

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕРМИЧНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА ИМПУЛСНИ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЗА ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ ИЗПОЛЗВАНИ
В ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ АВТОМОБИЛИ В СИМУЛИНК**

**THERMAL MODELS OF DC DC CONVERTERS FOR ULTRALIGHT
ELECTRIC VEHICLES APPLICATION IN SIMULINK**

Evgeni Malev

*Technical University of Varna, Bulgaria
evgeni.malev@abv.bg*

Abstract

The purpose of this report is to analyze and create a thermal simulation model of a DC/DC converters. The article develops several models of bidirectional converters. Creating a mathematical model in Simulink will help us better analyze the thermal behavior of converters the influence of the various components and heatsink.

Keywords: thermal model, dc dc converters, MATLAB

ВЪВЕДЕНИЕ

Преобразувателите на постоянно напрежение, при работа в определен режим имат загуби от проводимост, превключване и загуби от отделяне на топлина. Тези загуби водят до намаляване на ефективността на електронното устройство. Неконтролирваното повишаване на температурата, може сериозно на повреди или да доведе до деформация или деструкция на електронния компонент. Входната мощност на един импулсен преобразувател за постоянно напрежение, не е винаги равна на изходната, поради разсейване на част от мощността под форма на топлина. Ограничаването на температура чрез охладители и материали с по-висока термална яркост е основен метод за намаляване на термалните загуби в един преобразувател.

$$diss = \frac{P_{used}}{Efficiency - P_{used}} \quad (1)$$

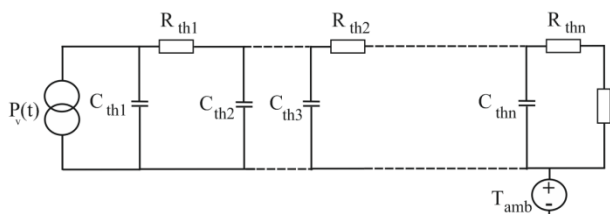
Термичен модел на един електронен преобразувател се създава с цел, да бъдат анализирани поведението на температурата и топлинните потоци в даден обект или схема. Отделяната топлина в един импулсен

преобразувател, зависи от източника на напрежение, товара, охладителната система и броят слоеве на платката [1]. За създаване на термичен модел на един преобразувател е нужно да се използват три основни механизма, описващи термалните процеси: 1) термична радиация – електромагнитно излъчване, генерирано от топлинното движение на частици в материята. 2) Теплопроводимост – свойство на материята да пренася топлина (в силовата електроника, най-често полупроводников, метал, диелектрик или друг материал). 3) Конвекция – пренос на топлината от една точка в друга в среда – флуид или въздух [2]. Теплопроводимостта може да се изрази, чрез уравнението:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{c \rho}{\lambda_{th}} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

където λ – термална проводимост [W/m °C], c – специфична топлина [J/kg °C], ρ – плътност на материала [kg/m³]

Еквивалентната схема на термичен модел, може за се създаде чрез R - C клонове, източници на топлопроводимост и температура. От Фигура 2 виждаме съпоставка между основните компоненти на модел на електрическа схема и термичен модел, изведени от Закона на Ом [3] .



Фиг. 1. Блокова схема еквивалентна схема на термалния процес

Еквивалентната схема на дава представа какви процеси на топлообмен се осъществяват в изследвания обект. Теплообменът е специфичен при в зависимост от материалите, от които са изградени компонентите, техните размери и местоположение, конструкция и вид на охладителната система.

Електрически модел		Термичен модел	
Ел.ток	$I[A]$	Терм.мощност	$P_D[W]$
Напрежени - e	$U[V]$	Температура	$T_x[°C]$
Съпротивление	$R[\Omega]$	Термично съпротивление	$R_{\theta xy}[°C/W]$
Капацитет	$C[F]$	Термичен капацитет	$C_{\theta}[J/°C]$

Фиг. 2. Съпоставка на величините електрически и термичен модел на електронна схема

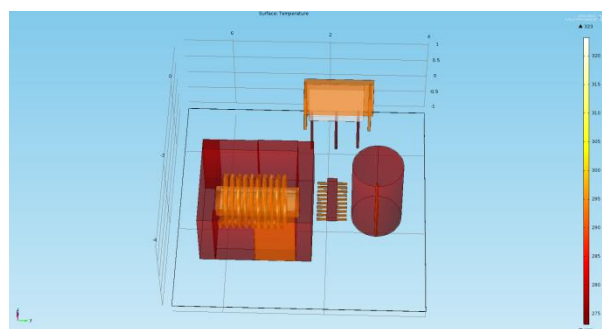
Фигура 2 ни представя основни термични характеристики на материали използвани в електрониката и техните основни параметри: c_p - Топлинен капацитет, Термично разширение α_t , Закон на Видеман Франц - L, коефициент на топлообменност - k [4].

	c_p	α_t	L
Алуминий	900	23.6	2.20
Мед	386	17	2.25
PTFE	1050	150	
Полиетилен	1850	150	
Желязо	448	11.8	2.71
Силиций	556	2.6	
Германий	328	1.2	

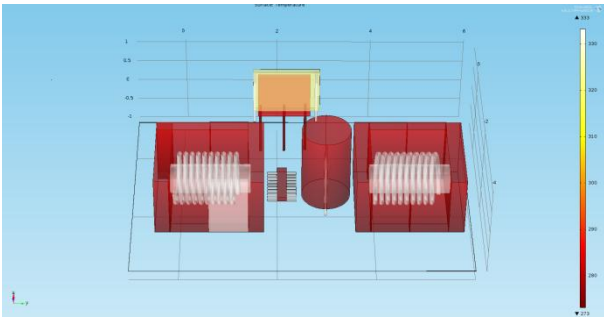
Фиг. 3. Таблица изразяваща основните термични характеристики, на материали използвани в електрониката

МЕТОДИ ЗА АНАЛИЗ НА ТЕРМИЧЕН МОДЕЛ

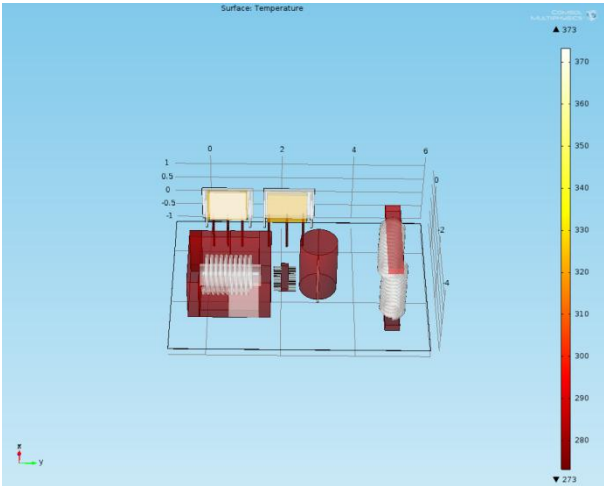
В софтуер за моделиране Комсол са направени три модела на импулсни преобразуватели за постоянно напрежение и техните основни компоненти, които отделят най-много топлина. Основни параметри на материалите, използвани в моделите: полупроводников елемент – германий с топлинен капацитет – $C_p - 310 [J/(kg \cdot K)]$ и термална проводимост – $k 60 [W/(m \cdot K)]$ (използван за полупроводниковите диоди); алуминий термична проводимост – $k 164 [W/(m \cdot K)]$ (използван за като основен материал за охладител); полиетилен термична проводимост – $k 0,20 [W/(m \cdot K)]$ (използван за корпус на кондензатор от изходен филтър) ; феритен материал с топлинен капацитет – $C_p - 800 [J/(kg \cdot K)]$ и термична проводимост – $k 2 [W/(m \cdot K)]$ (използван за полупроводниковите диоди);



Фиг. 4. Термичен модел на прав-повишаващ импулсен преобразувател за постоянно напрежение в COMSOL



Фиг. 5. Термичен модел на СЕПИК преобразувател за постоянно напрежение в COMSOL



Фиг. 6. Термичен модел на полумостов трансформаторен преобразувател за постоянно напрежение в COMSOL

За да бъдат изчислени термичните загуби в един импулсен преобразувател за постоянно напрежение е нужно да се изчислят термичните загуби във всеки един активен компонент [5].

Основно уравнение на термичния модел :

$$R_{th} = \frac{DT}{P_{diss}} \quad (3)$$

където R_{th} – термично съпротивление, DT – нарастване на температурата, $diss$ – разсейваната мощност

Повишаване на температурата във високо-честотен трансформатор :

$$\Delta T = \left(\frac{P_{\Sigma}}{A_t} \right)^{0.833} \quad (4)$$

и топлообменът се изразява чрез :

$$conv = \beta A (T_{obj} - T_{amb}) \quad (5)$$

където β е коефициент на топлообмен, A – размери на повърхнината на магнитопровода, T_{amb} – температура при нормални работни условия и T_{obj} – температура в настоящ момент на обекта.

Загубите от мощност в силов ключ :

$$Q = P_{ON-H} + P_{ON-L} + P_{SW} + P_G + P_D + P_{IC} \quad (6)$$

където P_{ON-H} и P_{ON-L} – загуби от проводимост, P_{SW} – загуби от комутация, P_D – загуби от мъртво време по време на превключване, P_G – загуби от зареждане на управляващия електрод на ключа. Загуби в индуктор (Уравнение на Щайнметц):

$$P_v = C_v f^x B^y \quad (7)$$

C_v – коефициент на загуба във феритния материал, f – загуби породени от влиянието на честота и сатурация, B – магнитно поле. Загубите от разсейвана мощност при различните преобразуватели зависи фактори свързани с броя на компонентите, техния материал, разположение и начин на охлаждане [6].

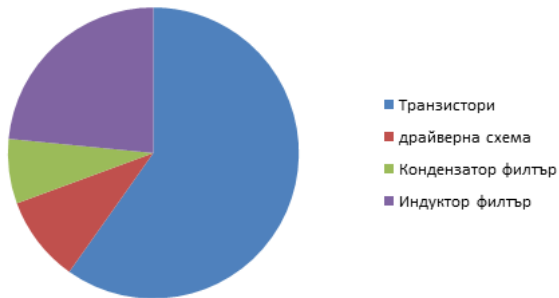
Предварително са изчислени загубите от разсейвана мощност в елементите на всеки един преобразувател. Освен това, на база на техните физически стойности, са направени математическите модели в Комсол и Симулинк [7]. Направено е процентно съотношение на загубите във всеки един преобразувател:

Прав-повишаващ преобразувател



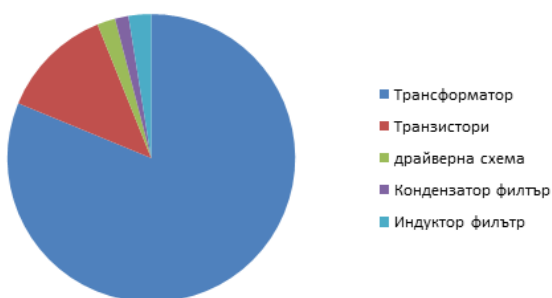
Фиг. 7. Процентно отношение на загубите в отделните спрямо общите загуби от разсейвана мощност на прав-повишаващ преобразувател

Сепик преобразувател



Фиг. 8. Процентно отношение на загубите в отделните спрямо общите загуби от разсейвана мощност на Сепик преобразувател

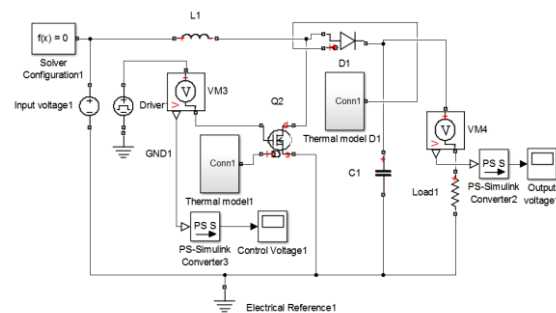
Полумостов преобразувател



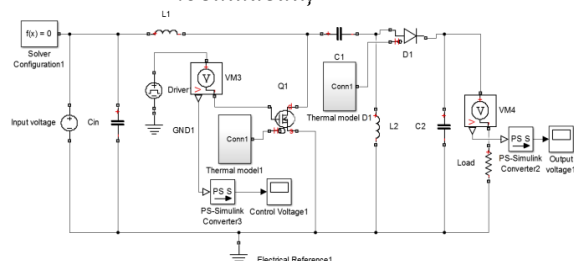
Фиг. 9. Процентно отношение на загубите в отделните спрямо общите загуби от разсейвана мощност на Полумостов преобразувател

ТЕРМИЧЕН МОДЕЛ В СИМУЛИНК НА ПРАВ-ПОВИШАВАЩ, СЕПИК И ПОЛУМОСТОВ ПРЕОБРАЗУВАТЕЛ

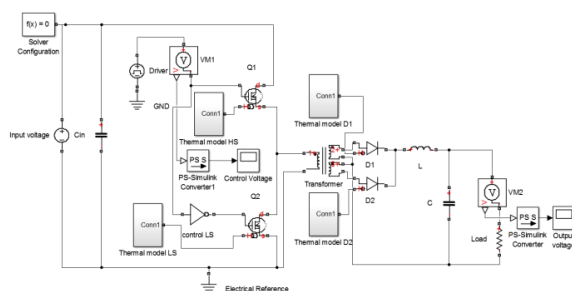
В софтуерната среда на Матлаб – Симулинк, чрез компоненти от библиотеката Simscape е създаден математически модел на основните компоненти на изследваните преобразуватели и връзките между тях. Целта на тези модели, е да бъде анализирано графично промяната на температурата и топлинния поток на силовите полупроводникови елементи (по конкретно промяната в областта на PN прехода, охлаждащата система и корпуса).



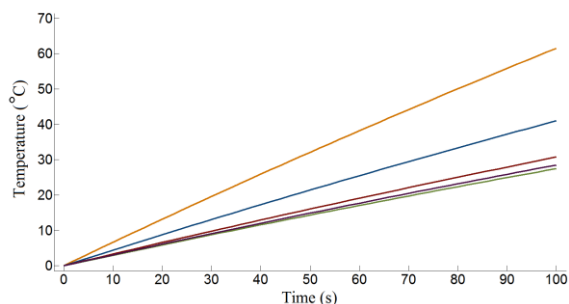
Фиг. 10. Модел в Симулинк на схема на прав-повишаващ ИППН



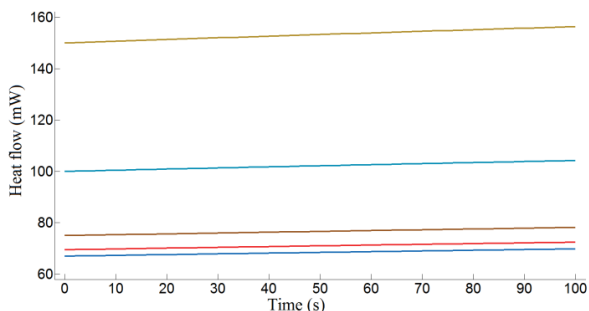
Фиг. 11. Модел в Симулинк на схема на прав-повишаващ ИППН



Фиг. 12. Модел в Симулинк на схема на полумостов ИППН



Фиг. 13. Промяна на температурата в основните полупроводникови елементи на трите преобразувателя жълт (ключове полумостов ИППН), син (ключове прав-повишаващ, Сепик ИППН), червен(диод полумостов), лилав(диод Сепик), зелен(диод прав-повишаващ)



Фиг. 14. Промяна на топлинния поток в основните полупроводникови елементи на трите преобразувателя жълт (ключове полумостов ИППН), светло син (ключове прав-повишаващ, Сепик ИППН), оранжев (диоди полумостов), червен (диод Сепик), тъмносин (диод прав-повишаващ)

БЛАГОДАРНОСТИ

Желая да изкажа своята благодарност за реализирането ми на практическа подготовка по програма Еразъм плюс в Гентски университет. Благодарности на проф. Алекс Ван ден Боске за множеството практически съвети и съвети в областта на науката.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представения доклад е изследвано термалното поведение на три импулсни преобразувателя за постоянно напрежение. Създадени са математически модели на преобразувателите в Комсол и Матлаб. От триизмерните модели, можем да заключим, че най-трудно разсейване на температурата имаме в силовите ключове. Трите топологии са различни по структура с различен брой компоненти. При високи честоти сатурацията, развиваща се в първичните и вторичните намотки на трансформатора, значително повишава температурата му и увеличава загубите от разсейвана мощ-

ност. Спрямо изчислените и симулационните резултати, е направена съпоставка от процентните загуби във всеки един преобразувател. Наличието на високочестотен трансформатор в един преобразувател, води до значително увеличаване на загуби на мощност, ако не бъдат взети мерки разсейване на температурата. Графиките от Фиг. 13 и Фиг. 14 виждаме, че най-рязко покачване на температурата в начален момент на работа на преобразувателя имаме от силовите ключове. От математическия модел, можем да получим графично изменение на топлинния поток при високи честоти през полупроводниковия материал и охлаждащия елемент.

REFERENCE

- [1] März M., Nance P. "Thermal Modeling of Power-electronic Systems" // Infineon Technologies AG, Munich
- [2] www.digikey.com/pdf/dcdc-converter-thermal-management.pdf
- [3] Vellvehi M., Jorda` X., Godignon P., Ferrer C., Milla` J. "In Coupled electro-thermal simulation of a DC/DC converter" // Microelectronics Reliability vol.47, 2007, p. 2114–2121
- [4] <https://www.powerelectronicsnews.com/general-thermal-analysis-of-integrated-circuits-for-power-applications/>
- [5] Waluyo W., Saodah S., Rohana "Investigation of Transformer Losses and Temperature Rise" // Electrotehnică, Electronică, Automatică (EEA), 66, April.2018, nr. 2
- [6] <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/1/1832.html>
- [7] Baier J. "Accurate Estimation of Losses of Power Inductor in Power Electronics Applications" // Würth Elektronik eiSos, Waldenburg, Germany, APEC 2016, Long Beach, CA