



РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА

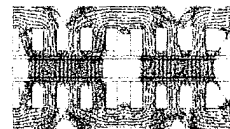
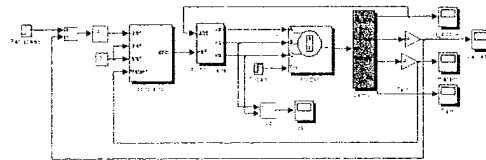
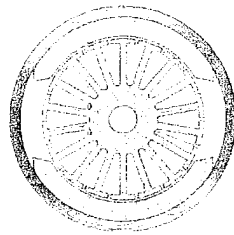
УНИВЕРЗИТЕТ СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ-СКОПЈЕ



ФАКУЛТЕТ ЗА ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИСКИ ТЕХНОЛОГИИ

ИСТРАЖУВАЊЕ И ПРИМЕНА НА СОВРЕМЕНИ МЕТОДИ ЗА КОМПЈУТЕРСКИ ПОДДРЖАНА АНАЛИЗА НА ЕЛЕКТРИЧНИТЕ МАШИНИ

научноистражувачки проект



Скопје, септември 2009



УНИВЕРЗИТЕТ СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ – СКОПЈЕ

ФАКУЛТЕТ ЗА ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИСКИ ТЕХНОЛОГИИ

Институт за електрични машини, трансформатори и апарати



**ИСТРАЖУВАЊЕ И ПРИМЕНА НА СОВРЕМЕНИ МЕТОДИ
ЗА КОМПЈУТЕРСКИ ПОДДРЖАНА АНАЛИЗА НА
ЕЛЕКТРИЧНИТЕ МАШИНИ**

– научно-истражувачки проект –

С к о п ј е, септември 2009

(3) (3) (3) (3) (3) (3) (3)



УНИВЕРЗИТЕТ СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ – СКОПЈЕ

ФАКУЛТЕТ ЗА ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИСКИ ТЕХНОЛОГИИ

Институт за електрични машини, трансформатори и апарати



Република Македонија
УНИВЕРЗИТЕТ "СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ" – СКОПЈЕ
ФАКУЛТЕТ ЗА ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИСКИ ТЕХНОЛОГИИ

Бр. 05-204012

30 10 2009 год.
СКОПЈЕ

ИСТРАЖУВАЊЕ И ПРИМЕНА НА СОВРЕМЕНИ МЕТОДИ ЗА КОМПЈУТЕРСКИ ПОДДРЖАНА АНАЛИЗА НА ЕЛЕКТРИЧНИТЕ МАШИНИ

– научно-истражувачки проект –

Истражувачи:

Проф. д-р Лидија Петковска
В. Проф. д-р Влатко Стоилков
Доц. д-р Крсте Најденкоски
д-р Василија Шарац
Асист. м-р Златко Колонцовски
Дем. Михаил Дигаловски, дипл. ел. инж.

Главен истражувач


В. Проф. д-р Гога Цветковски

Млади истражувачи:

Сашо Мартиновски, дипл. ел. инж.
Хаџи-Манев Георги, дипл. ел. инж.
Иванов Ристе, дипл. ел. инж.
Колевска Зорица, дипл. ел. инж.
Наумовски Пеце, дипл. ел. инж.

Декан


Проф. д-р Миле Станковски



С к о п ј е, септември 2009

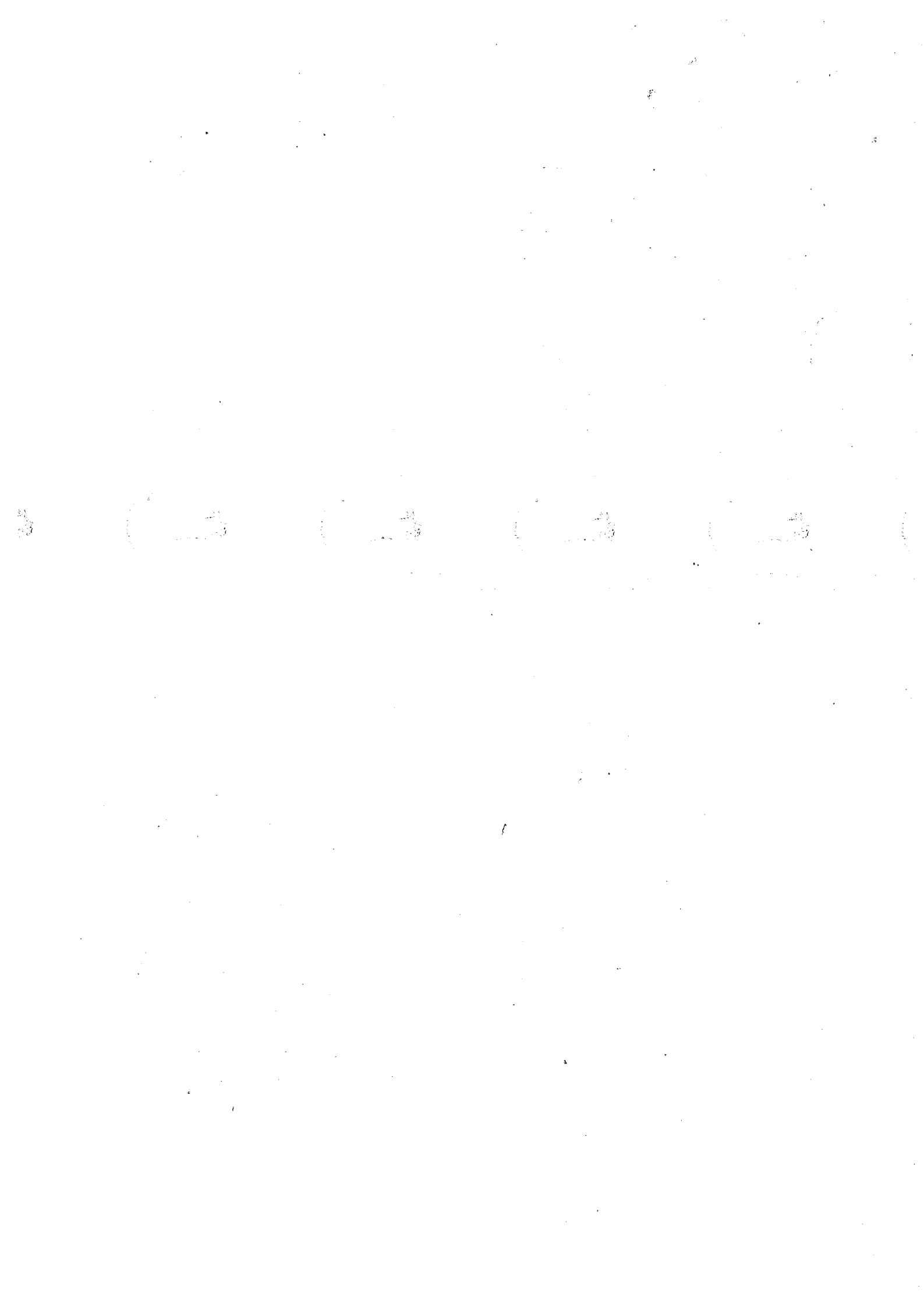


Научно-истражувачкиот проект

***ИСТРАЖУВАЊЕ И ПРИМЕНА НА СОВРЕМЕНИ МЕТОДИ
ЗА КОМПЈУТЕРСКИ ПОДДРЖАНА АНАЛИЗА НА
ЕЛЕКТРИЧНИТЕ МАШИНИ***

го посветуваме на
50-годишнината
од формирањето на Факултетот за електртехника и
информациски технологии во Скопје
и
60-годишнината
од формирањето на Универзитетот Св. Кирил и
Методиј во Скопје, Република Македонија

Авторите





СОДРЖИНА

	ПРЕДГОВОР	1
1.	МКЕ – СОВРЕМЕНА АЛАТКА ЗА ДИЗАЈН И АНАЛИЗА НА ЕЛЕКТРИЧНИ МАШИНИ	5
1.1.	ДЕФИНИЦИЈА НА ПРОБЛЕМАТИКАТА	7
1.1.1.	ПРОБЛЕМАТИКА НА ДИЗАЈН НА ЕЛЕКТРИЧНИ МАШИНИ СО <i>МКЕД</i>	7
1.1.2.	ПРОБЛЕМАТИКА НА АНАЛИЗА НА ЕЛЕКТРИЧНИ МАШИНИ СО <i>МКЕА</i>	9
1.2.	МКЕ – НУМЕРИЧКА АЛАТКА	10
1.2.1.	РЕЛЕВАНТНИ РАВЕНКИ	10
	1.2.1.1. Магнетостатски МКЕ проблем	12
	1.2.1.2. Временско-хармоничен МКЕ проблем	14
1.2.2.	ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ НА МКЕ	16
1.2.3.	МОДЕЛИРАЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧНИ МАШИНИ	20
	1.2.3.1. Дефиниција на проблемот	20
	1.2.3.2. Дефиниција на граничните услови	21
	1.2.3.3. Моделирање на магнетните материјали	21
	1.2.3.4. Моделирање на закосување на каналите– <i>квази 3D МКЕ</i>	26
1.2.4.	МКЕ – РЕЗУЛТАТИ	27
	1.2.4.1. Слика на магнетно поле	28
	1.2.4.2. Магнетен флукс и опфатени флуксови	29
	1.2.4.3. Магнетна индукција	29
	1.2.4.4. Магнетна енергија и коенергија	30
	1.2.4.5. Индуктивитет	30
	1.2.4.6. Електромагнетна сила и момент	31
1.3.	СПРЕГНАТИ ПРОБЛЕМИ ПРИ ДИЗАЈН И АНАЛИЗА	31
1.3.1.	МКЕ – СПРЕГНАТИ ПОЛИЊА	32
1.3.2.	ТЕРМО–ЕЛЕКТРОМАГНЕТЕН СПРЕГНАТ ПРОБЛЕМ	33
2.	МКЕ ЗА ПРОЕКТИРАЊЕ СИНХРОН ДИСКОВ МОТОР СО ПЕРМАНЕНТНИ МАГНЕТИ	35
2.1.	ОПИС НА ПРОТОТИПОТ НА СИНХРОН ДИСКОВ МОТОР	36
2.2.	МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ПРОЕКТИРАЊЕ НА СДМГМ	39
2.2.1.	КОНСТАНТНИ ВЛЕЗНИ ПАРАМЕТРИ И ДИМЕНЗИИ	40
2.2.2.	ГЕОМЕТРИСКИ ПАРАМЕТРИ И ДИМЕНЗИИ	42
2.2.3.	ПАРАМЕТРИ И ДИМЕНЗИИ НА МАГНЕТНОТО КОЛО	43
2.2.4.	ПАРАМЕТРИ И ДИМЕНЗИИ НА ЕЛЕКТРИЧНОТО КОЛО	47

2.2.5.	КОЕФИЦИЕНТ НА ПОЛЕЗНО ДЕЈСТВО	49
2.3.	ОПТИМАЛНО ПРОЕКТИРАЊЕ НА СДМПМ СО ПОМОШ НА ГЕНЕТСКИ АЛГОРИТАМ	50
2.4.	ПРЕСМЕТКА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ НА СДМПМ СО ПОМОШ НА МКЕ	57
2.4.1.	МОДЕЛИРАЊЕ НА СДМПМ ЗА ПРЕСМЕТКА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ	58
2.4.1.1.	Моделирање на геометријата на СДМПМ	58
2.4.1.2.	Дефинирање на граничните услови	59
2.4.1.3.	Дефинирање на особините на магнетните материјали	60
2.4.1.4.	Пресметка на магнетното поле во прототипот на СДМПМ	63
2.4.1.5.	Пресметка на магнетното поле на оптимизиран модел на СДМПМ	67
2.4.1.6.	Пресметка на електромагнетниот момент на СДМПМ	70
2.4.1.7.	Пресметка на моментот на забните хармоници (cogging torque) на СДМПМ	73
3.	КОМПЛЕКСНА МКЕ АНАЛИЗА НА СИНХРОН МОТОР СО ПЕРМАНЕНТНИ МАГНЕТИ	75
3.1.	МКЕ АНАЛИЗА НА СТАЦИОНАРЕН РЕЖИМ НА РАБОТА НА ЕКМ 90М-6	76
3.1.1.	ТОПОЛОГИЈА НА МОТОРОТ ЕКМ 90М-6	76
3.1.2.	МКЕ МОДЕЛ НА ЕКМ 90М-6	79
3.1.2.1.	Геометрија и материјали	79
3.1.2.2.	Струјни оптоварувања и гранични услови	79
3.1.2.3.	Вртење на роторот	79
3.1.2.4.	Мрежа на конечни елементи	80
3.1.3.	МАГНЕТНО ПОЛЕ ВО ЕКМ 90М-6	81
3.1.3.1.	Магнетно поле од перманентните магнети	81
3.1.3.2.	Магнетно поле на реакцијата на индуктот	82
3.1.3.3.	Резултантно магнетно поле	83
3.1.4.	ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕКМ 90М-6	84
3.1.4.1.	Магнетна индукција по пол	85
3.1.4.2.	Просторна распределба на магнетната индукција	86
3.1.4.3.	Магнетна коенергија	88
3.1.5.	ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕКМ-6	89
3.1.5.1.	Електромагнетен момент	89
3.1.5.2.	Момент на забните хармоници (cogging torque)	90
4.	МКЕ АНАЛИЗА НА ЕДНОФАЗЕН СИНХРОН МОТОР СО ПЕРМАНЕНТНИ МАГНЕТИ	93
4.1.	ЕДНОФАЗЕН СИНХРОН МОТОР СО ПЕРМАНЕНТНИ МАГНЕТИ SPM-25/PM ВО СТАЦИОНАРЕН РЕЖИМ НА РАБОТА	94
4.1.1.	КОНСТРУКЦИЈА НА Е-СМПП	94
4.1.1.1.	Статор	95
4.1.1.2.	Намотка	95
4.1.1.3.	Ротор	96
4.1.2.	МКЕ АНАЛИЗА НА Е-СМПП	96
4.1.2.1.	Мрежа на конечни елементи во SPM-25/PM	97
4.1.2.2.	Магнетно поле во SPM-25/PM	98
4.1.2.3.	МКЕ карактеристики на SPM-25/PM	103

49	5.	МКЕ ЗА АНАЛИЗА НА КОЛЕКТОРСКИ МОТОР СО ПЕРМАНЕНТНИ МАГНЕТИ	109
50	5.1.	ОПИС НА КОЛЕКТОРСКИОТ МОТОР СО ПЕРМАНЕНТИ МАГНЕТИ	110
57	5.2.	МОДЕЛИРАЊЕ НА КМПП ЗА ПРЕСМЕТКА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ	113
58	5.2.1.	МОДЕЛИРАЊЕ НА ГЕОМЕТРИЈАТА НА КМПП	113
58	5.2.2.	ДЕФИНИРАЊЕ НА ГРАНИЧНИТЕ УСЛОВИ	114
59	5.2.3.	ДЕФИНИРАЊЕ НА ОСОБИНИТЕ НА МАГНЕТНИТЕ МАТЕРИЈАЛИ	115
60	5.3.	ПРЕСМЕТКА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ НА КОЛЕКТОРСКИОТ МОТОР СО ПЕРМАНЕНТНИ МАГНЕТИ	118
63	5.3.1.	АНАЛИЗА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ	118
67	5.3.2.	ПРЕСМЕТКА И АНАЛИЗА НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ	120
70	5.3.2.1.	Пресметка и анализа на магнетниот флукс	120
73	5.3.2.2.	Пресметка и анализа на магнетната индукција во воздушниот зјај	121
75	5.3.3.	ПРЕСМЕТКА И АНАЛИЗА НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ	123
76	5.3.3.1.	Пресметка и анализа на електромагнетниот момент	123
76	5.3.3.2.	Пресметка и анализа на пулзирачкиот момент	124
79	6.	МКЕ АНАЛИЗА НА ТРИФАЗЕН АСИНХРОН МОТОР СО FLUX 2D	127
79	6.1.	ПРОГРАМСКИ ПАКЕТ FLUX2D ЗА МКЕ АНАЛИЗА	128
79	6.1.1.	ПРЕТ-ПРОЦЕСОР	129
80	6.1.2.	ПРОЦЕСОР	137
81	6.1.3.	ПОСТ-ПРОЦЕСОР	138
81	6.2.	МКЕ РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА НА ТРИФАЗЕН АСИНХРОН МОТОР	138
82	6.2.1.	АНАЛИЗА НА РАСПРЕДЕЛБАТА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ	139
83	6.2.2.	АНАЛИЗА НА КАРАКТЕРИСТИКИТЕ	141
84	6.2.2.1.	Магнетна индукција	141
85	6.2.2.2.	Електромагнетен момент	143
86	6.2.2.3.	Моќност од мрежа	145
88	6.2.2.4.	Струја во статорските намотки	146
89	7.	МКЕ АНАЛИЗА НА ТРИФАЗЕН АСИНХРОН МОТОР СО FEMM	147
89	7.1.	ПРОГРАМСКИ ПАКЕТ FEMM ЗА МКЕ АНАЛИЗА	147
90	7.1.1.	МОДЕЛИРАЊЕ НА ГЕОМЕТРИЈАТА	148
93	7.1.2.	ИЗБОР НА МАТЕРИЈАЛИТЕ КОИ СЕ КОРИСТАТ ЗА ИЗВЕДБА НА МОТОРОТ	149
94	7.1.3.	ПРОЦЕСОР – ПРЕСМЕТКА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ ВО ТРИФАЗЕН АСИНХРОН МОТОР	154
94	7.1.4.	ПОСТ-ПРОЦЕСОР – ПРИКАЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ	155
95	7.2.	МКЕ РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА НА ТРИФАЗЕН АСИНХРОН МОТОР ВО FEMM	156
96	7.2.1.	АНАЛИЗА НА РАСПРЕДЕЛБАТА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ	156
96	7.2.2.	АНАЛИЗА НА КАРАКТЕРИСТИКИТЕ	158
97	7.2.2.1.	Магнетна индукција	158
98			
103			

8.	МКЕ АНАЛИЗА НА ЕДНОФАЗЕН АСИНХРОН МОТОР СО ЗАСЕЧЕНИ ПОЛОВИ СО ФЕММ	161
8.1.	ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ НА МЕТОДОТ НА КОНЕЧНИ ЕЛЕМЕНТИ - МКЕ	162
8.2.	МКЕ – МАГНЕТОСТАТСКИ ПРИСТАП	163
8.2.1.	ПРЕТПРОЦЕСИРАЊЕ – МОДЕЛИРАЊЕ НА МОТОРОТ ЗА ПРИМЕНА НА МКЕ	164
8.2.1.1.	Вчитување на точната геометрија на моторот АКО-16 Генерирање на мрежата на конечни елементи	165
8.2.1.2.	Дефинирање на граничните услови	166
8.2.1.3.	Вчитување на карактеристиките на материјалите	166
8.2.1.4.	Вчитување на струјните оптоварувања на возбудната намотка на статорот	169
8.2.1.5.	Вчитување на струјните оптоварувања во кусоврзаниот прстен на статорот	169
8.2.1.6.	Вчитување на струјните оптоварувања на роторот	171
8.2.1.7.	Моделирање на вртењето на роторот	173
8.2.1.8.	Моделирање на лизгањето	177
8.2.1.9.	Моделирање на закосувањето на каналите на роторот	178
8.2.2.	ПРОЦЕСИРАЊЕ – ПРЕСМЕТКА НА МАГНЕТНОТО ПОЛЕ ВО МОТОРОТ АКО-16	180
8.2.3.	ПОСТПРОЦЕСИРАЊЕ	
9.	МКЕ ЗА МУЛТИФИЗИЧКА ТЕРМАЛНА АНАЛИЗА НА ВИСОКОБРЗИНСКА ЕЛЕКТРИЧНА МАШИНА СО ПЕРМАНЕНТНИ МАГНЕТИ	189
9.1.	КОРИСТЕНИ МЕТОДИ	192
9.1.1.	ДВОДИМЕНЗИОНАЛЕН АКСИСИМЕТРИЧЕН НУМЕРИЧКИ МУЛТИФИЗИЧКИ МОДЕЛ	193
9.1.2.	ТРИДИМЕНЗИОНАЛЕН МОДЕЛ НА ТОПЛИНСКИ ТРАНСФЕР	196
9.1.3.	МЕТОД НА ТЕРМАЛНО ПОЛЕ	198
9.2.	РЕЗУЛТАТИ ОД ТЕРМИЧКИТЕ ПРЕСМЕТКИ И НИВНА АНАЛИЗА	200
9.2.1.	РЕЗУЛТАТИ НА ЗАГУБИТЕ ВО ЕЛЕКТРИЧНАТА МАШИНА	193
9.2.2.	РЕЗУЛТАТИ ЗА РАСПРЕДЕЛБАТА НА ТЕМПЕРАТУРИТЕ ВО МАШИНАТА	201
9.2.3.	ВЕРИФИКАЦИЈА НА РЕЗУЛТАТИТЕ	205
10.	ПРИМЕНА НА МКЕ ЗА АНАЛИЗА НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИ И ТОПЛИНСКИ ПРОЦЕСИ ВО ТРАНСФОРМАТОРИ	209
10.1.	ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИ СИЛИ ВО ТРИФАЗЕН ТРАНСФОРМАТОР	211
10.1.1.	МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ НА ТРАНСФОРМАТОРОТ	211
10.1.2.	МАТЕМАТИЧКА ФОРМУЛАЦИЈА ЗА МКЕ ПРЕСМЕТКА НА ЕЛЕКТРОМАГНЕТНИТЕ СИЛИ ПРИ КУСА ВРСКА	213
10.1.3.	АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИТЕ	216
10.1.3.1.	Истражување на новите модели на намотки	216
10.1.3.2.	Распределба на електромагнетното поле	220
10.1.3.3.	Распределба на електромагнетните сили	223
10.1.3.4.	Анализа на електромагнетните сили во моделите	227
10.2.	ТЕМПЕРАТУРНА ПРЕСМЕТКА НА ТРАНСФОРМАТОР	228
10.2.1.	КАРАКТЕРИСТИКИ НА МЕТОДОТ НА КОНЕЧНИ ЕЛЕМЕНТИ (МКЕ)	228

161	10.2.2.	МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ПРЕСМЕТКА НА ТОПЛИНСКИ ПОЛИЊА СО ПОМОШ НА МКЕ	230
162	10.2.3.	ANSYS ПРОГРАМСКИ ПАКЕТ ЗА ПРЕСМЕТКА И АНАЛИЗА НА ТОПЛИНСКИ ПРОЦЕСИ	232
163	10.2.3.1.	Дефиниција на стационарни топлински процеси	233
164	10.2.3.2.	Дефиниција на преодни топлински процеси	234
165	10.2.4.	ANSYS МОДЕЛ НА ТРАНСФОРМАТОР И ПРЕСМЕТКА НА ТЕМПЕРАТУРНО ПОЛЕ	234
166	10.2.4.1.	Формирање на модел за анализа на топлинските појави	235
166	10.2.4.2.	Дефинирање на оптоварувањето и МКЕ решение	244
166	10.2.5.	МКЕ РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА	245
169	11.	МАТЛАВ/SIMULINK – СОВРЕМЕНА АЛАТКА ЗА ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА НА ЕЛЕКТРИЧНИТЕ МАШИНИ	253
169	11.1.	МОДЕЛИРАЊЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИ КОМПОНЕНТИ	255
171	11.2.	АЛАТКИ ЗА ДИНАМИЧКИ СИМУЛАЦИИ	256
173	11.3.	ВОВЕД ВО ПРОГРАМСКИОТ ПАКЕТ MATLAB/Simulink	257
177	11.3.1.	АКТИВИРАЊЕ НА SIMULINK	257
178	11.3.2.	ИЗБОР НА МЕТОДИ ЗА ИНТЕГРАЦИЈА	263
180	12.	АНАЛИЗА НА ДИНАМИЧКИ РЕЖИМИ НА РАБОТА НА СИНХРОН ДИСКОВ МОТОР СО ПЕРМАНЕНТНИ МАГНЕТИ	265
189	12.1.	ДИНАМИЧКИ МОДЕЛ НА СДМППМ	265
192	12.1.1.	МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ НА СДМППМ	266
193	12.1.2.	ПАРАМЕТРИ НА СДМППМ – ОТПОРНОСТИ И РЕАКТАНСИ	267
196	12.1.3.	ФУНКЦИОНАЛНА СИМУЛАЦИСКА ШЕМА НА СДМППМ	269
198	12.2.	ДИНАМИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА СДМППМ	271
200	12.2.1.	ДИНАМИКА НА СДМППМ ПРИ ЗАЛЕТУВАЊЕ ВО ПРАЗЕН ОД	271
201	12.2.2.	ДИНАМИКА НА СДМППМ ПРИ ЗАЛЕТУВАЊЕ СО ОПТОВАРУВАЊЕ	272
205	13.	АНАЛИЗА НА ДИНАМИЧКИ РЕЖИМИ НА РАБОТА НА СИНХРОН МОТОР СО ПЕРМАНЕНТНИ МАГНЕТИ	275
209	13.1.	ДИНАМИЧКИ МОДЕЛ НА МОТОРОТ ЕКМ 90М-6	275
211	13.1.1.	МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ НА СМППМ	276
211	13.1.2.	ПАРАМЕТРИ НА СМППМ – ОТПОРНОСТИ И РЕАКТАНСИ	277
213	13.1.3.	ФУНКЦИОНАЛНА СИМУЛАЦИСКА ШЕМА НА ЕКМ 90М-6	279
216	13.2.	ДИНАМИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕКМ 90М-6	279
216	13.2.1.	ДИНАМИКА НА СМППМ ПРИ ЗАЛЕТУВАЊЕ ВО ПРАЗЕН ОД	280
220	13.2.2.	ДИНАМИКА НА СДМППМ ПРИ ЗАЛЕТУВАЊЕ СО ОПТОВАРУВАЊЕ	281
223	14.	ДИНАМИЧКИ РЕЖИМИ НА РАБОТА НА ЕДНОФАЗЕН СИНХРОН МОТОР СО ПЕРМАНЕНТНИ МАГНЕТИ	283
227	14.1.	РАЗВОЈ НА СИМУЛАЦИСКИ МОДЕЛ НА SMP-25/PM	284
228	14.2.	ДИНАМИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА МОТОРОТ SMP-25/PM	287
228	14.2.1.	ЗАЛЕТУВАЊЕ ВО ПРАЗЕН ОД НА МОТОРОТ SMP-25/PM	287
	14.2.2.	ЗАЛЕТУВАЊЕ НА ОПТОВАРЕН МОТОР SMP-25/PM	290

15.	ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА НА ЧЕКОРЕН МОТОР	293
15.1.	ПРИНЦИП НА РАБОТА НА ЧЕКОРНИТЕ МОТОРИ	294
15.1.1.	ЧЕКОРНИ РЕЛУКТАНТНИ МОТОРИ	295
15.1.2.	ЧЕКОРНИ МОТОРИ СО ПЕРМАНЕНТНИ МАГНЕТИ	296
15.1.3.	ХИБРИДНИ ЧЕКОРНИ МОТОРИ	297
15.1.4.	ПРИМЕНА НА ЧЕКОРНИТЕ МОТОРИ	301
15.2.	ОСНОВНА ТЕОРИЈА НА ДИНАМИЧКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЧЕКОРНИТЕ МОТОРИ	301
15.3.	СОФТВЕРСКИ ПАКЕТ MATLAB-SIMULINK	305
15.3.1.	СИМУЛАЦИЈА НА ХИБРИДЕН ЧЕКОРЕН МИКРОМОТОР СО ПОМОШ НА СОФТВЕРСКИОТ ПАКЕТ MATLAB-SIMULINK	307
15.3.2.	СИМУЛАЦИЈА НА ЧЕКОРНИОТ МОТОР	311
16.	ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА НА ЕДНОФАЗЕН АСИНХРОН МОТОР СО ЗАСЕЧЕНИ ПОЛОВИ АКО-16	321
16.1.	РАЗВОЈ НА МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ НА ЕФАМЗП	294
16.2.	РАЗВОЈ И ПРИМЕНА НА СИМУЛАЦИОНИОТ МОДЕЛ НА АСИНХРОН МОТОР СО ЗАСЕЧЕНИ ПОЛОВИ ТИП АКО-16	326
16.2.1.	СИМУЛИНК МОДЕЛ НА ПРОТОТИПОТ АКО-16	295
16.2.2.	РЕЗУЛТАТИ	329
16.3.	ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА НА ПРОТОТИПОТ АКО-16	330
16.3.1.	ДИНАМИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ЗАЛЕТУВАЊЕ ВО ПРАЗЕН ÔД	330
16.3.2.	ДИНАМИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ЗАЛЕТУВАЊЕ ДО НОМИНАЛНО ОПТОВАРУВАЊЕ	334
17.	ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА НА ТРИФАЗЕН ТРАНСФОРМАТОР	339
17.1.	РАЗВОЈ И ИЗВЕДБА НА СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ТРИФАЗЕН ТРАНСФОРМАТОР	339
17.1.1.	РАВЕНКИ НА МАГНЕТНИТЕ ФЛУКСЕВИ НА ТРАНСФОРМАТОРОТ	339
17.1.2.	РАВЕНКИ НА НАПОНИТЕ НА ТРАНСФОРМАТОРОТ	341
17.1.3.	ЕКВИВАЛЕНТНА ШЕМА НА ТРАНСФОРМАТОРОТ	342
17.1.4.	СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ЕДНОФАЗЕН ТРАНСФОРМАТОР	343
17.2.	СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ТРИФАЗЕН ТРАНСФОРМАТОР ВО MATLAB/SIMULINK	346
17.2.1.	КРАТОК ОСВРТ КОН СИМУЛАЦИОНИОТ МОДЕЛ НА ТРИФАЗЕН ТРАНСФОРМАТОР И ОБЈАСНУВАЊЕ НА НЕГОВИОТ НАЧИН НА ФУНКЦИОНИРАЊЕ	349
17.3.	ТРАНЗИЕНТНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ТРАНСФОРМАТОРОТ ПРИ РАЗЛИЧНИ РЕЖИМИ НА ВКЛУЧУВАЊЕ ВО РАБОТА	350
17.3.1.	ВКЛУЧУВАЊЕ НА ТРАНСФОРМАТОРОТ НА МРЕЖА ПРИ НОМИНАЛЕН НАПОН БЕЗ ОПТОВАРУВАЊЕ	350
17.3.2.	ВКЛУЧУВАЊЕ НА ТРАНСФОРМАТОРОТ НА МРЕЖА ПРИ НОМИНАЛЕН НАПОН СО НОМИНАЛНО ОПТОВАРУВАЊЕ	355
17.3.3.	ВКЛУЧУВАЊЕ НА ТРАНСФОРМАТОРОТ НА МРЕЖА ПРИ ОБИД НА КУСА ВРСКА СО СНИЖЕН НАПОН	360
17.3.4.	ВКЛУЧУВАЊЕ НА ТРАНСФОРМАТОРОТ НА МРЕЖА ПРИ ХАВАРИСКА КУСА ВРСКА СО НОМИНАЛЕН НАПОН	363

193	18.	ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА НА ВЕТРОГЕНЕРАТОРСКИ СИСТЕМИ	365
294	18.1.	ВИДОВИ ВЕТРОГЕНЕРАТОРИ И НИВНО ПОВРЗУВАЊЕ СО МРЕЖА	366
295	18.1.1.	МЕКО ПУШТАЊЕ НА ВЕТРОГЕНЕРАТОРИ ПРИКЛУЧЕНИ НА ЕЛЕКТРИЧНА МРЕЖА	366
296	18.1.2.	ВЕТРОГЕНЕРАТОРИ СО ПРОМЕНЛИВА БРЗИНА	367
297	18.1.2.1.	Асинхрони ветрогенератори со кафезен ротор	367
301	18.1.2.2.	Асинхрони ветрогенератори со намотан ротор	370
301	18.1.2.3.	Синхрони ветрогенератори	371
305	18.1.3.	ЕКВИВАЛЕНТНА ШЕМА НА ТРАНСФОРМАТОРОТ	342
307	18.1.4.	СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ЕДНОФАЗЕН ТРАНСФОРМАТОР	343
311	18.2.	МОДЕЛИРАЊЕ И СИМУЛАЦИЈА НА ВЕТРОГЕНЕРАТОРСКИ СИСТЕМИ СО ПРОМЕНЛИВА БРЗИНА	373
321	18.2.1.	ОПИС НА УПОТРЕБЕНИТЕ БЛОКОВИ	374
294	18.2.1.1.	Блок за управување на напонскиот инвертор	376
326	18.2.2.	СИМУЛАЦИЈА НА МОДЕЛОТ	380
295	18.2.2.1.	Брзина на ветер	380
329	19.	АНАЛИЗА НА ВЕТРОГЕНЕРАТОРСКИ СИСТЕМ СО АСИНХРОНИ ГЕНЕРАТОРИ ПО АНАЛИТИЧКИ ПАТ	383
330	19.1.	КЛАСИЧЕН ПРИКАЗ НА СТАЦИОНАРНА СОСТОЈБА НА АСИНХРОНА МАШИНА	385
330	19.1.1.	ГЕНЕРИРАНА МОКНОСТ	388
334	19.1.2.	ПРИКАЖУВАЊЕ НА ЗАГУБИТЕ НА АСИНХРОНИОТ ГЕНЕРАТОР	390
339	19.1.3.	КАРАКТЕРИСТИКИ НА АСИНХРОНАТА МАШИНА КОЈА РАБОТИ КАКО ГЕНЕРАТОР ПОВРЗАН НА ДИСТРИБУТИВНА МРЕЖА	391
339	19.1.4.	АСИНХРОН ГЕНЕРАТОР СО ГОЛЕМА ЕФИКАСНОСТ	394
339	19.1.5.	ДВОЈНО НАПОЈУВАНИ АСИНХРОНИ ГЕНЕРАТОРИ	395
341	19.2.	АСИНХРОНИ ГЕНЕРАТОРИ СО САМОВОЗБУДА	396
342	19.2.1.	ПЕРФОРМАНСИ НА АСИНХРОНИОТ ГЕНЕРАТОР СО САМОВОЗБУДА	396
343	19.2.2.	МАТЕМАТИЧКИ ОПИС НА САМОВОЗБУДУВАЧКИОТ ПРОЦЕС	399
346	19.2.3.	СЕРИСКИ КОНДЕНЗАТОРИ И ЗАСИЛЕНА ВОЗБУДА НА АСИНХРОНИОТ ГЕНЕРАТОР	404
349	19.3.	АСИНХРОНИ ГЕНЕРАТОРИ СО НАМОТАН РОТОР	405
350	19.3.1.	РАВЕНКИ НА СТАЦИОНАРНА СОСТОЈБА	408
350	19.3.2.	ЕКВИВАЛЕНТНО ЕЛЕКТРИЧНО КОЛО	410
355	19.3.3.	РАБОТА ПРИ ПОВРЗУВАЊЕ СО ЕНЕРГЕТСКА МРЕЖА	413
360	19.3.4.	САМОСТОЈНА РАБОТА НА СИНХРОН ГЕНЕРАТОР СО НАМОТАН РОТОР	414
363	19.3.5.	ПРЕГЛЕД	417
363	20.	КОМПЈУТЕРСКА АНАЛИЗА НА ЕНЕРГИЈАТА НА ВЕТРОТ	419
363	20.1.	ПРЕГЛЕД НА СОФТВЕРСКИ ПАКЕТИ ЗА АНАЛИЗА НА ЕНЕРГИЈАТА НА ВЕТРОТ	421
363	20.1.1.	НОМЕР	421
363	20.1.2.	HYBRID 2	422
363	20.1.3.	RETSSCREEN	423
363	20.1.4.	КРАТОК ПРЕГЛЕД	424
363	20.2.	ОПИС НА СОФТВЕРСКАТА АЛАТКА RETSCREEN	425
363	20.2.1.	МАТЕМАТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ	426

	20.2.1.1. Физичко моделирање	426
	20.2.2. РАСПРЕДЕЛБА НА ВЕТРОТ	427
	20.2.3. КРИВА НА ЕНЕРГИЈАТА	428
	20.2.4. ПРЕСМЕТКА НА ПРОИЗВЕДЕНАТА ЕНЕРГИЈА	428
	20.2.4.1. Несведена произведена енергија	429
	20.2.4.2. Бруто произведена енергија (сведена енергија)	429
	20.2.4.3. Испорачана обновлива енергија	429
	20.2.4.4. Собрана обновлива енергија	430
	20.2.4.5. Стапка на апсорпција и предадена обновлива енергија	430
	20.2.4.6. Вишок на обновлива енергија	431
20.3.	ВЛЕЗНИ ПАРАМЕТРИ ЗА ОЦЕНКА НА ИСКОРИСТУВАЊЕТО НА ЕНЕРГИЈАТА НА ВЕТРОТ ОД АСПЕКТ НА ГЕНЕРАТОРОТ	432
	20.3.1. ЕНЕРГИЈАТА СОДРЖАНА ВО ВЕТРОТ	433
	20.3.2. ГУСТИНА НА ВОЗДУХОТ	433
	20.3.3. ДИЈАМЕТАРОТ НА ТУРБИНАТА	435
	20.3.4. БРЗИНА НА ВЕТЕРОТ	437
20.4.	СИМУЛАЦИЈА И ОЦЕНКА НА РЕЗУЛТАТИТЕ ЗА ПРИМЕНА НА РАЗЛИЧНИ ТИПОВИ НА ЕЛЕКТРИЧНИ МАШИНИ	438
20.5.	ОПШТА ОЦЕНКА НА СОФТВЕРСКИТЕ РЕШЕНИЈА	444
	БИБЛИОГРАФИЈА	445
	РЕФЕРЕНЦИ	459