

МОДЕЛИРАНЕ НА ПЛАНАРЕН ТРАНСФОРМАТОР ЗА DC DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ

Христо Ибришимов¹

¹Технически университет-Габрово

MODELING OF PLANAR TRANSFORMER FOR DC DC CONVERTER

Hristo Ibrishimov¹

¹Technical University of Gabrovo

Abstract

This paper presents to the modeling of a planar high frequency pulse transformer for a DC / DC converter. Results for electromagnetic induction with and without an air gap are presented. To verify the results, simulation of the mode of operation of the bridge is converted using a specialized product LT Spice.

Keywords: planar transformer; modeling, bridge converter.

ВЪВЕДЕНИЕ

Основен компонент в силовите електронни устройства са магнитните елементи – трансформатори и дросели. В материалите, които се използват за направа на магнитните елементи, зависимостта на магнитната индукция от интензитета на магнитното поле е нелинейна и нееднозначна поради хистерезисните явления[1]. Това съществено усложнява проектирането им и не позволява разработването на универсални решения на магнитни елементи.

Високочестотният трансформатор е основен компонент на галванично разделените импулсни преобразуватели, определянето на еквивалентните му параметри е основна инженерна задача при проектирането им. Може да се каже, че ефективността на импулсния преобразувател до голяма степен се определя от правилния избор на броя на навивките, плътността на тока, материала на магнитопровода, въздушната междина, сечението на намотките и други конструктивни параметри на трансформатора. Поради нееднозначността и нелинейния характер на характеристиките и импулсния режим на работа, определянето на параме-

трите на трансформатора по аналитичен път е усложнено.

Планарните трансформатори се използват широко в импулсните преобразуватели. Честотният им обхват е от 20 kHz до няколко мегагерца и мощност от 10 W до 10 kW. Те съчетават в себе си няколко основни предимства:

- изпълнението на намотките в многослойна печатна платка е по-лесно, отколкото навиването им около ядрото с литцендрат;
- по-компактни размери;
- по-добро охлаждане;
- по-ниска себестойност.

Основните недостатъци на планарните трансформатори са:

- голям собствен капацитет на намотките, поради близкото разстояние между пистите;
- затруднена повторемост на параметрите, поради сложното сглобяване на трансформатора;
- намален коефициент на използване на прозореца на магнитопровода.

В последните години моделирането и оптимизацията на магнитните елементи с

помощта на числени методи, се наложила като основен подход при проектирането им.

Цел на настоящият доклад е съставяне на 3D модел на високочестотен планарен трансформатор за DC/DC преобразувател и определяне на параметрите му, необходими за изчисляване на преобразувателя.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Създаване на геометричен модел.

Планарният трансформатор обект на настоящото моделиране влиза в състава на високочестотен импулсен галванично разделен преобразувател с параметри: $U_{вхmax}=330$ V, $U_{изх}=48$ V, $I_{изх}=50$ A, $f=100$ kHz, КПД > 94 %, коефициент на пулсации на изходното напрежение < 1%. Поради относително високата изходна мощност е целесъобразно да се използва мостова схема и планарен трансформатор с магнитопровод с E образно сечение, вид E32/6/20.

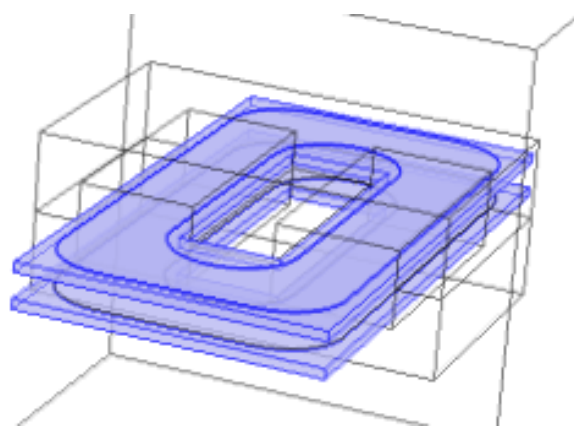
Таблица 1. Резултати от първоначално изчисление на мостовия преобразувател и планарния трансформатор

DC/DC мостов преобразувател	
Ефективна стойност на тока през транзисторите I, А	11
Намагнитваща индуктивност L, mH	1,7
Необходим коефициент на трансформация n	4
Максимален изходен ток $I_{изх}$, А	55
Коефициент на запълване, D	0,4
Планарен трансформатор	
Брой навивки на първичната намотка	12
Брой навивки на вторичната намотка	3
Работна индукция B, T	0,25

При така зададените параметри се използва методика за първоначално изчисление на мостов високочестотен преобразувател представена в [2]. Планарният трансформатор се изчислява посредством методиките представени в [3,4]. Основните резултати от изчисленията са представени в таблица 1.

За моделирането на планарният трансформатор се използва програмния продукт

Comsol Multiphysics. Съставеният модел е показан на фиг.1.



Фиг. 1. Геометричен модел за моделиране на планарен трансформатор.

При съставянето на модела са приети следните опростявания: не се моделира температурния режим на работа на трансформатора, не се моделират собствените капацитети между намотките, намотката е представена под формата на правоъгълник с предварително зададени брой навивки.

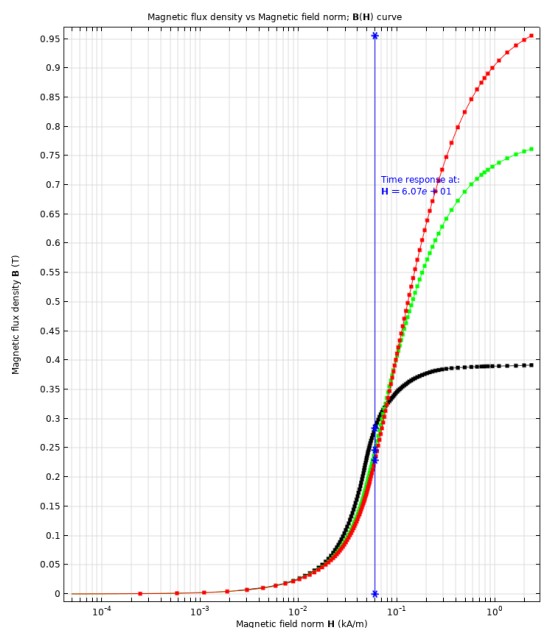
За моделиране на нелинейните магнитни свойства на материала на магнитопровода и отчитането на насищането, се използват ефективните стойности на магнитната индукция B, интензитета на магнитното поле H и магнитната индукция μ_r . Изчисляването на ефективната стойност на магнитната индукция при средна енергия се извършва посредством следните зависимости[4,5]:

$$B_{AE} = \frac{16}{TH} \int_0^T \left[\int_{H(0)}^{H(t)} B(H) dH \right] dt, \quad (1)$$

където H-интензитет на магнитното поле, T-период, t-време. Ефективната стойност на интензитета на магнитното поле се получава посредством[4,5]:

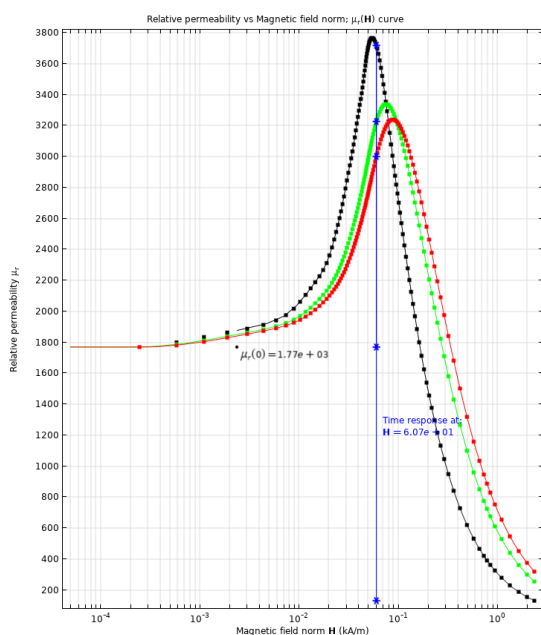
$$H = f_{eff} \left(|B| \right) \frac{B}{|B|}. \quad (2)$$

На фиг. 2 е представена ефективната B(H) крива на нормираната стойност на интензитета на магнитното поле.



Фиг. 2. $B(H)$ ефективна крива.

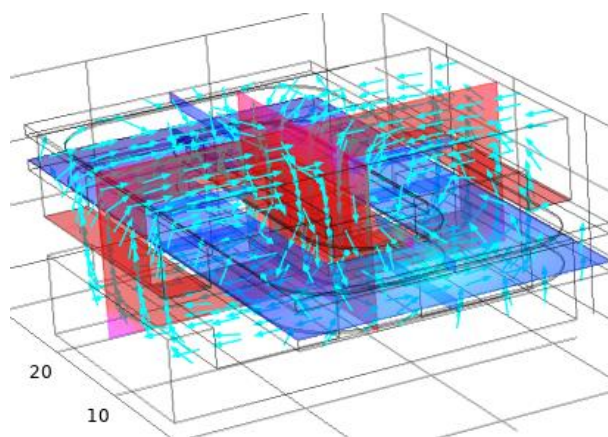
На фиг. 3 е представена зависимостта на магнитната проницаемост от нормираната стойност на интензитета на магнитното поле.



Фиг. 3. Зависимост на магнитната проницаемост от стойността на интензитета на магнитното поле.

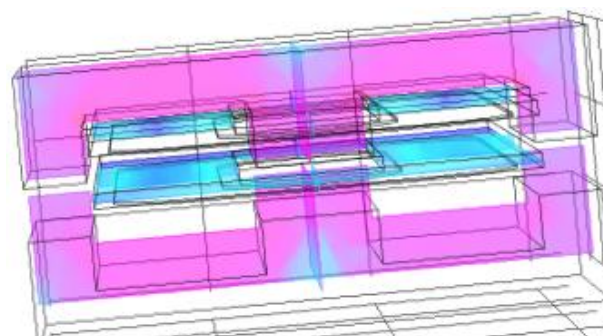
Резултати от моделирането.

На фиг. 4 са представени резултатите от направеното моделиране за картина и циркуляцията на магнитната индукция в обема на магнитопровода в логаритмичен мащаб.



Фиг. 4. Картина и циркуляция на магнитната индукция в магнитопровода.

От фигурата се вижда, че стойността на магнитната е голяма 6 Т, тази индукция е много по-голяма от заложената при проектирането на трансформатора и съществено ще увеличи магнитните загуби в магнитопровода. За решението на този проблем се моделира трансформатора с въздушна междина при различни стойности 0,1 mm до 2 mm. Картина на магнитната индукция при въздушна междина 1 mm е показана на фиг. 5.



Фиг. 5. Картина и циркуляция на магнитната индукция в магнитопровода при въздушна междина 1 mm.

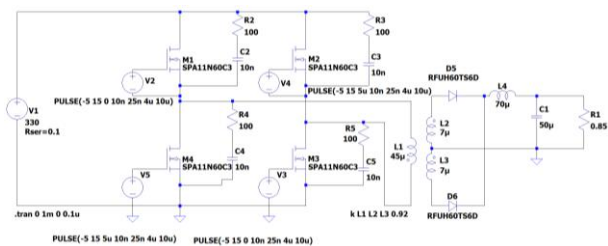
От фигурата се вижда, че магнитната индукция е сравнително хомогенна с изключение на крайните области в които има краеве ефекти.

Посредством запасената магнитната енергия се изчисляват индуктивностите на първичната и вторичната намотка. Стойностите са следните: $L1=44,6523 \mu\text{H}$, $L2=14,4364 \mu\text{H}$.

Верификация на модела.

За верификация на получените резултати на трансформатора се използва симулация

на електронната схема на мостовия преобразувател в програмния продукт LT Spice – фиг. 6.



Фиг. 6. Симулация на мостов DC/DC преобразувател.

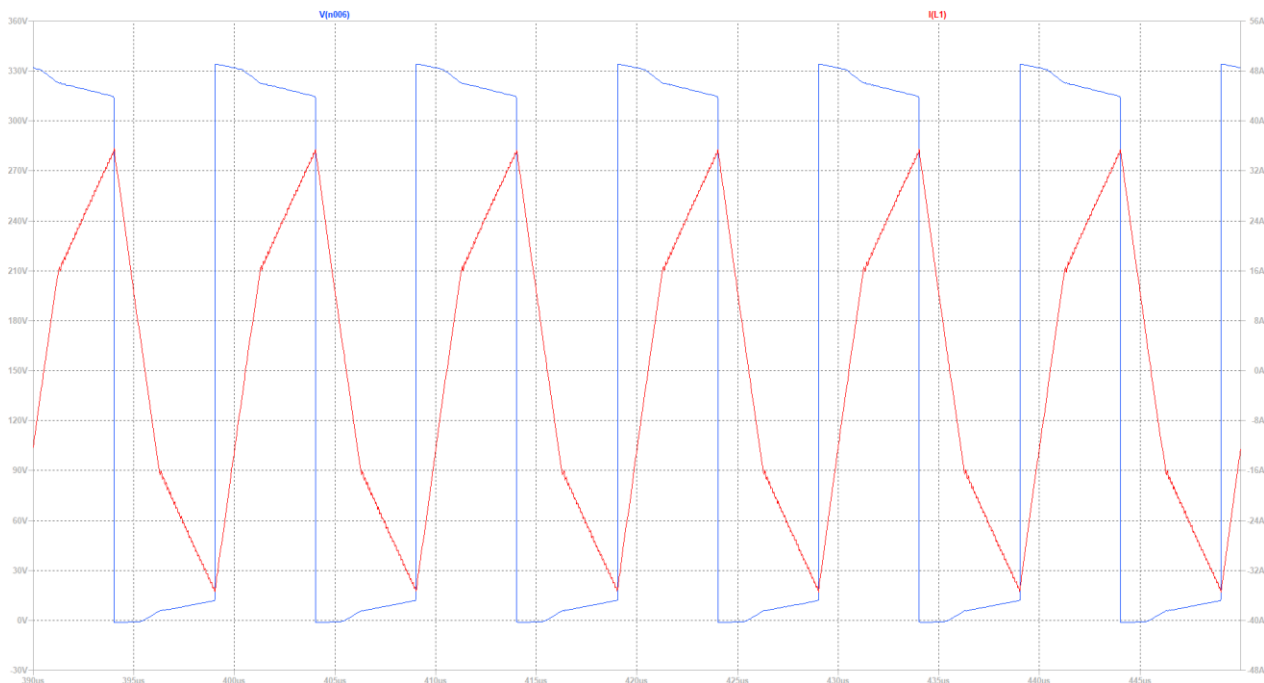
Времедиаграмите получени при симулацията са представени на фиг. 7 - фиг. 9.

От фигурата може да бъдат отчетени максималните стойности на тока през първичната намотка 35 А. Посредством числено интегриране се получава неговата ефективна стойност 12,79 А. Получената стойност е близка до първоначално получената ефективна стойност. На фиг. 8 е показано напрежението върху кондензатор от RC

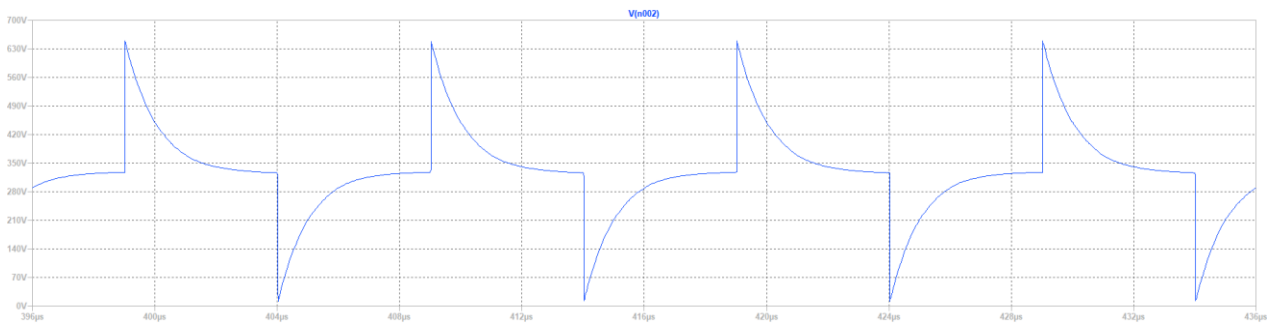
групата на транзистора.

На фиг. 9 са представени тока и напрежението на товара. От фигурата се вижда, че изходното напрежение и тока са с гладка форма. Максималните пулсации в изходното напрежение са 0,34 V, което отговаря на поставените в заданието. Максималната стойност на изходния ток не надвишава 57,9 А. Установената стойност на изходното напрежение след преходния процес е 48,2 V.

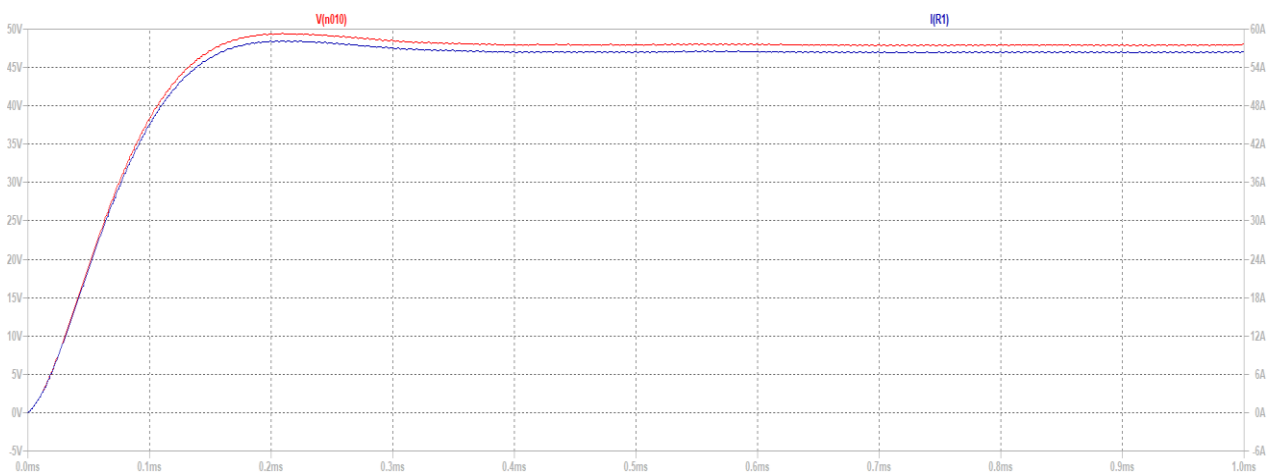
От представената симулация на работата импулсният мостов преобразувател с параметрите получени от моделирането се вижда, че с така получените параметри на планарния трансформатор, режима на работа на мостовия преобразувател е стабилен и не се наблюдават пропадания и смущения в напрежението и тока. Изходният ток и напрежение отговарят на поставените в заданието. На база на получените максимални стойности на тока и напрежението може да се направи подбор на елементите в схемата на мостовия преобразувател.



Фиг. 7. Напрежение и ток през първичната намотка на трансформатора.



Фиг. 8. Напрежението върху кондензатор от RC групата на транзистора



Фиг. 9. Напрежението върху кондензатор от RC групата на транзистора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата публикация е създаден модел на планарен трансформатор и е предложен практически подход за определянето на параметрите му посредством моделиране на електромагнитното поле чрез специализиран софтуер. Приложен е подход за моделиране на нелинейните магнитни свойства на магнитопровода с ефективните стойности на магнитната индукция. Получените резултати са верифицирани посредством симулиране на работата на мостов преобразувател с планарен трансформатор. Резултатите от симулирането показват, че с така моделираните параметри на трансформатора се постига желаните стойности на тока и напрежението на товара.

Като обект на бъдеща работа могат да се посочат два етапа: Първият е свързан с реализирането на мостовия преобразувател и планарния трансформатор и практически верифициране на резултатите. Вторият етап е надграждане на модела за отчитане на

стойностите на собствените капацитети между навивките и оптимизиране на планарния трансформатор.

REFERENCE

- [1] Goranov, P. Constructive elements in power electronics. Sofia, TU-Sofia, 2017.
- [2] Marian Kazimierczuk. Pulse-width Modulated DC–DC Power Converters. 2008 John Wiley & Sons, Ltd, 2008, ISBN: 978-0-470-77301-7.
- [3] Hurley W.G., Wölfle W.H. Transformers and Inductors for Power Electronics Theory, Design and Applications. Wiley, 2013, ISBN 10 1119950570.
- [3] Pressman A., K. Billings, T. Morey. Switching Power Supply Design. New York, McGraw-Hill, 2009, ISBN: 978-0-07-159432-5.
- [4] Gerhard Paoli, Oszcar Biro and Gerhard Buchgraber. Complex representation in nonlinear time harmonic eddy current problems. Magnetics, IEEE Transaction, vol. 34.5, pp 2625-2628, 1998.
- [5] Comsol Multiphysics User manual.