

JERZY ZGRAJA**Politechnika Łódzka, Instytut Informatyki Stosowanej**

WYKORZYSTANIE ANALOGII ELEKTRYCZNO-CIEPLNYCH W KOMERCYJNYCH PROGRAMACH DO ANALIZY ZJAWISK CIEPLNYCH

Obliczenia cieplne maszyn i urządzeń elektrycznych mogą być realizowane zarówno w sposób analityczny, jak i numeryczny. W praktyce obliczeniowej często wykorzystywana jest również metoda obwodowa bazująca na analogiach elektryczno-cieplnych. Metoda ta została również zaimplementowana w rozbudowanych programach komercyjnych, np. MotorCAD[®] do obliczeń cieplnych 3D maszyn elektrycznych, czy Portunus[®] do analiz typu multiphysics.

WPROWADZENIE

Między zjawiskami elektrycznymi i cieplnymi można znaleźć szereg analogii. Analogie te można zauważyć również w zależnościach matematycznych opisujących oba te zjawiska.

Równanie przewodnictwa ciepła dla stacjonarnego układu liniowego:

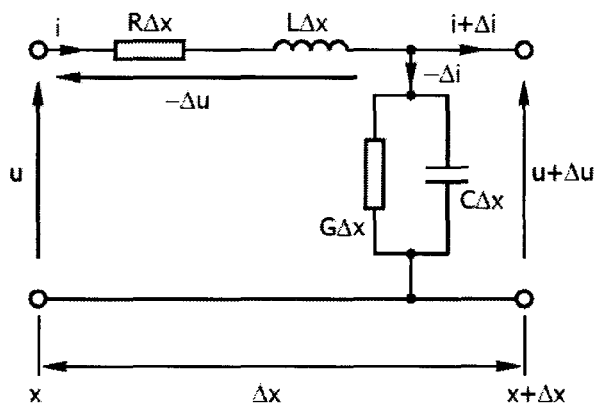
$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{p_v}{c\rho} + a \nabla^2 \mathcal{G} \quad (1)$$

gdzie: \mathcal{G} – temperatura, $a = \lambda/(c \cdot \rho)$ – dyfuzyjność cieplna, λ – przewodność cieplna właściwa, ρ – gęstość masy, t – czas

jest podobne w swojej postaci do równania (telegrafistów) linii długiej przedstawionej schematem zastępczym na rys.1:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2}{\partial x^2} V &= LC \frac{\partial^2}{\partial t^2} V + (RC + GL) \frac{\partial}{\partial t} V + GRV \\ \frac{\partial^2}{\partial x^2} I &= LC \frac{\partial^2}{\partial t^2} I + (RC + GL) \frac{\partial}{\partial t} I + GRI \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie: V – potencjał elektryczny, I – natężenie prądu.



Rys. 1. Schemat zastępczy fragmentu linii długiej

Szczególnie dobrze jest to widoczne, jeśli porówna się równania dla opisu 1D w układzie prostokątnym, zestawiając równanie przewodnictwa dla układu bezźródłowego:

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{\lambda}{c\rho} \frac{\partial^2 \mathcal{G}}{\partial x^2} \quad (3)$$

z równaniem bezindukcyjnej linii długiej:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\gamma}{c_e \rho} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \quad (4)$$

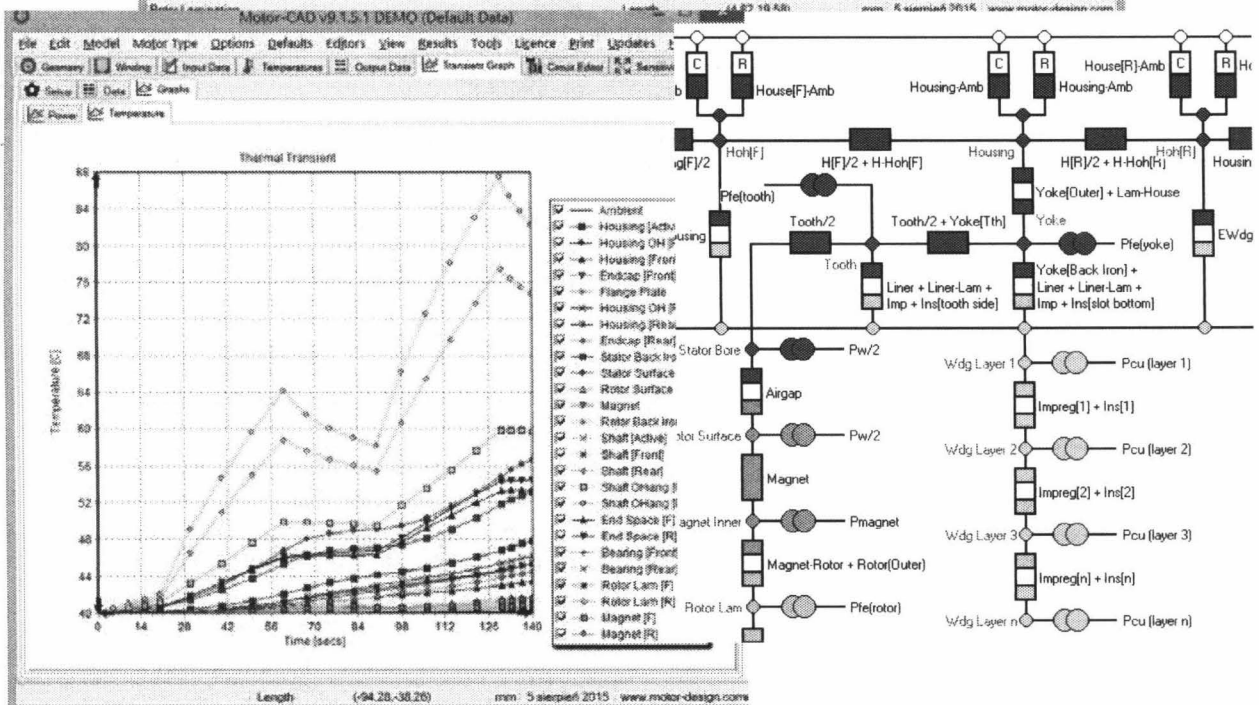
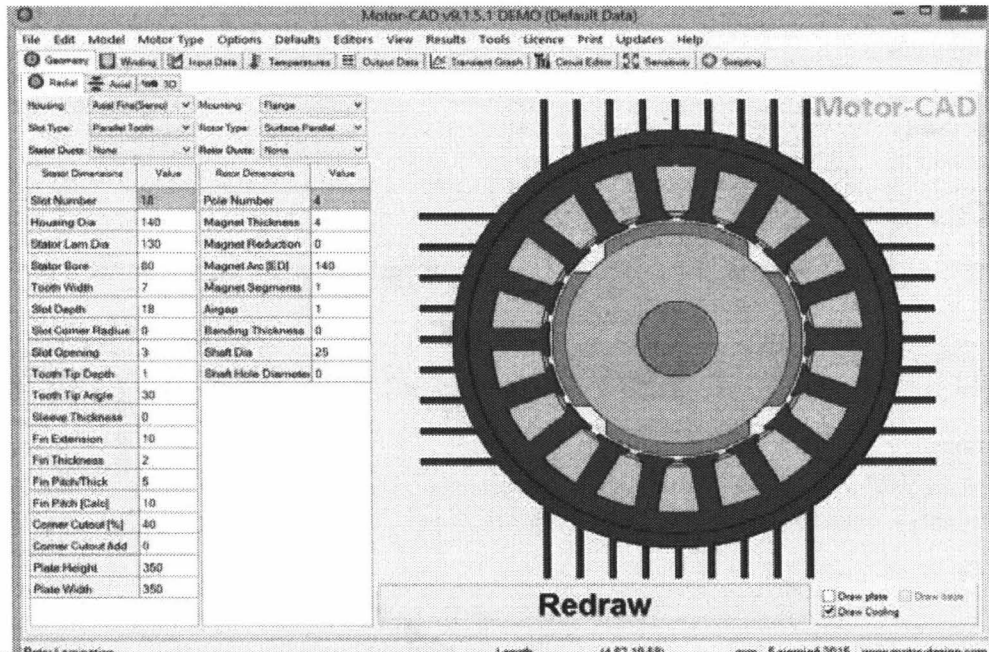
gdzie: $c_e = C/M$ – pojemność właściwa, C – pojemność elektryczna, M – masa.

Pozwala to na sformułowanie następujących analogii elektryczno-cieplnych:

Wielkość cieplna	Wielkość elektryczna
opór cieplny $W = \frac{\Delta \mathcal{G}}{P} = \frac{\Delta x}{\lambda \Delta F}$	opór elektryczny $R = \frac{\Delta V}{I} = \frac{\Delta x}{\gamma \Delta F}$
pojemność cieplna $C_c = c \cdot \rho \cdot V = c \cdot M$	pojemność el. $C = c_e \cdot M$
strumień cieplny P	natężenie prądu I
temperatura \mathcal{G}	potencjał V

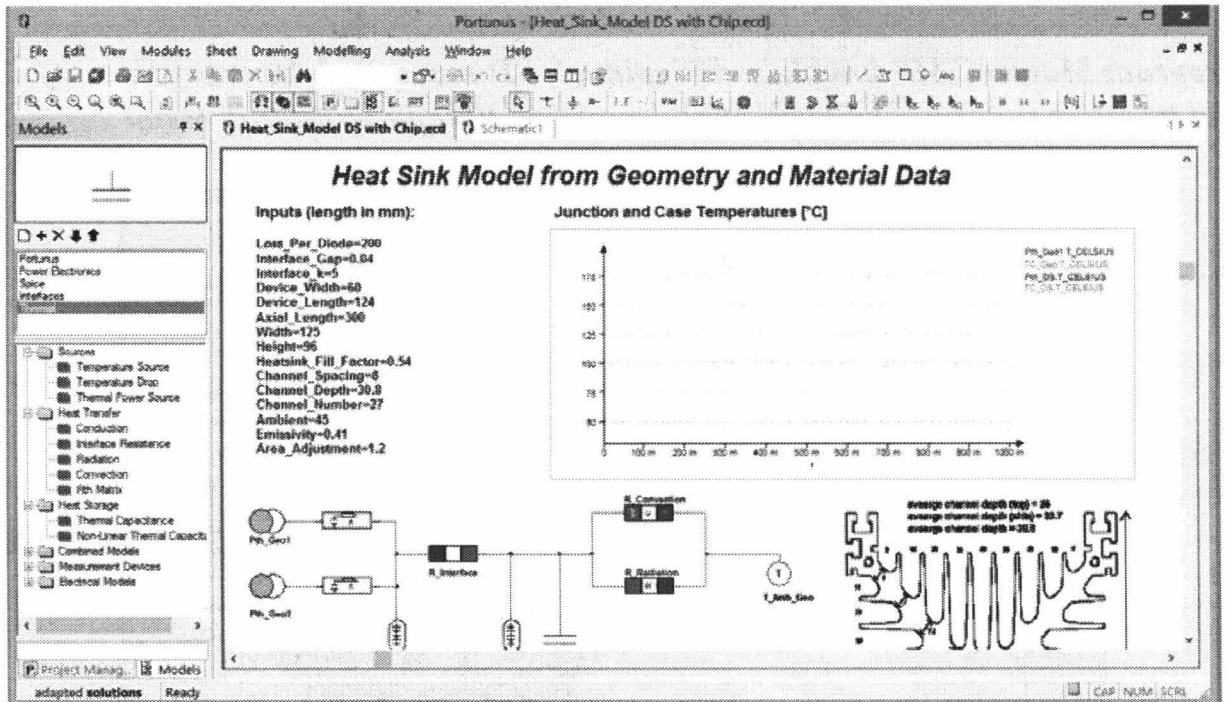
1. PRZYKŁADY OPROGRAMOWANIA KOMERCYJNEGO WYKORZYSTUJĄCE ANALOGIE ELEKTRYCZNO-CIEPLNE

Program Motor-CAD do obliczeń cieplnych 3D maszyn elektrycznych elektromagnetyczno-ciepłych cylindrycznego układu wzbudnik-wsad



POKAZ

Program Portunus do obliczeń układów typu multiphysics



LITERATURA

- [1] Staton D.: Motor-CAD v8.1 Manual, 2014.
- [2] Adapted Solutions, Portunus v.6.1 User's Guide, 2015.