



ISSN 1311-0829

**ГОДИШНИК НА ТЕХНИЧЕСКИ
УНИВЕРСИТЕТ-СОФИЯ
Том 62, книга 4, 2012**



**PROCEEDINGS OF TECHNICAL
UNIVERSITY OF SOFIA
Volume 62, Issue 4, 2012**

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

главен редактор

проф. дтн Емил НИКОЛОВ

зам. главен редактор

проф. дтн Елена ШОЙКОВА

членове

проф. дтн Георги ПОПОВ

проф. дтн Иван КОРОБКО

проф. дфн Иван УЗУНОВ

проф. дтн Иван ЯЧЕВ

проф. дтн Кети ПЕЕВА

проф. дтн Ганчо БОЖИЛОВ

проф. д-р Бончо БОНЕВ

проф. д-р Евелина ПЕНЧЕВА

проф. д-р Иво МАЛАКОВ

проф. д-р Младен ВЕЛЕВ

проф. д-р Огнян НАКОВ

секретар-организатор

инж. Мария ДУХЛЕВА

EDITORIAL BOARD

Editor -in -Chief

Prof. D.Sc. Emil NIKOLOV

Editor -in -Vice -Chief

Prof. D.Sc. Elena SHOYKOVA

Editors

Prof. D.Sc. Georgi POPOV

Prof. D.Sc. Ivan KOROBKO

Prof. D.Sc. Ivan UZUNOV

Prof. D.Sc. Ivan YACHEV

Prof. D.Sc. Keti PEEVA

Prof. D.Sc. Gantcho BOJILOV

Prof. Ph.D. Boncho BONEV

Prof. Ph.D. Evelina PENCHEVA

Prof. Ph.D. Ivo MALAKOV

Prof. Ph.D. Mladen VELEV

Prof. Ph.D. Ognyan NAKOV

Organizing Secretary

Eng. Maria DUHLEVA

Технически университет-София
София 1000, бул. "Кл. Охридски" 8
България <http://tu-sofia.bg>

Technical University of Sofia
Sofia, 1000, boul. Kliment Ohridski 8
Bulgaria <http://tu-sofia.bg>



© Технически Университет-София
© Technical University of Sofia
All rights reserved

ISSN 1311-0829

СЪДЪРЖАНИЕ том 62 кн. 4

МАТЕМАТИКА, АВТОМАТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНИКА, ТРАНСПОРТ, ЕЛЕКТРОНИКА

1. Славчо Давидов, Кирил Стойков.	9
<i>Контролно-измервателни устройства за синхронни генератори с безконтактна система за възбуждане</i>	
2. Деница Държанова.	15
<i>Измерване на индуктивност посредством заряден процес в колебателен R-L-C контур</i>	
3. Иван Кралов.	23
<i>Ново решение за снижаване на шума от релсов транспорт</i>	
4. Ганчо Божилов.	31
<i>Анализ на параметрите на постояннотокови машини при повреди в намотките</i>	
5. Ганчо Божилов, Георги Тодоров.	39
<i>Анализ и диагностика на междунавивково късо съединение в първичната намотка на трансформатор</i>	
6. Валентин Видеков	47
<i>Методика за изследване механична устойчивост на наноструктуриран оксид</i>	
7. Валентин Видеков, Боряна Цанева, Дмитрий Плякин.	55
<i>Изследване на наноструктуриран оксид</i>	
8. Даниела Минковска, Йордан Марков.	61
<i>Проектиране на основните елементи на комуникационен модул в GPS система</i>	
9. Владимир Христов.	69
<i>Адаптивен алгоритъм за оценка на котвеното съпротивление на постояннотоков двигател</i>	
10. Адриана Георгиева.	79
<i>Функционално описание и проектиране на приложение с ускорена обработка на XML йерархия</i>	
11. Адриана Георгиева, Росица Андреева.	87
<i>Реализация на паралелен XML парсер с помощта на многонишково програмиране на JAVA</i>	
12. Живко Георгиев	95
<i>Уравнения за анализ на нелинейни дискретни предавателни линии</i>	
13. Дияна Господинова, Ивайло Иванов, Петър Динев, Люсиен Велева, Алехандро Гутиерес.	103
<i>Плазмено подпомогната огнезащита на дървесина от ТЦАЛАМ (<i>Lysiloma Bahamensis</i>) - I</i>	
14. Дияна Господинова, Ивайло Иванов, Петър Динев, Люсиен Велева, Алехандро Гутиерес.	113
<i>Плазмено подпомогната огнезащита на дървесина от ТЦАЛАМ (<i>Lysiloma Bahamensis</i>) - II</i>	

15. Райна Ценева	123
<i>Моделирание на електрическото поле в болтови шинни съединения от алуминиева сплав с надлъжни процени</i>	
16. Костадин Миланов, Райна Ценева	131
<i>Изследване на индуктори за намагнитване на магнитни системи с редкоземни магнити</i>	
17. Костадин Миланов, Минчо Минчев, Михаела Славкова	137
<i>Изследване влиянието на вихровите токове при импулсно намагнитване на системи с постоянни магнити</i>	
18. Валентин Матеев, Анелия Терзова, Илиана Маринова	145
<i>Оптимизация на конструкцията на система за магнитно-резонансна образна диагностика</i>	
19. Симона Петракиева, Галя Георгиева-Таскова, Захари Иванов.	153
<i>Влияние на промяната на захранващото напрежение върху светлинния поток на разрядните лампи</i>	
20. Димо Чотров, Стоян Малешков	161
<i>Изследване на методи и средства за проектиране и реализация на достъпна преносима система за виртуална реалност за решаване на инженерни задачи</i>	
21. Емил Николов, Нина Николова, Василка Стоилова, Борис Грасиани	169
<i>Фрактално управление с приближена размерност на пространствената разпределеност</i>	
22. Георги Полихронов, Красимир Неделчев, Иван Кралов	179
<i>Геометричен синтез на местоположението на допълнителната маса върху тънкостенна плоча с цел изменение на определени собствени честоти при различни гранични условия</i>	
23. Георги Михов	189
<i>Измерване на честота и на амплитуда на мрежовисмущения чрез субтракционната процедура</i>	
24. Весела Карлова-Сергиева	199
<i>Моделирание на неопределеност в параметрите на обект за управление</i>	

CONTENTS Volume 62 Issue 4

MATHEMATICS, AUTOMATICS, ELECTROTECHNICS, TRANSPORTATION, ELECTRONICS

1. Slavcho Davidov, Kiril Stoykov.	9
<i>Control-Measurement Devices for Synchronous Machines with Contactless Excitation</i>	
2. Denitsa Darzhanova.	15
<i>Inductance Measurement by Means of a Charging Process in an Underdamped R-L-C Circuit</i>	
3. Ivan Kralov.	23
<i>A New Solution for the Railway Noise Reduction</i>	
4. Gantcho Bojilov.	31
<i>Analysis of the Performances of the DC Machines in Case the Failures of Their Windings “</i>	
5. Gantcho Bojilov, George Todorov	39
<i>Analysis and Fault Diagnostics of an Interturn Short-Circuit in Transformer’s Primary Winding</i>	
6. Valentin Videkov	47
<i>Methodology of Investigation Mechanical Stability of Nanostructured Oxide</i>	
7. Valentin Videkov, Boryana Tzaneva, Dmitry Plyakin	55
<i>Study of Nanostructured Oxide</i>	
8. Daniela Minkovska, Jordan Markov	61
<i>Design of Main Elements of Communication Module in a GPS System</i>	
9. Vladimir Hristov.	69
<i>Adaptive Algorithm for Estimating the Armature Resistance of DC Motor</i>	
10. Adriana Georgieva.	79
<i>Function Description and Application Design of XML Hierarchy with Speed up Processing</i>	
11. Adriana Georgieva, Rositsa Andreeva.	87
<i>Parallel XML Parser Realization Using JAVA Multithreaded Programing</i>	
12. Zhivko Georgiev.	95
<i>Equations for the Analysis of Nonlinear Discrete Transmission Lines</i>	
13. Dilyana Gospodinova, Ivajlo Ivanov, Peter Dineff, Lucien Veleva and Alejandro Gutierrez	103
<i>Plasma Aided Flame Retardation of TZALAM Wood (Lysiloma BAhamensis) - I</i>	
14. Dilyana Gospodinova, Ivajlo Ivanov, Peter Dineff, Lucien Veleva and Alejandro Gutierrez	113
<i>Plasma Aided Flame Retardation of TZALAM Wood (Lysiloma BAhamensis) - II</i>	
15. Raina Tzeneva	123
<i>Modeling of Electrical Field in Aluminium Alloy Bolted Busbar Connections with Longitudinal Slots</i>	
16. Kostadin Milanov, Raina Tzeneva.	131
<i>Investigation of Inductors for Magnetization of Magnetic Systems with Rare Earth Magnets</i>	

17. Kostadin Milanov, Mincho Minchev, Mihaela Slavkova	137
<i>Investigation of Eddy Current Influence at Pulse Magnetization in Systems with Permanent Magnets</i>	
18. Valentin Mateev, Aneliya Terzova, Iliana Marinova	145
<i>Optimization of Magnetic Resonance Imaging System Construction</i>	
19. Simona Petrakieva, Galia Georgieva-Taskova, Zahari Ivanov.	153
<i>Effect of the Supplying Voltage Variation on the Luminous Flux in Discharge Lamps</i>	
20. Dimo Chotrov, Stoyan Maleshkov.	161
<i>Methods and Tools for Design and Implementation of an Affordable Mobile Virtual Reality System for Solving Engineering Problems</i>	
21. Emil Nikolov, Nina G. Nikolova, Vassilka Stoilova, Boris Grasiani	169
<i>Fractional Control with Approximate Dimension of the Spatial Distribution</i>	
22. Georgy Polihronov, Krasimir Nedelchev, Ivan Kralov	179
<i>Geometrical Synthesis of the Additional Mass Position over a Thin Plate for Changing Some of the Natural Frequencies in Different Boundary Conditions</i>	
23. Georgy Mihov.	189
<i>Power-Line Interference Frequency and Amplitude Measurement Using the Subtraction Procedure</i>	
24. Vessela Karlova-Sergieva.	199
<i>Modelling of Uncertainty in the Plant Parameters</i>	

Author's Index Volume 62 Issue 4

<i>No</i>	<i>author</i>	<i>author</i>	<i>page</i>
1	Adriana	Georgieva	79, 87
2	Alejandro	Gutierrez	103, 113
3	Aneliya	Terzova	145
4	Boris	Grasiani	169
5	Boryana	Tzaneva	55
6	Daniela	Minkovska	61
7	Denitsa	Darzhanova	15
8	Dilyana	Gospodinova	103, 113
9	Dimo	Chotrov	161
10	Dmitry	Plyakin	55
11	Emil	Nikolov	169
12	Galia	G.-Taskova	153
13	Gantcho	Bojilov	31, 39
14	Georgy	Mihov	189
15	Georgy	Polihronov	179
16	George	Todorov	39
17	Iliana	Marinova	145
18	Ivajlo	Ivanov	103, 113
19	Ivan	Kralov	23, 179
20	Jordan	Markov	61
21	Kiril	Stoykov	9
22	Kostadin	Milanov	131, 137
23	Krasimir	Nedelchev	179
24	Lucien	Veleva	103, 113
25	Mihaela	Slavkova	137
26	Mincho	Minchev	137
27	Nina G.	Nikolova	169
28	Peter	Dineff	103, 113
29	Raina	Tzeneva	123, 131
30	Rositsa	Andreeva	87
31	Simona	F.-Petrakieva	153
32	Slavcho	Davidov	9
33	Stoyan	Maleshkov	161
34	Valentin	Mateev	145
35	Valentin	Videkov	47, 55
36	Vassilka	Stoilova	169
37	Vessela K.	Sergieva	199
38	Vladimir	Hristov	69
39	Zahari	Ivanov	153
40	Zhivko	Georgiev	95

Volume 62 Issue 4

pages
208

articles
24

authors
40

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИНДУКТОРИ ЗА НАМАГНИТВАНЕ НА МАГНИТНИ СИСТЕМИ С РЕДКОЗЕМНИ МАГНИТИ

Костадин Миланов, Райна Ценева

Резюме: *Постоянните магнити намират все по-широко приложение в изделията на електротехниката и електрониката. Новите свръхкоерцитивни магнити на основата на редкоземните материали (Fe-Nd-B) изискват използване на намагнитващи устройства с високи стойности на магнитните полета. Високите стойности в реалната практика могат да бъдат достигнати чрез прилагане на импулсни методи при ниски нива на потребление на енергия. Големите скорости на изменение на импулсните намагнитващи полета обуславят появата на вихрови токове. Последствията от тях се свързват с екраниращото им действие и недостатъчното намагнитване на вътрешните области на постоянните магнити и необходимостта от увеличаване на външното поле за намагнитване. Индукторите, които възбуждат посочените високи стойности на магнитното поле за намагнитване имат доминираща и съществена роля за работа на цялото устройство за намагнитване. По тази причина тяхното подробно изследване е обект на настоящата работа.*

Ключови думи: *системи за намагнитване, намагнитване на редкоземни постоянни магнити, метод с крайни елементи, импулсни намагнитващи полета.*

INVESTIGATION OF INDUCTORS FOR MAGNETIZATION OF MAGNETIC SYSTEMS WITH RARE EARTH MAGNETS

Kostadin Milanov, Raina Tzeneva

Abstract: *Permanent magnets are widely used in the electrical and electronic equipment. The new overcoercitive magnets, based on the rare-earth materials (Fe-Nd-B) require using of powerful magnetic systems. In the real practice the high values of the magnetic flux density can be reached by the application of pulse practices at low levels of the energy consumption. High velocity of changing of the pulse magnetization fields determines the appearance of eddy currents. The results of these currents are related to the shielding action and insufficient magnetization of the internal zones of the permanent magnets and the necessity of increasing of the external magnetization field. The inductors that excite the shown high values of the magnetic field for magnetization have dominant and essential role for the work of the whole magnetization device. For this reason their investigation in details is an object of this paper.*

Keywords: *magnetization systems, magnetization of rare-earth permanent magnets, finite elements analysis, pulse magnetization fields.*

1. Въведение

Изследваните в настоящата публикация индуктори са предназначени за намагнитване на системи за високоговорители, разработени и произвеждани от фирма *Би Ем Ес Продъкшън ООД - София*. Индукторите са от соленоиден тип с цилиндричен работен отвор с диаметър $d = 160 \text{ mm}$. Проектирани са за импулсно намагнитване на системи с висококоерцитивни постоянни магнити и работят съвместно с магнетизатор с марка *BELA – IM 60*, разработен и внедрен от екипа на проф. д-н Минчо Минчев и инж. Костадин Миланов при НИС на ТУ - София. Системите за високоговорители имат големи масивни части, което предполага, че при намагнитване ще се развиват вихрови токове с големи стойности, които възпрепятстват процесите на намагнитване. За намаляване на влиянието на вихровите токове при проектиране на импулсни магнетизатори и на индуктори за работа с тях, са предприети две стъпки: *първа* – работното напрежение на кондензаторната батерия, е избрано в долната част на обхвата на работните напрежения при импулсни магнетизатори; *второ* – схемата на тиристорните ключове формира комбинирана форма на намагнитващия ток през индуктора. Формата на намагнитващия ток през индуктора се състои от четвърт синусоида и експоненциално спадащ импулс [1]. В резултат от първата стъпка се постига пониска резонансна честота на контура „кондензаторна батерия - индуктор”. Индукторът е с относително висока стойност на индуктивността си, а кондензаторната батерия е с относително по-висока стойност на номиналния си капацитет.

Чрез използване на комбинирана форма на намагнитващия ток през индуктора се постига силно отслабване на влиянието на вихровите токове [1]. В замяна на отслабване на вихровите токове, цялата енергия, която се запасява в кондензаторната батерия при осъществяване на процеса на намагнитване се разсейва като топлинна енергия в индуктора. Температурният режим на индуктора се определя от запасената в кондензаторната батерия енергия преди процесът на намагнитване (тя е пропорционална на квадрата на напрежението) и зависи от честотата на провеждане на процесите на намагнитване.

За постигане на зададената честота на работа, индукторът трябва да бъде изпълнен с канали между отделните слоеве и с принудително въздушно охлаждане. Индукторът работи с много висока специфична мощност. Разработеният магнетизатор работи при номинална запасена енергия в него от $60\,000 \text{ Ws}$, а времето за достигане на максималната стойност на тока в индуктора е 14 ms . Мощността, с която се обменя енергията между кондензаторната батерия и индуктора е равна на:

$$P_s = \frac{60\,000}{14 \cdot 10^{-2}} = 4.285 \cdot 10^6 \text{ W}$$

Тя е с твърде висока стойност и е съпроводена с протичането на токове с голяма стойност и възникване на големи електродинамични сили

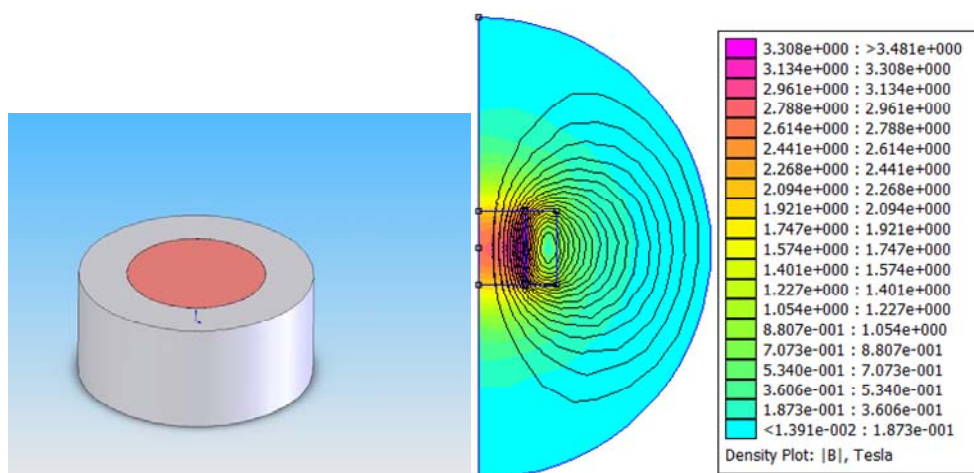
Изследвани са няколко типа индуктори от соленоиден тип и бобини на Хелмхолц [2] със следните технически характеристики: *а)* – работен обем - цилиндър с диаметър $d = 160 \text{ mm}$ и височина $h = 130 \text{ mm}$; *б)* – максимална индукция в работния обем, *в)* – максимални стойности на номиналното напрежение на зареж-

дане на кондензаторната батерия $U_c = 1\ 400\ V$. Магнитната индукция, определена по средата на височината на индуктора и по периферията на работното пространство е $7\ T$. Тази, определено по средата на височината на индуктора и в центъра на работното пространство е $5,5\ T$; **в)** – амплитудата на намагнитващия ток - до $10\ 000\ A$.

В настоящата работа са разработени модели на различни конфигурации на индуктори от магнетизиращи системи, като е решена магнитната задача с програмния продукт FEMM [3] и е зададена плътност на тока – $250\ MA/m^2$. Намотките са изработени от мед.

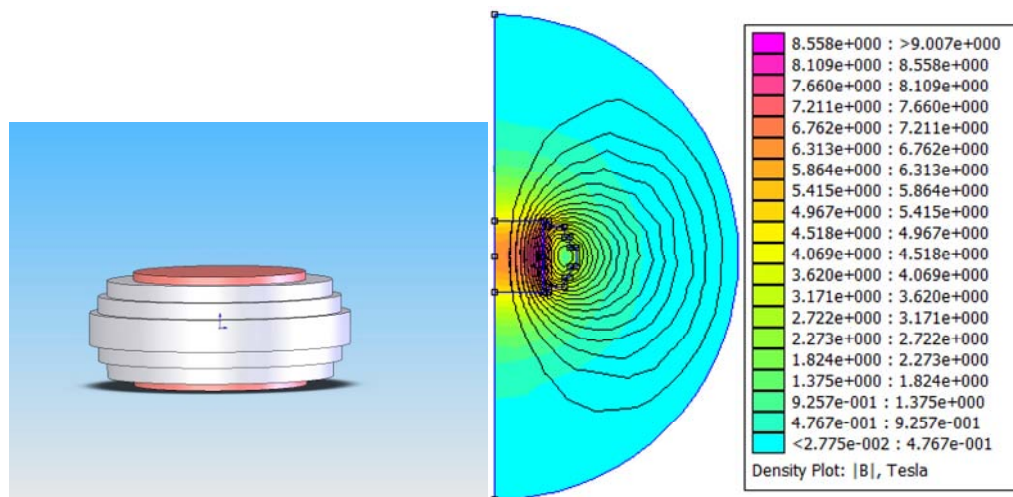
2. Изложение

Първоначално е моделиран цилиндричен индуктор - фиг.1.



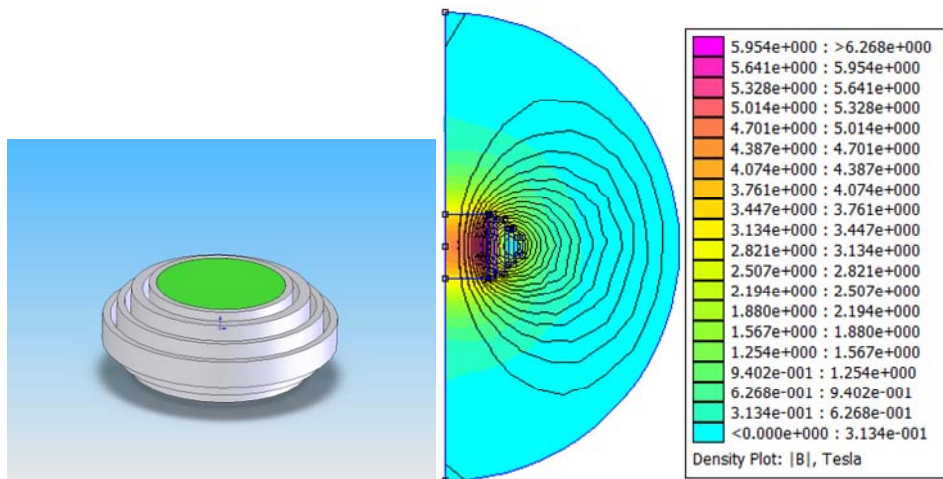
Фиг.1. Магнитна индукция в цилиндричен индуктор

Цилиндричните индуктори от трапецовиден вид без канали са показани на фиг.2.

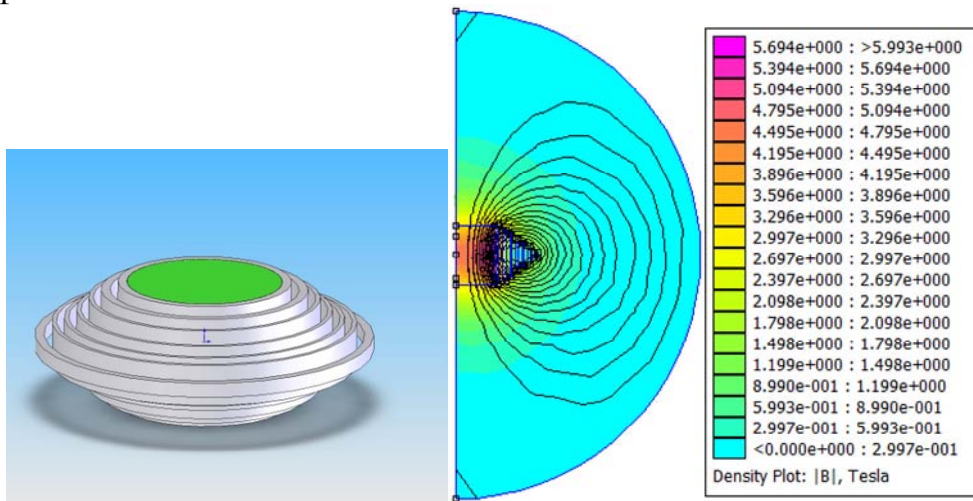


Фиг.2. Магнитна индукция в трапецовиден индуктор без канали

Изследванията на магнитното поле за всички гореспоменати индуктори по метода на крайните елементи налагат изводите, че за да се удовлетворят всички изисквания на заданието, трябва да се избере индуктор от трапецовиден тип с канали, фиг.3, възбуждащ силно магнитно поле необходимо за намагнитването на магнитните системи с редкоземни магнити с голяма честота на намагнитване.



Фиг.3. Магнитна индукция в трапецовиден индуктор с канали за охлаждане
Трапецовидният тип индуктор с 10 слоя намотки и с канали за охлаждане е показан на фиг.4.

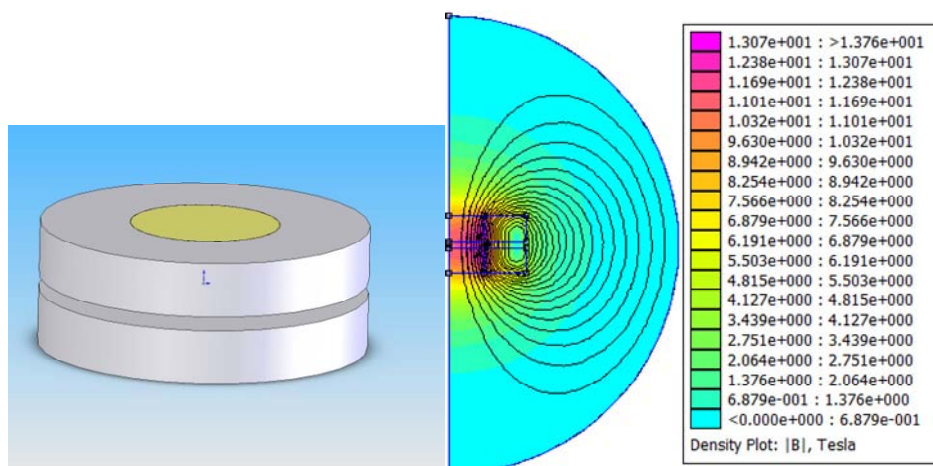


Фиг.4. Магнитна индукция в трапецовиден индуктор с 10 слоя намотки и с канали за охлаждане

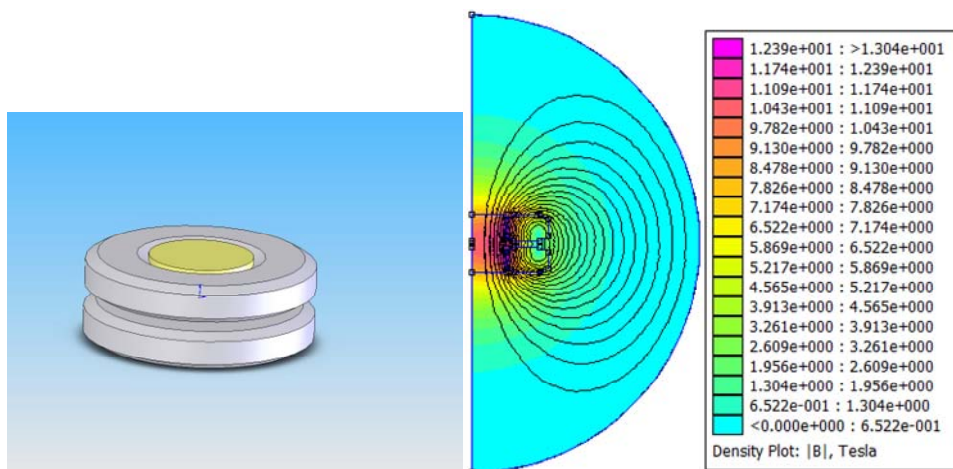
При проведеното изследване с помощта на моделирането на индуктори за намагнитване на магнитни системи с редкоземни магнити, магнитната индукция B , фиг.8, и магнитната енергия W_m , фиг.9, са с максимални стойности в сечението, определено от средата на височината на индуктора и центъра на работното пространство при многонавивковите Хелмхолцови бобини, фиг.5, фиг.6 и фиг.7. Сравнението между получените в резултат на моделирането магнитни индукции за различните видове индуктори е графично онагледено на фиг.8. Разпределението на индукцията е по хоризонтален контур в средата на работното пространство. Разпределението на магнитната енергия на системите за намагнитване на всички индуктори е показано на фиг.9.

3. Заключение

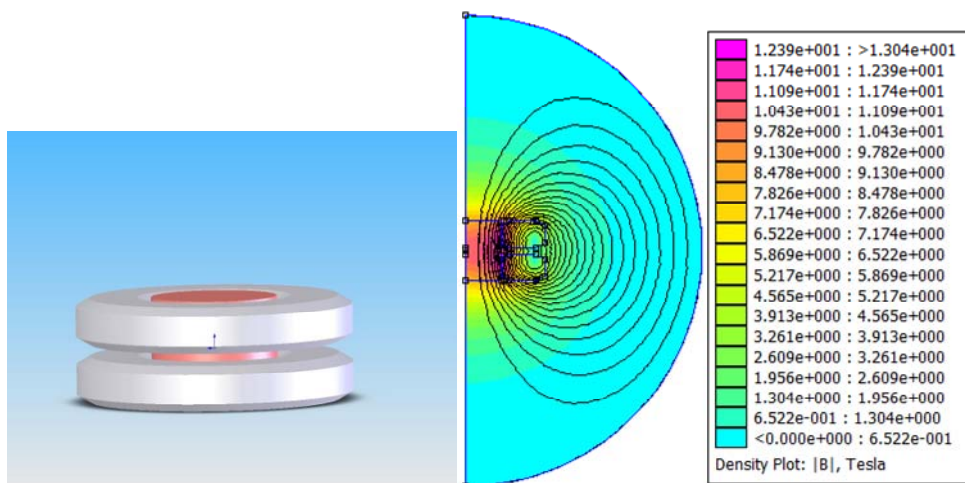
Стойностите на магнитната индукция и магнитната енергия при цилиндричен индуктор, фиг.1, не са достатъчни и не удовлетворяват изискванията на заданието. Цилиндричните индуктори от трапецовиден вид без канали възбуждат в работния си обем магнитна индукция B и магнитна енергия W_m достатъчно големи по стойност, съответстващи на заданието за преодоляване на вихровите токове и за намагнитване на магнитните системи.



Фиг.5. Магнитна индукция в индуктор с Хелмхолцови бобини без скосяване



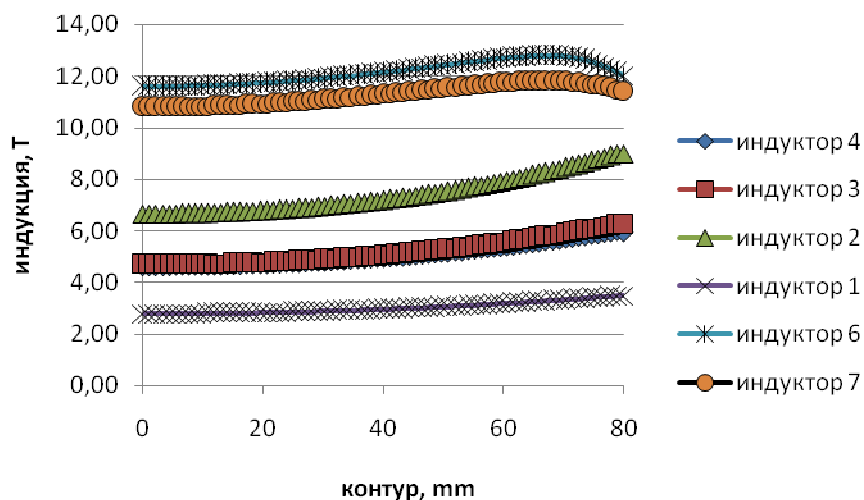
Фиг.6. Магнитна индукция в индуктор с Хелмхолцови бобини с външно скосяване



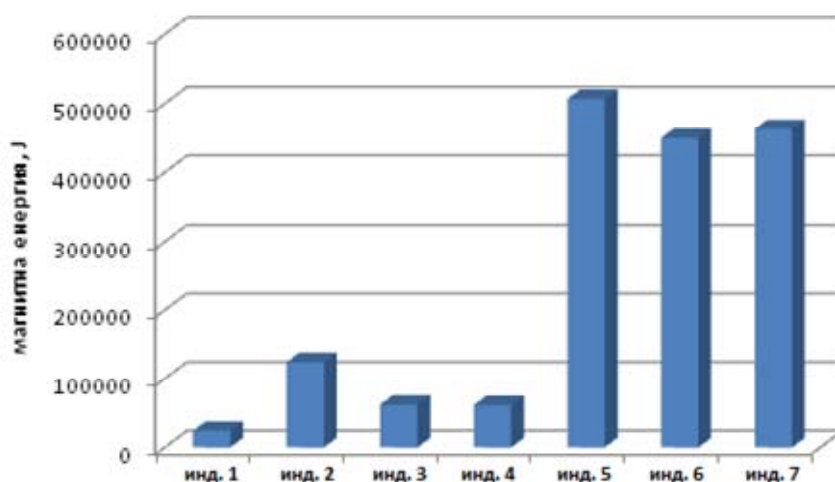
Фиг.7. Магнитна индукция в индуктор с Хелмхолцови бобини с външно и вътрешно скосяване

Следствие на голямата отделена енергия, индукторите се загряват значително, като се намалява честотата на намагнитване на магнитните системи. Трапецовидният тип индуктор с 10 слоя намотки се характеризира с твърде голямо разсейване в крайните слоеве и укрепването на намотките е сложно, което го прави приложим само при ниски честоти на намагнитване.

Магнитните системи с индуктори с Хелмхолцови бобини имат най-голяма индукция (над $10T$) и най-голяма магнитна енергия, но приложимостта им е ограничена поради възникването на големи електродинамични сили.



Фиг.8. Разпределение на магнитната индукция B по хоризонтален контур в средата на работното пространство.



Фиг.9. Разпределение на магнитната енергия W_m на системата за намагнитване за всички изследвани индуктори

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Steingroever, E., G. (1997), Ross, *Magnet – physik*. Köln.
- [2] Матраков. Б., Д. Русев, Ж. Костов. (1985), *Техника на магнитните измервания*. Техника, София.
- [3] Брандиски, К., И. Ячева. (2002), *CAD системи в електромагнетизма*. Сиела, София.

Автори: инж. Костадин Миланов - асистент в катедра „Електрически апарати” (ЕА), E-mail address: k.milanow@abv.bg; Райна Ценева - доцент д-р инж. в катедра “Електрически апарати” (ЕА), Технически университет - София; E-mail address: tzeneva@tu-sofia.bg

Постъпила на 14.11.2012

Рецензент проф. д.т.н. Минчо Савов Минчев

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ВИХРОВИТЕ ТОКОВЕ ПРИ ИМПУЛСНО НАМАГНИТВАНЕ НА СИСТЕМИ С ПОСТОЯННИ МАГНИТИ

Костадин Миланов, Минчо Минчев, Михаела Славкова

Резюме: *Приложението на постоянните магнити на базата на рядкоземни елементи се разширява непрекъснато. Особено широко приложение те намират както в съвременните електрически машини и апарати, а така също и в различни поляризирани магнитни системи, акустични преобразователи и др. Самостоятелното намагнитване на постоянните магнити в импулсни режими не създава особено сериозни проблеми. Проблемите в този случай са при монтажа на предварително намагнитените детайли, който в много от случаите е силно затруднен. Изходът от това положение е намагнитването да се извърши след монтиране и поставяне на детайлите по местата им. В този случай обаче, влияние започват да оказват масивните метални части (арматури), които са изпълнени предимно от ферромагнитни материали и са част от конструкцията на системите с постоянни магнити, заради влиянието на вихровите токове.*

Ключови думи: *вихрови токове, импулсно намагнитване, масивни системи с постоянни магнити*

INVESTIGATION OF EDDY CURRENT INFLUENCE AT PULSE MAGNETIZATION IN SYSTEMS WITH PERMANENT MAGNETS

Kostadin Milanov, Mincho Minchev, Mihaela Slavkova

Abstract: *The application of permanent magnets based on rare-earth elements increases continuously. They are widely used in the modern electrical machines and apparatus and also in different polarized magnetic systems, acoustic transducers a.o. The independent magnetization of permanent magnets in pulse regimes does not create serious problems. There are problems in this case with the fixture of these magnetized in advance details. To find a way out of the situation, it is necessary to magnetize the details after the fixture on their places. However in this case there is an influence of the massive metal parts (fittings), very often from ferromagnetic material, that are a part of the construction.*

Keywords: *eddy currents, pulse magnetization, massive systems with permanent magnets*

1. Въведение

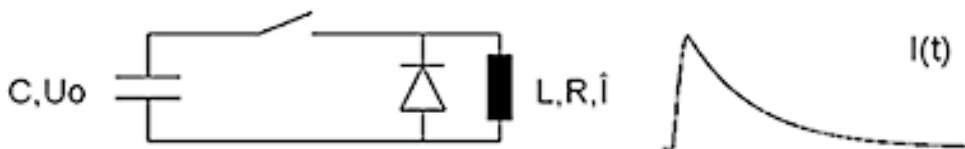
Вихровите токове, които се възбуждат при импулсното намагнитване, съществено влияят на процеса на намагнитване и могат да променят изходните условия за проектиране на съответните устройства.

В литературата липсват публикации за комплексно изследване на влиянието на вихровите токове при намагнитване на масивни устройства с постоянни магнети [1, 2, 3]. Цел на настоящите изследвания е да се анализира и оцени влиянието на вихровите токове при различни схеми на магнетизаторите. Това е необходимо, за да се подпомогне процесът на проектиране. За импулсно намагнитване най-често се ползва токов импулс със синусоидална форма и продължителност един полупериод, показан на фиг.1.



Фиг.1. Електрическа схема за реализиране на токов импулс със синусоидална форма и продължителност един полупериод.

Тази форма на токовия импулс се прилага при намагнитване на самостоятелно използвани постоянни магнети. Комбинирана форма на токовия импулс според фиг.2 се препоръчва при системи с постоянни магнети, за намаляване на влиянието на вихровите токове, [1, 2].



Фиг.2. Електрическа схема за реализиране на токов импулс с комбинирана форма.

Изменението на изходящия ток при намагнитване се описва с два участъка: първи участък, в който токът нараства по синусоидален закон и втори участък, в който токът спада по експоненциален закон, фиг.2.

В работата е проведено изследване относно влиянието и по-точно, механизма на влияние на вихровите токове в масивни системи с постоянни магнети, които имат цилиндрична форма и са симетрични във физическо и магнитно отношение по оста на цилиндъра. За намагнитване тези системи се поставят в индуктор също с цилиндрична форма (соленоид).

Комплектът от индуктор и системата, която трябва да се намагнитва се разглеждат като трансформатор, чиято вторична намотка е свързана на късо. Вто-

ричната намотка е самата магнитна система с постоянен магнит. Вторичният ток по същество се определя от приведените вихрови токове в системата за намагнитване.

Процесът на намагнитване при приложение на постоянни магнити от редки земи се осъществява при напрегнатости на магнитното поле по-висока от $(3,5 \div 4,0) 10^6 \text{ A/m}$. При тези високи стойности на магнитното поле, феромагнитните части на системите за намагнитване са „наситени” и тяхната магнитна проницаемост е близка до стойността за вакуум [4]. При отчитане на това обстоятелство, в работата е прието описаната постановка да се разглежда като въздушен трансформатор.

2. Експериментални изследвания

Изследването е проведено въз основа на :

- теоретичен анализ на поведението на идеализирания по постановката въздушен трансформатор, натоварен с масивен детайл и който представлява намотка свързана на късо. Именно в тази намотка се развиват вихровите токове в системата;
- симулация на процесите в разглежданата система от въздушен трансформатор и масивна вторична намотка чрез програмния продукт PSpice;
- експериментално изследване върху реален образец на промишлено прилаган индуктор и масивна система с постоянен магнит за намагнитване.

И от трите метода резултатите са съпоставени и взаимно се потвърждават и допълват в подкрепа на изказания механизъм на влияние на вихровите токове върху процеса на намагнитване в разглежданото приложение.

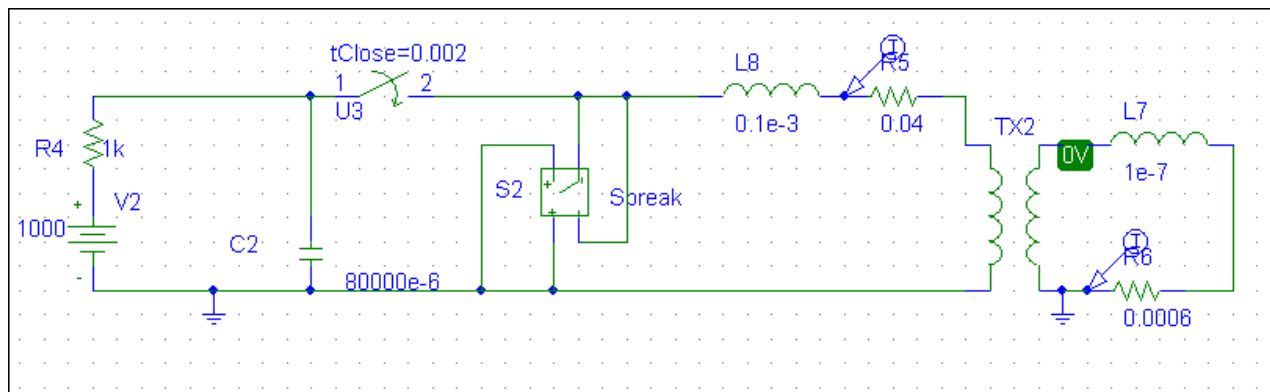
Теоретичният (логичен) анализ се основава на разсъждението, че през първия участък на токовия импулс (синусоидално нарастване), индуктираното напрежение в масивната система за намагнитване ще възбуди ток (вихров ток), който ще се противопоставя на причината – ще възбуди вихрово поле на тока, което съгласно принципа на Ленц ще се противопоставя на нарастването на тока и ще пречи на процеса на намагнитване. При достигане на максимума на токовия импулс и по време на втория участък – на експоненциално спадане, знакът на индуктираното напрежение ще се смени, ще се смени и действието и влиянието на вихровия ток – той ще започне да подпомага процесът на намагнитване.

Симулацията е проведена с програмния продукт PSpice, според електрическата схема дадена на фиг.3.

Стойностите на елементите са определени в съответствие с реален магнетизатор, с който са проведени и експерименталните изследвания.

Кондензаторната батерия C2 е със стойност $80\,000\mu\text{F}$, която се зарежда с напрежение до 1200V . Първичната намотка на трансформатора е с данни от използвания индуктор - индуктивност 1mH , брой на навивките – 100бр. , коефициент на

връзката с вторичната (к.с. 1 навивка от самата цилиндрична конструкция на системата за намагнитване) – 0,95 и параметри на самата вторична намотка - определени от геометричните ѝ размери и специфично съпротивление за стомана вариращо в граници $(0,25-0,5) \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$.



Фиг.3. Електрическа схема за моделиране работата на магнетизатор за намагнитване на редкоземни магнитни системи, разработена чрез програмния продукт PSpise.

На фиг.4 е показан резултат от симулация, който включва три графика:

- токът през индуктора, означен като I_{rab} . Има типичния, описан вече вид с два участъка – синусоидално нарастване и експоненциално спадане;
- вихровия ток през масивните части, означен като I_{vihrov} . Той нараства в отрицателна посока при синусоидалното нарастване на тока през индуктора, преминава през нула и добива положителни стойности в участъка на спадане на работния ток;
- приведения пълен ток, който представлява сумата на двата тока, приведени към броя на навивките на индуктора, означен като $I_{rab} + I_{vihrov} \text{ priveden}$.

Абсолютната стойност на вихровия ток е съизмерима с абсолютната стойност на тока през индуктора, при посочените стойности на параметрите на схемата. При привеждане на неговото влияние, поради съотношение на броя на навивките 100:1 то се редуцира до ниски стойности.

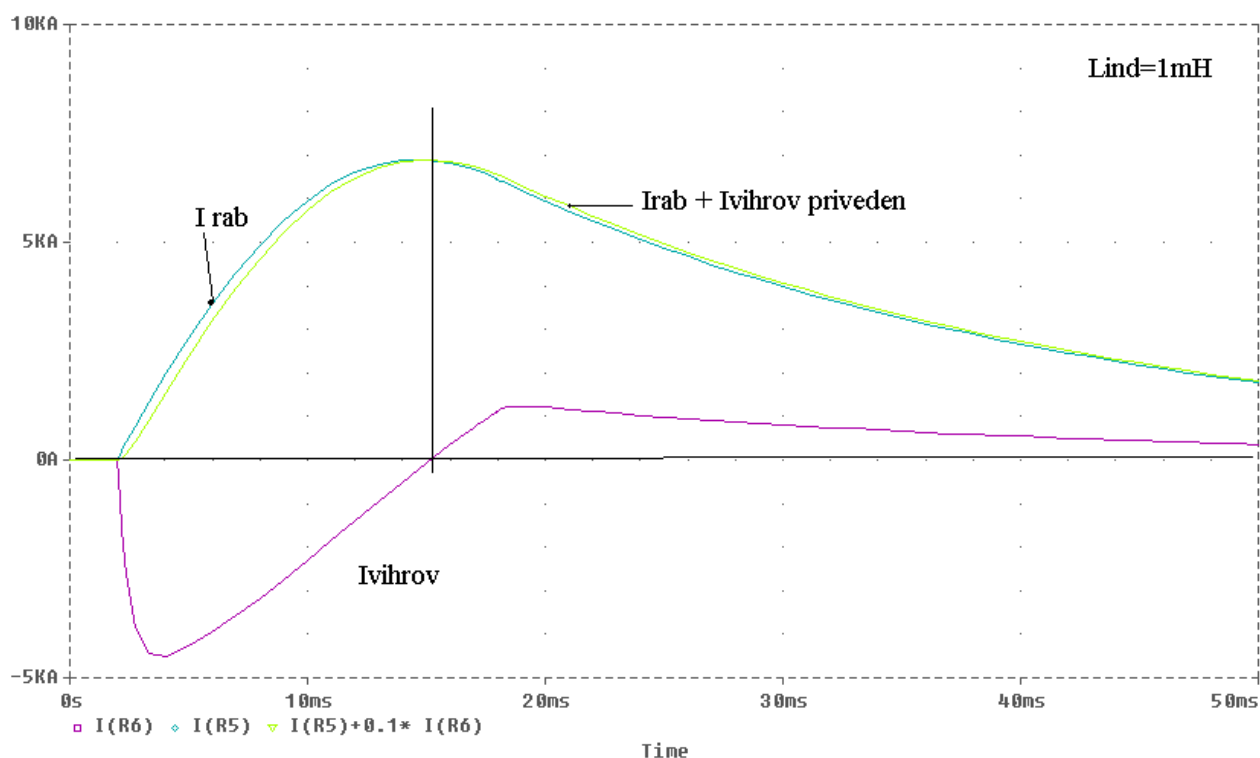
Както се очакваше по изтъкнатите общи физически съображения, при нарастване на тока през индуктора вихровите токове ще „притиводействат”, съгласно принципа на Ленц. След това, те ще подпомагат процесът на намагнитване. Важен е моментът, когато вихровият ток преминава през „0”. Този момент настъпва малко след максималната стойност на тока през индуктора. Тази разлика се определя от общите загуби в контура на разреждане и преди всичко от активното съпротивление на индуктора. При симулацията, той се отчита точно, но е пренебрегнат при теоретичните описания.

Експерименталното изследване е проведено при следните условия:

Обектът е магнитна система за високоговорители, с диаметър $d = 133 \text{ mm}$ и височина $h = 67 \text{ mm}$ в индуктор с вътрешен диаметър $d = 145 \text{ mm}$ и височина $h = 130 \text{ mm}$, във фирма Би Ем Ес Продъкшън.

Поставена е измервателна намотка в основата на системата в средата на индуктора. Напрежението на тази намотка е интегрирано. Интегрираният сигнал е пропорционален на общия магнитен поток в съответното сечение, в съответен мащаб е пропорционален и на магнитната индукция.

За да се оцени влиянието на вихровите токове измерването е осъществено без и с поставена магнитна система.

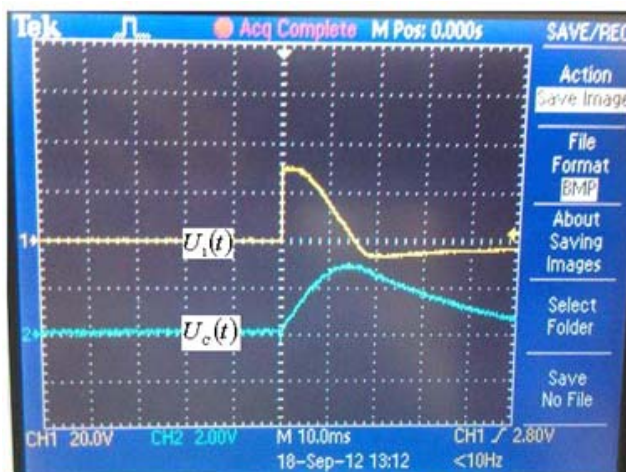


Фиг.4. Криви на електрическия ток протичащ през индуктора, вихровия ток през масивните части и приведения пълен ток.

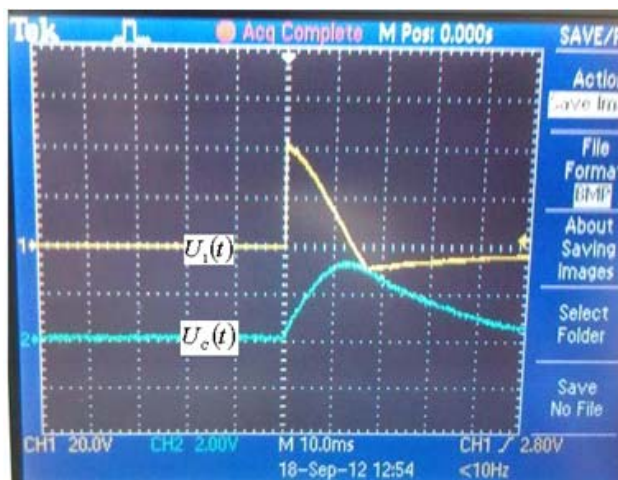
Интегрирането е осъществено с пасивно интегриращо RC звено, понеже нивото на сигнала от измервателната намотка е достатъчно високо. Напрежението е записано с цифров осцилоскоп.

Общият ход на напрежението от сигналната намотка $U_1(t)$ и интегралната му стойност $U_c(t)$ е показано на фиг.5. Средната стойност на магнитната индукция за площта на сигналната намотка S при условията на опита е определяна по зависимостта:

$$B(t) = \frac{U_c(t) \cdot R \cdot C}{w \cdot S}$$



а)



б)

Фиг.5. Форма на напрежението получено от сигналната намотка $U_1(t)$ и интегралната му стойност $U_c(t)$ при наличие (а) и при отсъствие на магнитна система (б).

От увеличени осцилограми за двата случая – без и със система за намагнитване при стойности на времената 5, 10, 20 ms, както и в момент съответстващ на максималната стойност на индукцията са отчетени съответните стойности на средната стойност на индукцията и са дадени в табл. 1 и са показани графично на фиг.6.

Табл. 1.

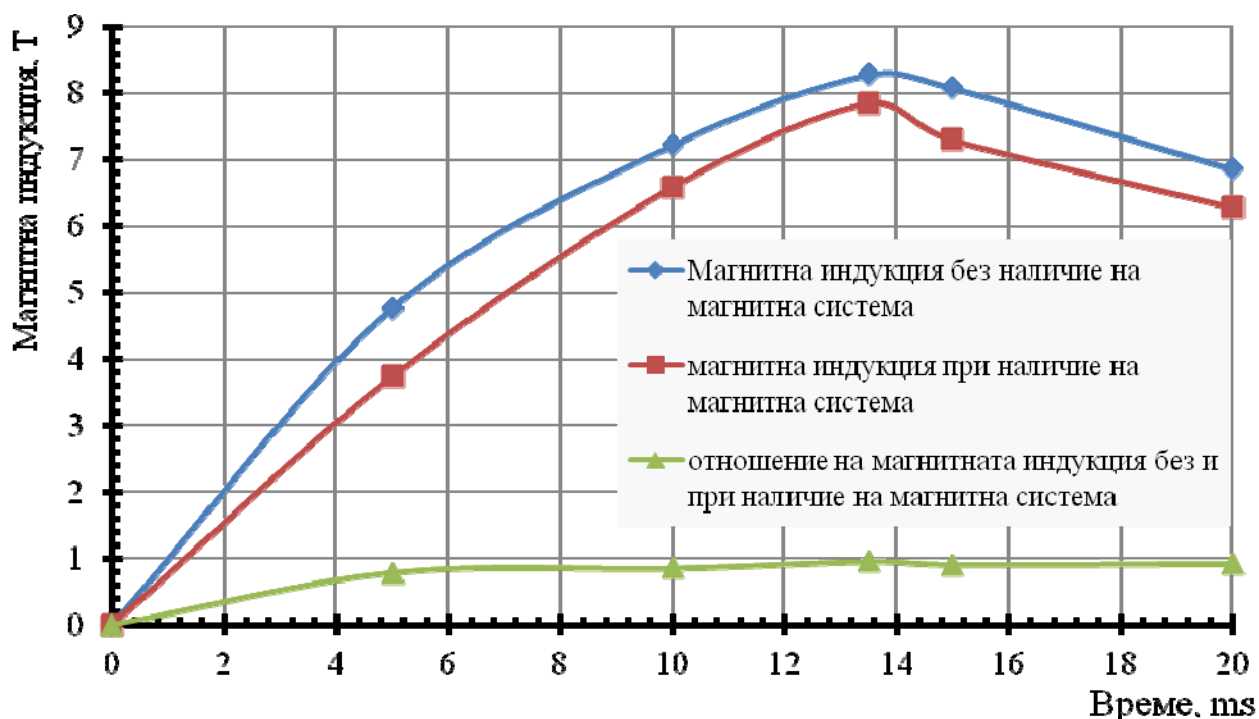
Време, ms	Магнитна индукция без наличие на магнитна система, Т	Магнитна индукция при наличие на магнитна система, Т	Отношение на магнитната индукция без и при магнитна система, Т
5	4,77	3,74	0,784
10	7,72	6,59	0,847
15	8,08	7,30	0,903
20	6,86	6,28	0,915
Max.	8,28	7,85	0,949

3. Изводи

Предложеното въз основа на теоретичен анализ описание на хода на развитие на вихровите токове в системи за намагнитване е потвърдено чрез компютърна симулация и чрез физически експеримент върху реална намагнитваща уредба.

Посочени са два етапа в действието на вихровите токове върху процесите на намагнитване – първи, при нарастване на тока, когато те силно противодействат и втори съществен, при който се извършва процесът на намагнитване, при който вихровите токове сменят посоката си и тяхното действие подпомага процесите на намагнитване.

При комплексната форма на намагнитващият токов импулс, влиянието на вихровите токове върху процеса на намагнитване силно е подтиснато, но това решение товари топлинно повече самият индуктор.



Фиг.6. Зависимости на магнитната индукция от времето за намагнитване за следните случаи: наличие на магнитна система, отсъствие на магнитна система и отношение на магнитната индукция без и при наличие на магнитна система.

Цялата запасена енергия в кондензаторната батерия, необходима за прокарване на мощния токов импулс на практика се разсейва в индуктора. Поради това особено внимание трябва да се обърне при проектиране на мерките за охлаждане на индуктора.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Joseph J., Stupak Jr. (2000), *Methods of Magnetizing Permanent Magnets*, EMCW Coil Winding Show, 01.10.2000, Cincinnati, Ohio
- [2] Интернет сайт: *M-Pulse Magnetisertechnologie*, [www. m-pulse.eu](http://www.m-pulse.eu).
- [3] Steingroever, E., G. Ross, *Magnet – physik*. Köln, 1997.
- [4] Меерович, Л.А., ред., *Магнитные генераторы импульсов*, Сов. радио, М. 1968.

Автори: инж. Костадин Миланов - асистент в катедра „Електрически апарати” (ЕА), Електротехнически Факултет, Технически Университет - София, E-mail address: k.milanow@tu-sofia.bg; д-р инж. Минчо Минчев - професор към катедра “Електрически апарати” (ЕА), E-mail address: mintchev@tu-sofia.bg; инж. Михаела Славкова - гл. асистент в катедра „Електрически апарати” (ЕА), E-mail address: michaela_ds@yahoo.com

Постъпила на 14.11.2012

Рецензент доц. д-р Диляна Н. Господинова