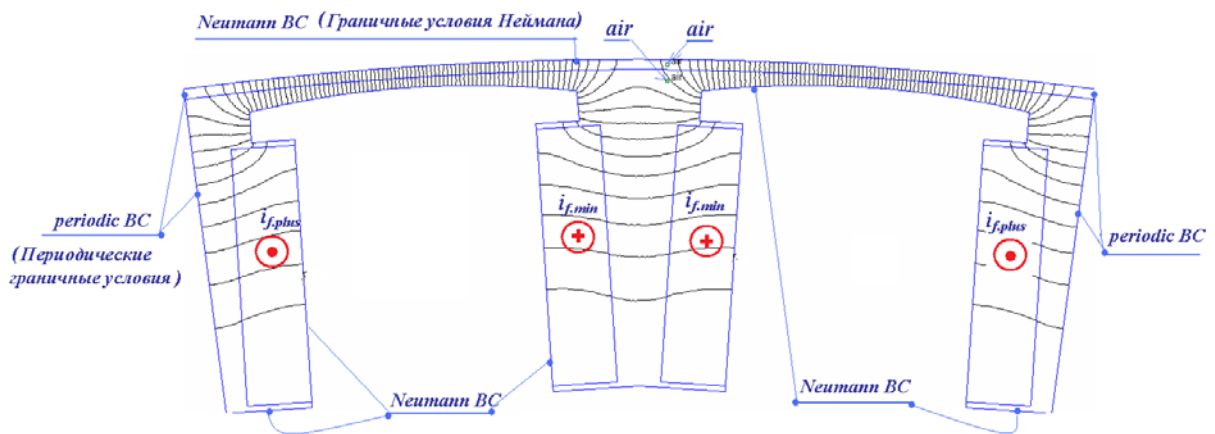


Рис.3. Картина поля возбуждения при холостом ходе, полученная при задании на контурах сердечников однородных условий Неймана. На участках модели *if_plus* и *if_min* заданы соответственно положительные и отрицательные плотности тока.

Используя условия симметрии, область этой задачи можно было бы уменьшить вчетверо, однако это потребовало бы дополнительной обработки исходных данных для гармонического анализа и, кроме того, сделало бы картину поля менее наглядной.

Насыщение стали сердечников при определении коэффициентов поля возбуждения учитывается с помощью коэффициентов насыщения k_z :

$$k_z = \frac{F_\delta + F_{z1} + F_{a1}}{F_\delta} \quad , \quad (4)$$

где в числителе представлена сумма магнитных напряжений зазора, зубцовой зоны и ярма статора, а в знаменателе – магнитное напряжение зазора.

При проектировании явнополюсных машин коэффициент насыщения k_z рекомендуется определять при расчете режима холостого хода [1, 2]. С этой целью находятся падения магнитного напряжения на указанных выше участках магнитной цепи. При моделировании поля обмотки возбуждения на конечно-элементной модели определить k_z можно таким же образом, но в этом случае необходимо полностью воспроизвести конфигурацию поперечного сечения зубчатого сердечника и задать реальную кривую намагничивания материала, из которого он набран. Следует заметить, что при исследовании конкретной машины, кривую намагничивания надо корректировать с учетом коэффициента заполнения сердечника сталью [3].

Программа работы (выполняются пункты, указанные преподавателем).

1. Для заданных размеров поперечного сечения (см. таблицу) сформировать конечно-элементную модель, не учитывающую насыщение сердечников. Плотности тока на участках модели, соответствующих обмотке возбуждения, подобрать такими, чтобы наибольшая индукция в зазоре равнялась 0,8 – 0,9 Тл. Выполнить гармонический анализ распределения индукции в зазоре.

2. По результатам гармонического анализа поля в зазоре найти значения коэффициентов поля возбуждения без учета насыщения магнитной цепи.

3. Дополнить конечно-элементную модель, воспроизведя на ней зубцовую зону и ярмо зубчатого сердечника и задав при этом реальную кривую намагничивания стали. По результатам моделирования определить коэффициент насыщения и коэффициенты поля возбуждения насыщенной машины. Сравнить результаты, полученные при выполнении пп. 2 и 3.

Вариант		1	2	3	4	5	6	7
Число фаз	m_{ph}	3	3	3	3	3	3	3
Число пар полюсов	P	24	40	30	8	36	24	21
Диаметр расточки статора, м	D_i	0,65	8,54	7,97	3,90	11,00	11,00	11,85
Число зубцов на статоре	Z	378	504	396	180	486	504	504
Ширина раскрытий пазов статора, мм	$b_{ш}$	22,5	26,5	25,5	26,0	27,5	26,5	29,7
Минимальный зазор (приведенный), мм	δ	19,3	12,0	14,0	20,0	18,0	25,0	30,0
Максимальный зазор, мм	δ_m	28,9	18,0	21,0	30,0	26,0	38,0	45,0
Ширина полюсного наконечника, мм	b_p	306	226	310	550	345	530	650
Высота полюсного наконечника, мм	h_p	41,4	33,0	45,0	60,0	50,0	60,0	75,0
Ширина сердечника полюса, мм	b_m	225	170	250	400	270	310	490
Высота сердечника полюса, мм	h_m	250	205	270	250	300	285	255

Литература

1. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: Учебник для вузов в двух томах – М.:Издательство МЭИ, 2004.
2. А.И. Абрамов, А.В. Иванов-Смоленский. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов: Учебн. пособие для вузов – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2001, - 389 с.: ил.
3. Иванов-Смоленский А.В. , Кузнецов В.А. Метод расчета магнитных полей с учетом трехмерной неоднородности сердечников электрических машин// Электричество. – 2005. №11. – с.2-7.