

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ВІДДІЛЕННЯ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГЕТИКИ

ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

ТЕМАТИЧНИЙ ВИПУСК

ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Частина 2

Київ — 2006

Національна академія наук України
Відділення фізико-технічних проблем енергетики
Інститут електродинаміки

Науково-прикладний журнал
ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Шидловський А.К. Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

Кириленко О.В. Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ

Липківський К.О.

Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

Волков І.В.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Вороновський Г.К.	ВАТ "Харківська ТЕЦ-5", Харків
Гриневич Ф.Б.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Денисов О.І.	Державний технологічний університет, Чернігів
Жаркін А.Ф.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Жуйков В.Я.	Національний технічний університет України "КПІ", Київ
Ісаков В.М.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Кулик М.М.	Інститут загальної енергетики, Національна академія наук України, Київ
Кузнецов В.Г.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Мислович М.В.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Півняк Г.Г.	Національний гірничий університет, Дніпропетровськ
Резцов В.Ф.	Інститут відновлюваної енергетики, Національна академія наук України, Київ
Розов В.Ю.	Відділення магнетизму Інституту електродинаміки, Національна академія наук України, Харків
Сокол Є.І.	Національний технічний університет "ХПІ", Харків
Стогній Б.С.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Счастливий Г.Г.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Таранов С.Г.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Тітко О.І.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Федоренко Г.М.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Шидловська Н.А.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ
Щерба А.А.	Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ

ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Городжа Л.В. Інститут електродинаміки, Національна академія наук України, Київ

Адреса редакції:

03680, м. Київ-57, проспект Перемоги, 56
Інститут електродинаміки НАН України
телефон (044) 454 26 57, 456 88 69
<http://rql.kiev.ua/ted>

ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Частина 2

ЗМІСТ

Теоретичні основи електротехніки

ШИДЛОВСЬКА Н.А., КРАВЧЕНКО О.П., КУЧЕРЯВА І.М., САМОЙЛЕНКО В.Г.

Застосування

методу усереднення Боголюбова до аналізу процесів в нелінійних коливальних колах з втратами	3
ВАСЕЦЬКИЙ Ю.М., ГОРДОЖА Л.В., МАЗУРЕНКО И.Л. Оценка параметров для приближенных математических моделей электромагнитных систем с вихревыми токами	7
БЕКІРОВ Э.А., КОЛОМІЕЦь А.Д., РЕЗЦОВ В.Ф. Особенности формирования пространственно-неоднородных структур в цилиндрических каналах пробоя с круговой симметрией	13
ПЕНТЕГОВ И.В., ВОЛКОВ И.В., ПРИСТУПА А.Л. Применение тесловских процессов для бесконтактного заряда аккумуляторов портативных электронных и электротехнических устройств	16
КУРИЛЬЧУК М.Н. Проектирование, анализ, оптимизация фильтров высших гармоник тока как компонентов электрической системы	22
ГОЛЬДШТЕЙН Е.И., УСОВ Ю.П. Об изучении вопросов диагностики в курсе "Теоретические основы электротехники"	26

Моделювання та керування енергосистемами

BLAZEK V., SKALA P. Optimization of design and operation of an urban power distribution network operated in conditions of liberalized energy market	30
АВРАМЕНКО В.Н., ГУРРЕЕВА Т.М., ЮНЕЕВА Н.Т. Моделирование микропроцессорных устройств противоаварийной автоматики при расчетах устойчивости энергосистем	36
ЛЮТИЙ О.П., ДМИТРІЄВА О.М. Корекція незакономірних відхилень від стаціонарного режиму споживання енергоносіїв	42
КУРІННИЙ Е.Г., ЛЄНКО В.Г. Енергетичні спiввiдношення в електричних мережах з енергозберігальними лампами	46
ROSSOLOWSKI E., IZYKOWSKI J., BUREK A. Islanding detection methods for distributed generation	50
РАЗУМНЫЙ Ю.Т., РУХЛОВ А.В. Повышение эффективности использования топлива тепловыми электростанциями	54

Електричні машини

ГРЕБЕНИКОВ В.В. Магнитные системы управляемых электрических машин с постоянными магнитами	57
ЖИВОГЛЯДОВ Е.В., ЧЕРНЫХ І.В. Уточненная динамическая модель линейного асинхронного двигателя	61
БОЛЮХ В.Ф., МАРКОВ А.М., ЛУЧУК В.Ф., ЩУКИН І.С. Теоретические и экспериментальные исследования индукционно-динамического двигателя, возбуждаемого от полярного емкостного накопителя	65
ВАРДАХ М., СТАНКЕВИЧ Б. Исследование магнитных систем электрических машин с постоянными магнитами и магнитными клиньями	71
ВОЛЬТЕРС А.О., СОБОЛЕВСЬКА Л.Г., МИСЛОВИЧ М.В. Моделі лінійних і лінійних періодичних випадкових процесів та їх використання в інформаційно-вимірювальних системах діагностики роторних енергетичних машин	77

Електропривод

ПЕРЕСАДА С.М., БОЛОТНИКОВ А.Ю., КОВБАСА С.Н. Основанный на принципе пассивности алгоритм векторного управления асинхронным двигателем при питании со стороны ротора	83
АГАМАЛОВ О.Н., ЛУКАШ Н.П. Синтез канала стабилизации регулятора возбуждения синхронного генератора	89
КУДИН В.Ф., КОЛЕСНИЧЕНКО С.П., ТОРОПОВ А.В. Субоптимальное нелинейное управление электроприводом при металлообработке	95
ПІВНЯК Г.Г., БЕШТА О.С., ХІЛОВ В.С. Адаптивний нечіткий регулятор струму приводу спуско-піднімальних операцій бурового верстата	101

Силова електроніка

ДЕНИСЮК С.П., МЕЛЬНИЧУК Г.В. Аналіз процесів у перетворювачах електроенергії з циклічно змінюваними параметрами та врахуванням тривалості технологічного процесу	107
ХВОРОСТ Н.В., ГОНЧАРОВ Ю.П., ИВАХНО В.В. Улучшение энергетических и динамических характеристик схем мягкой коммутации устройств силовой электроники с запираемыми полупроводниковыми приборами	113
АНТОНОВ А.Е., КИРИК В.В. Оптимальний метод дефазіфікації сигналу управління силовим виконавчим органом для способу регулювання напруги з широтно-імпульсною модуляцією на низькій частоті	121
ВОЛКОВ И.В., ДОВГАЛЕВСКИЙ А.Ю. Систематизация и классификация ключей силовой электроники	123

Науковий редактор К.О. ЛІПКІВСЬКИЙ, І.В. ВОЛКОВ
Редактор Т.І. МАЙБОРОДА
Художній редактор П.В. БЕККЕР

Друкується згідно з рекомендацією Вченої ради Інституту електродинаміки НАНУ, протокол №2 від 23.02.2006р.
Підл. до друку 01.03.2006. Формат 60 × 84/8. Пап. друк. офс. Офсет. Ум.-друк. арк. 14,7. Тираж 300 прим.
Зам. 42. Зареєстровано 20.01.94, свідоцтво: серія КВ, № 388. Ціна договірна.

Поліграфічна дільниця Інституту електродинаміки НАН України, 03680, м. Київ-57, проспект Перемоги, 56

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ И МАГНИТНЫМИ КЛИНЬЯМИ

М. Вардах, Б. Станкевич
Щецинский Технический Университет
ул. Сикорского 37, 70-313 Щецин, Польша
E-mail: marwar@op.pl

Annotation – The paper presents chosen results of magnetic circuits in electrical machines with permanent magnets simulating research. In these circuits were used magnetic wedges which close slots with windings. In analyzed structures of magnetic circuits first wedge's thickness and magnetic permeability were changed and then the value of force reacting on elements of stator's one pole pitch was checked. It allows to assign magnetic wedge's width and permeability, for which a force in given structures is possibly largest, however pulsation is small. All simulations were made with using computer programmes MATLAB – FEMLAB

Key words – magnetic circuits, force, permanent magnet, permeability, pole pitch, simulation, slot, structure, wedge

ВСТУПЛЕНИЕ

Развитие современной техники направлено на дальнейшее уменьшение массы и габаритов электрических машин. В области развития электрических машин с постоянными магнитами (ПМ) важным является получение высоких удельных электромагнитных моментов, т. е. Отношения момента к единице массы или момента к единице объёма. В машинах с зубцово-пазовыми структурами статора эти удельные показатели наиболее высоки [1]. Однако при этом в таких машинах проявляются шумы и вибрации, являющиеся следствием пульсаций как магнитной индукции в зазоре (разница интенсивности магнитного поля в зазоре в областях зубцов и пазов, так и пульсаций электромагнитного момента. Однако, хотя и применяют различные способы с целью уменьшения или полного исключения пульсаций электромагнитного момента, проблема остаётся и требует дополнительного исследования. Одному из подходов, направленному на снижение пульсаций магнитных полей, сил и моментов, и посвящена настоящая работа [2-4].

ЦЕЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТНЫХ КЛИНЬЕВ

Магнитные клинья являются элементами, предназначенными для замыкания пазов статора с расположенными в них обмотками управления электрической машины. Магнитные клинья состоят из смеси эпоксидной смолы с ферромагнитным порошком из электротехнической стали. Задача клиньев состоит в сглаживании пульсаций магнитной индукции в зазоре, которые в свою очередь являются причиной возникновения пульсаций электромагнитного момента.

Наиболее распространённым способом сглаживания пульсаций электромагнитного момента является применение скоса пазов. Однако такой метод ведёт к снижению величины электромагнитного момента, поскольку часть расположенных в пазах обмоток в определённый момент времени находится в области, где величина индукции магнитного поля возбуждения от постоянных магнитов (ПМ) не является максимальной. Применение магнитных клиньев в ряде случаев позволяет сгладить пульсации электромагнитного момента без необходимости применения скоса пазов. На рис. 1 схематически показан фрагмент статора и ротора с магнитным клином и распределение линий магнитного потока

поля возбуждения в присутствии ферромагнитного клина, размещённого в пазу электрической машины.

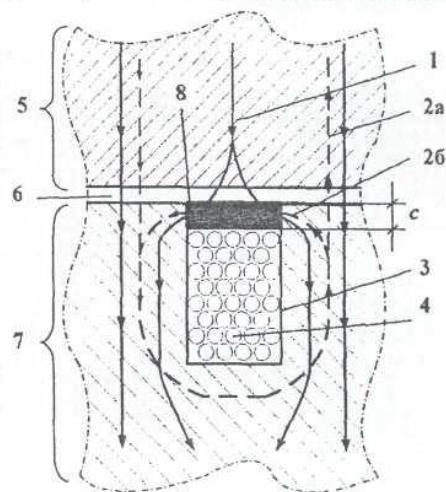


Рис. 1. Вид единичного паза с клином: 1-магнитный поток возбуждения, 2а, б - магнитный поток от токов в обмотке, 3 - паз с обмоткой, 4 - проводники обмотки, 5 - ротор с постоянными магнитами, 6 - зазор, 7 - статор, 8 - магнитный клин, с - высота магнитного клина

СТРУКТУРЫ С МАГНИТНЫМИ КЛИНЬЯМИ

Исследования были связаны с зубцово-пазовыми структурами статора электрической машины и выполнялись на моделях магнитных систем, представленных в развернутом виде. Исследовалось влияние толщины клина – 'с' (рис. 1) с вариацией магнитной проницаемости для четырёх моделей:

- 1 структура *S1* с нормально расположенными ПМ с одним пазом на полюс и фазу ($q = 1$);
- 2 структура *S2* с нормально расположенными ПМ с двумя пазами на полюс и фазу ($q = 2$);
- 3 структура *S3* с тангенциально расположенными ПМ с одним пазом на полюс и фазу ($q = 1$);
- 4 структура *S4* с тангенциально расположенными ПМ с двумя пазами на полюс и фазу ($q = 2$).

Для размера 'с' принимались величины {0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0} мм, а величина магнитной проницаемости клина была принята равной одной из следующих: {100, 80, 60, 40, 20, 10, 5, 3, 1} μ_0 .

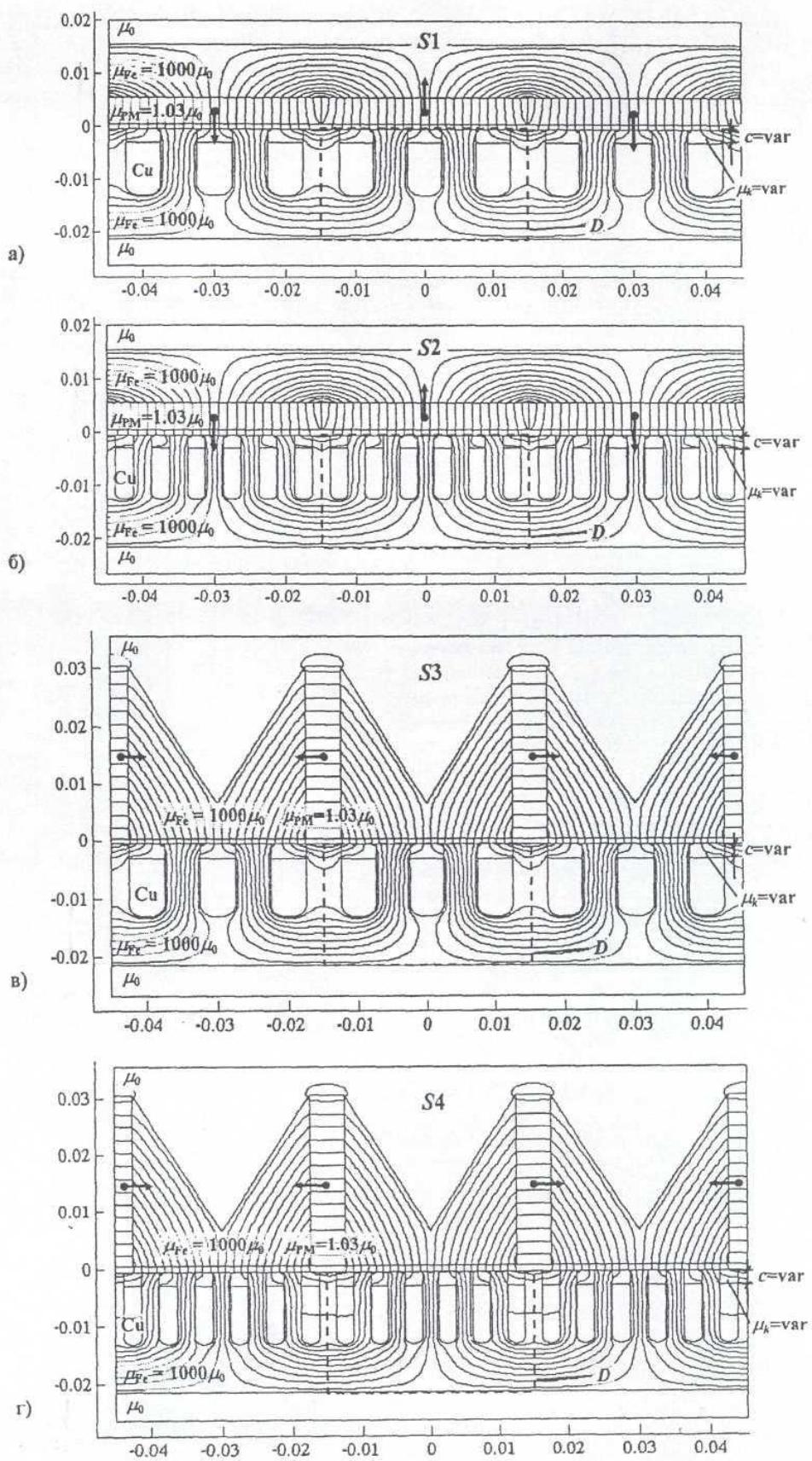


Рис. 2. Исследуемые модели магнитных систем: а) структура $S1$, б) структура $S2$, в) структура $S3$, г) структура $S4$

Все структуры имели одинаковое число ферромагнитных элементов и ПМ ротора. Величина полюсного деления составляла $t_s = 30.0$ мм, толщина статора – 20.0 мм, площадь поперечного сечения одного ПМ ротора, приходящаяся на полюсное деление, составляла – $150.0 \text{ mm}^2/t_s$, а площадь поперечного сечения ферромагнитных элементов ротора равнялась $300 \text{ mm}^2/t_s$. При моделировании принимались одинаковые величины плотности тока в обмотках ($j = 5.0 \text{ A/mm}^2$), количества меди и коэффициента заполнения медью ($k_z = 0.5$). Варьировались толщина и величина магнитной проницаемости клиньев, а также глубина паза, (которая в свою очередь являлась функцией толщины клина). Исследованные модели показаны на рис. 2. На рис. 2а и 2б показаны структуры с классическим расположением ПМ ($S1$ и $S2$), а на рис. 2в и 2г – с тангенциально расположенными ПМ ($S3$ и $S4$).

Результаты исследований, выполненных с помощью пакета прикладных программ компьютерного моделирования MATLAB-FEMLAB, приведены в таблицах 1–4, соответственно для каждой из структур, показанных на рис. 2. Грубым шрифтом в таблицах 1–4 обозначены максимальные величины электромагнитного усилия для исследуемых моделей.

Для наглядного представления результатов исследований на рис. 3 в трёхмерном изображении показаны поверхности электромагнитных усилий в зависимости от толщины ферромагнитных клиньев и величины их магнитной проницаемости.

Как следует из анализа данных, представленных в таблицах 1–4 и на рис. 3, величины электромагнитных усилий в структурах $S1$, $S2$, $S3$ и $S4$ достигают максимальных значений при различных параметрах магнитных клиньев. Так, в структурах $S1$, $S2$ и $S3$ максимум силы приходится

Таблица 1

$S1$	$F [\text{H/m}]$					
	с [мм]					
$\mu_k \cdot [\mu_0]$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
100	360	357	346	335	327	317
80	363	362	353	345	337	328
60	365	366	359	354	347	340
40	366	371	367	363	358	353
20	370	378	375	373	370	368
10	372	380	379	378	377	376
5	379	380	380	381	380	379
3	392	381	381	381	383	380
1	381	387	388	394	385	380

Таблица 2

$S2$	$F [\text{H/m}]$					
	с [мм]					
$\mu_k \cdot [\mu_0]$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
100	328	308	303	293	284	284
80	330	313	309	301	293	291
60	333	331	321	314	302	302
40	336	336	329	324	313	314
20	338	342	339	336	332	332
10	339	345	344	341	341	340
5	340	348	349	345	346	344
3	343	349	351	347	350	346
1	358	346	344	356	354	345

Таблица 3

$S3$	$F [\text{H/m}]$					
	с [мм]					
$\mu_k \cdot [\mu_0]$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
100	480	461	444	429	414	400
80	484	468	454	440	427	415
60	489	475	464	453	442	431
40	495	483	475	466	459	451
20	503	494	488	483	478	474
10	512	504	498	493	492	489
5	519	513	506	501	501	501
3	525	523	507	507	511	509
1	535	541	513	518	530	528

Таблица 4

$S4$	$F [\text{H/m}]$					
	с [мм]					
$\mu_k \cdot [\mu_0]$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
100	438	420	403	387	372	357
80	441	426	411	397	384	371
60	444	432	420	409	398	387
40	445	439	430	421	413	404
20	443	442	438	433	429	423
10	433	437	436	434	431	428
5	416	423	425	424	423	421
3	398	407	408	407	408	408
1	356	366	347	330	355	376

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КЛИНА НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ УСИЛИЕ

При проведении исследований определялось электромагнитное усилие, оказываемое воздействие на элементы, находящиеся в области полюсного деления статора модели электрической машины (на рис. 2 эта область обозначена прямоугольником D .

для магнитной проницаемости, примерно равной магнитной проницаемости вакуума $\mu_k = \mu_0$, что свидетельствует о том, что применять магнитные клинья в таких структурах не имеет смысла. Напротив, в магнитной системе $S4$ максимум электромагнитного усилия наблюдается в случае, когда толщина клина равна $c = 0.5$ мм, а магнитная проницаемость клина составляет $\mu_k = (40 \div 60) \mu_0$.

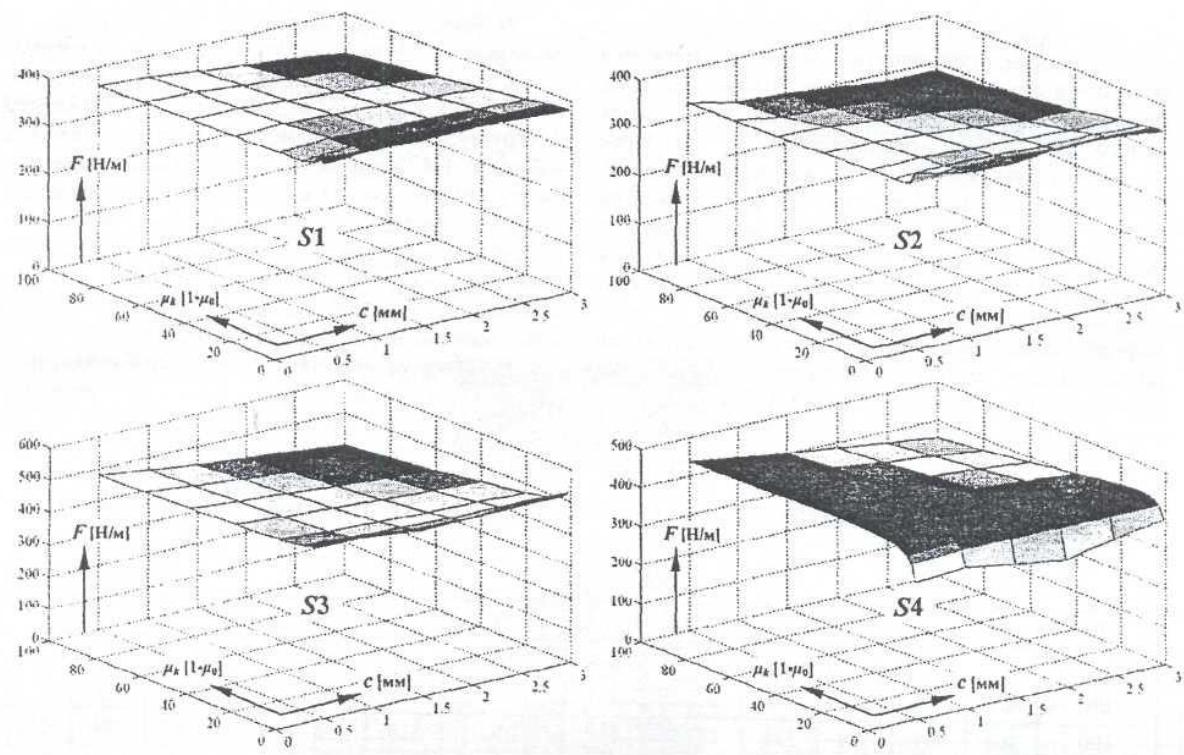


Рис. 3. Трёхмерные изображения поверхностей электромагнитных усилий в функции толщины ферромагнитных клиньев и величины их магнитной проницаемости

Таблица 5

S1		p_B [о. е.]					
$\mu_k \cdot [\mu_0]$		c [мм]					
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
100	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
80	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
60	0.89	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
40	0.88	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
20	0.86	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
10	0.82	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88
5	0.78	0.82	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85
3	0.76	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81	0.81
1	0.69	0.68	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71

Таблица 6

S2		p_B [о. е.]					
$\mu_k \cdot [\mu_0]$		c [мм]					
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
100	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
80	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
60	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
40	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
20	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
10	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
5	0.85	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
3	0.82	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
1	0.76	0.78	0.77	0.78	0.78	0.78	0.78

Таблица 7

S3		p_B [о. е.]					
$\mu_k \cdot [\mu_0]$		c [мм]					
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
100	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
80	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
60	0.85	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
40	0.84	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87
20	0.81	0.83	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85
10	0.76	0.80	0.81	0.82	0.82	0.82	0.82
5	0.72	0.75	0.77	0.77	0.78	0.78	0.78
3	0.69	0.71	0.73	0.73	0.74	0.74	0.74
1	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63

Таблица 8

S4		p_B [о. е.]					
$\mu_k \cdot [\mu_0]$		c [мм]					
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
100	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
80	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
60	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
40	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
20	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
10	0.83	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
5	0.81	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
3	0.78	0.79	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
1	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНЫХ КЛИНЬЕВ НА ПУЛЬСАЦИИ

Ферромагнитные клинья преимущественно применяют для минимизирования пульсаций магнитной индукции в электрической машине.

Целесообразна при этом постановка задачи исследования влияния параметров магнитных клиньев на пульсации в кривой распределения магнитной индукции вдоль полюсного деления машины.

Электромагнитные вибрации и шумы, возникающие в электрической машине, зачастую являются следствием пульсаций магнитной индукции в зазоре. И проявляются они тем сильнее, чем больше отношение средней (B_{av}) к максимальной (B_{max})

Подобно как в таблицах 1 – 4, в таблицах 5 – 8 грубым шрифтом обозначены максимальные или незначительно отличающиеся от них (примерно на 3%) величины коэффициентов p_B , полученных в результате компьютерного моделирования на моделях магнитных систем.

Как следует из рассмотрения таблиц 5–8 и рис. 4, пульсации магнитной индукции в зазоре значительно снижаются, если величины магнитной проницаемости ферромагнитных клиньев составляют $\mu_k \geq 20\mu_0$. Во всех анализируемых структурах, независимо от толщины ферромагнитных клиньев, характер уменьшения пульсаций магнитной индукции в зазоре с ростом магнитной проницаемости подобен.

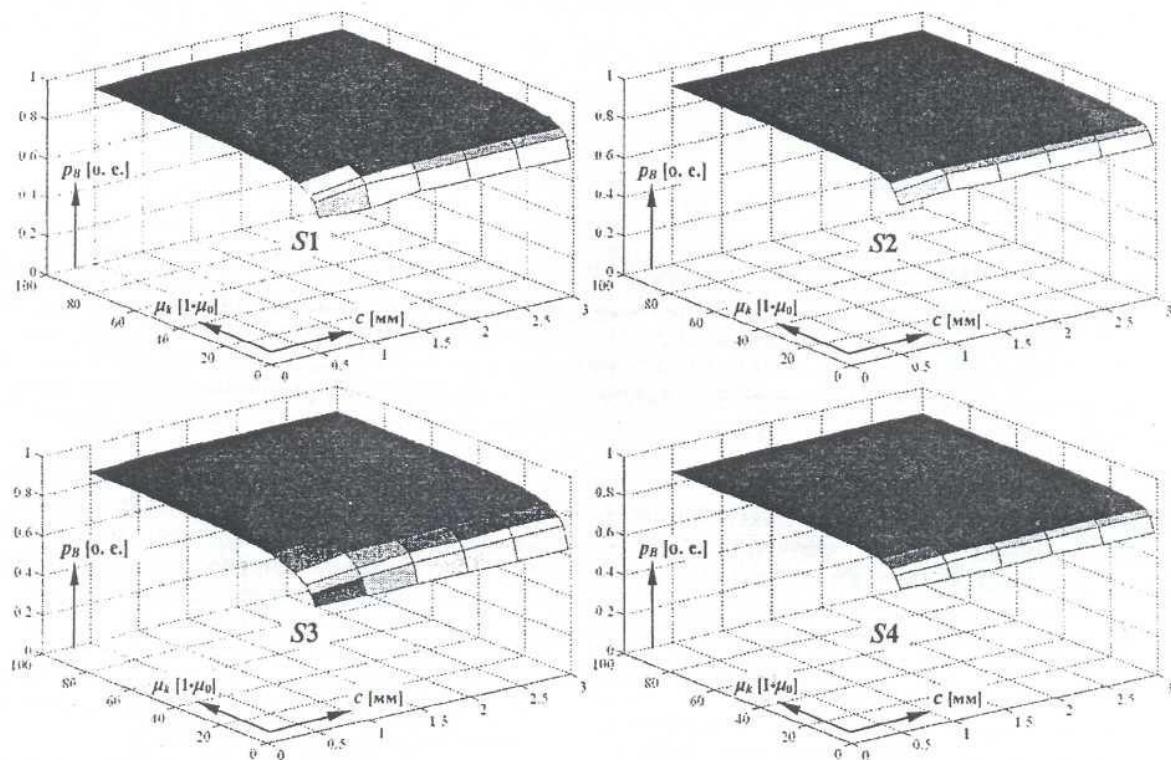


Рис. 4. Поверхности распределения коэффициента p_B в функции толщины и величины магнитной проницаемости ферромагнитных клиньев

величине магнитной индукции в зазоре. В этой связи с целью сравнения исследуемых моделей можно воспользоваться следующим соотношением:

$$p_B = B_{av}/B_{max}$$

Диапазон изменения параметра p_B лежит в границах $[0 + 1]$. В действительности крайние случаи не реализуются, поскольку, например, в случае $p_B = 1$ график распределения продольной компоненты магнитной индукции в зазоре должен иметь вид прямоугольника, а случай $p_B = 0$ показывает, что на отрезке одного полюсного деления средняя величина магнитной индукции была бы равна 0 и такая электрическая машина попросту была бы неработоспособна.

Величины параметра p_B применительно к различным структурам приведены в таблицах 5 – 8, а в графическом виде показаны на рис. 4.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Из сопоставления результатов исследования можно прийти к выводу, что в рассматриваемых моделях оптимальными являются следующие параметры ферромагнитных клиньев: в структуре $S1$: $\mu_k = 20\mu_0$, $c = 2.0$ мм; в структуре $S2$: $\mu_k = 20\mu_0$, $c = 1.0$ мм; в структуре $S3$: $\mu_k = 40\mu_0$, $c = 0.5$ мм; в структуре $S4$: $\mu_k = 60\mu_0$, $c = 0.5$ мм. Для таких параметров ферромагнитных клиньев на рис. 5а–г показаны графики распределения магнитной индукции в зазоре вдоль полюсного деления. Дополнительно на каждом из графиков показаны кривые, иллюстрирующие распределения магнитной индукции в зазоре вдоль полюсного деления в случае отсутствия ферромагнитных клиньев.

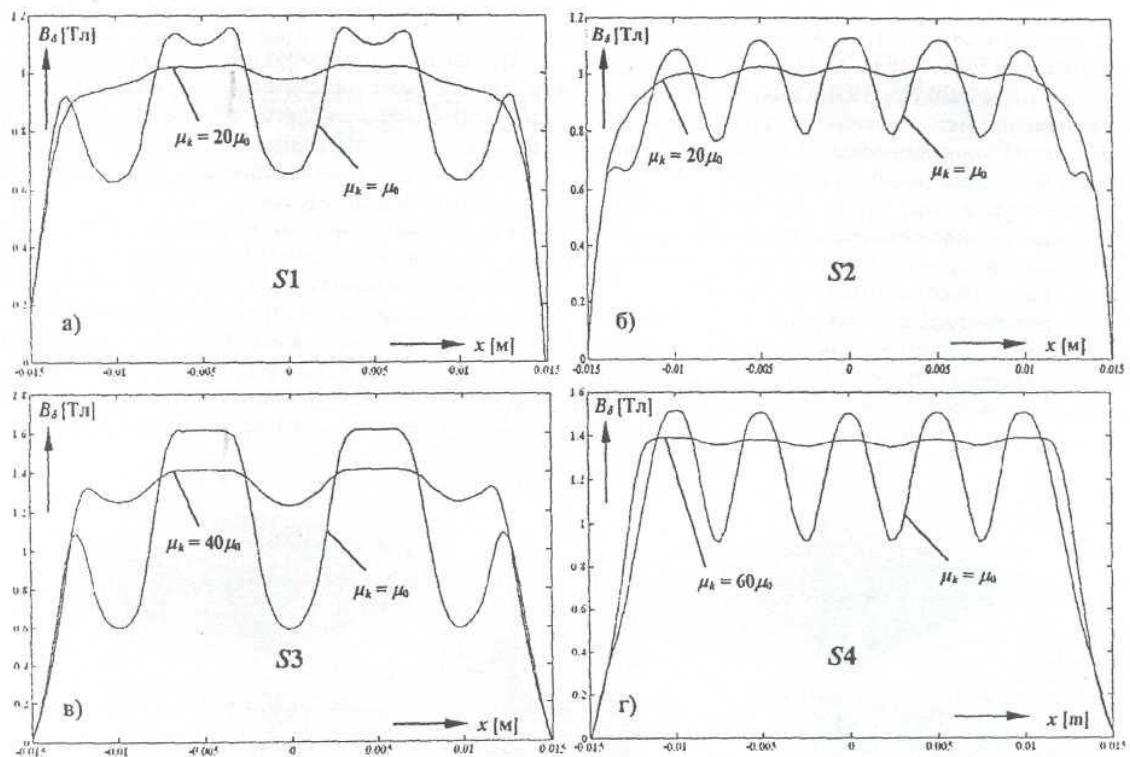


Рис. 5. Графики распределения продольной компоненты магнитной индукции в зазоре вдоль полюсного деления модели магнитной системы при наличии и отсутствии клиньев

Следует отметить, что в структуре $S4$, помимо снижения пульсаций магнитной индукции, получено увеличение примерно на 18% результирующего электромагнитного усилия, действующего на элементы статора в пределах зоны одного полюсного деления (таблица 4). В структурах моделей магнитных систем $S1$, $S2$ и $S3$ снижение пульсаций магнитной индукции в зазоре приводит к снижению величины развиваемого электромагнитного усилия.

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования компьютерного моделирования на моделях магнитных систем с показывают, что применение ферромагнитных клиньев в электрических машинах с постоянными магнитами и зубцово-пазовыми структурами статора позволяет уменьшить пульсации магнитной индукции в зазоре.

Показано, что чем больше величина магнитной проницаемости ферромагнитных клиньев, тем меньшими будут пульсации продольной компоненты магнитной индукции в зазоре.

Наличие ферромагнитных клиньев в пазах электрических машин оказывает определенное влияние на величину электромагнитного усилия, действующего на активные элементы машины.

На основе выполненных исследований при принятых для моделирования параметрах моделей установлено, что возможно возникновение двух характерных случаев:

- с ростом μ_k электромагнитное усилие в моделях уменьшается (структуры $S1$, $S2$ и $S3$);

- с ростом μ_k электромагнитное усилие вначале растёт, а затем снижается, при этом существует оптимум (структуре $S4$).

С целью оптимального проектирования электрической машины целесообразно проводить дополнительные исследования применительно для каждой из возможных структур с целью выбора наиболее рациональной конфигурации.

- [1] A. Afonin, W. Kramarz, P. Cierzniewski, „Elektromechaniczne przetworniki energii z komutacją elektroniczną”, skrypt, seria „Tempus”, Politechnika Szczecinska, 2000, 242 s.
- [2] I. Dudzikowski, D. Gierak, „Pulsacje momentu elektromagnetycznego i ich ograniczanie w silnikach magnetoelektrycznych prądu stałego”, Proc. of XL Inter. Sym. on Electrical Machines SME'2004, 15 - 18 June, Hajnówka, Poland, pp. 406-414.
- [3] T. Glinka, „Maszyny elektryczne wzmacniane magnesami trwałymi”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [4] T.M. Jahns, W.L. Song, “Pulsating Torque Minimization Techniques for Permanent Magnet AC Motor Drives – A Review”, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 43, No. 2, April 1996, pp. 321-330.