

УДК 621.396.12

DOI: 10.31891/2219-9365-2020-65-1-21

ЛУЖАНСЬКИЙ В. І., КАШТАЛЬЯН А. С., КЛЮЦЬ Ю. П.
Хмельницький національний університет

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕПЛОФІЗИЧНОГО КОНСТРУЮВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОНОГО МОДУЛЯ КАСЕТНОГО ТИПУ З МІКРОСХЕМАМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ

Наукова стаття присвячена комп'ютерним технологіям автоматизації розрахунків теплофізичного конструювання радіоелектронних модулів касетного типу з мікросхемами в умовах природнього повітряного охолодження для забезпечення заданого теплового режиму проведені розрахунки коефіцієнтів випромінювання, теплопередачі, теплової провідності допустимого значення значення температури перегріву корпусу блоку радіоелектронного засобу (РЕС).

Автоматизація створення нових радіоелектронних засобів залежить від рівня застосування комп'ютерних технологій на всіх етапах їх проектування, які відрізняються умовами експлуатації та складністю зовнішніх теплофізичних, механічних та інших впливів. Ключові слова: комп'ютерні технології, автоматизація, радіоелектронні засоби, радіоелектронний модуль касетного типу, заданий тепловий режим РЕС, природнє повітряне охолодження, коефіцієнти теплопередачі та теплової провідності, коефіцієнти випромінювання.

LUZHANSKY V., KASHTALYAN A., KLYOTS Y.
Khmelnitsky National University

COMPUTER TECHNOLOGIES OF AUTOMATION OF THERMOPHYSICAL DESIGN OF RADIOELECTRONIC MODULE OF CASSETTE TYPE WITH MICROCIRCUITS FOR PROVIDING OF THE SET THERMAL MODE

Automation of the creation of new electronic devices depends on the level of application of computer technology at all stages of their design, which differ in operating conditions and the complexity of external thermophysical, mechanical and other influences. In units of equipment built on the cassette principle, the specific heat output is very high, forcing developers to use forced air cooling.

The scientific article is devoted to computer technologies of automation for calculations of thermophysical design of radio electronic modules of cassette type with chips in the conditions of natural air cooling. The use of radio networks with moving objects makes it possible to repeatedly use the same dedicated frequency band to increase the speed of digital information transmission and economical use of the frequency range. This method has a significant disadvantage, which is the presence of mutual internal system interference between base and mobile stations that use the same frequency range (RES).

Automation of creation of new radio electronic facilities depends on the level of application of computer technologies on all stages of their planning, that differ in external environments and complication of external thermophysical, mechanical and other influences.

Keywords: computer technologies, automation, radio electronic means, radio electronic module of cassette type, set thermal regime of RES, natural air cooling, coefficients of heat transfer and thermal conductivity, radiation coefficients.

Вступ. Автоматизація створення нових радіоелектронних засобів залежить від рівня застосування комп'ютерних технологій на всіх етапах їх проектування, які відрізняються умовами експлуатації та складністю зовнішніх теплофізичних, механічних та інших впливів.

У блоках апаратури, побудованих по касетному принципу, питома потужність тепловиділення виявляється вельми великою, що змушує розробників використовувати повітряне примусове охолодження.

Аналіз стану досліджень та публікацій. Аналіз літературних джерел показує недостатню глибину проведених досліджень у даному напрямку.

Формування мети. Комп'ютерні технології автоматизації теплофізичного конструювання радіоелектронного модуля касетного типу з мікросхемами в умовах природнього повітряного охолодження для забезпечення заданого теплового режиму.

Результати дослідження.

Проведемо розрахунок для одиночного блоку, побудованого по касетному принципу. Для проектування візьмемо розміри блоку $L_1 = 0,272\text{м}$; $L_2 = 0,193\text{м}$; $L_3 = 0,182\text{м}$. Розміри нагрітої зони $I_1 = 0,25\text{м}$; $I_2 = 0,18\text{м}$; $I_3 = 0,17\text{м}$.

Температура навколишнього середовища $t_c = 19^\circ\text{C}$; потужність що розсіюється блоком у вигляді теплоти $P_0 = 11\text{Вт}$. Величини повітряних зазорів між нагрітою зоною і нижньою поверхнею корпусу $h_H = 0,016\text{м}$, нагрітою зоною і верхньою поверхнею корпусу $h_B = 0,016\text{м}$, нагрітою зоною і бічною поверхнею корпусу $h_G = 0,021\text{м}$.

Знаходимо площі поверхонь нагрітої зони:

$$S_B = S_H = I_1 I_2; S_{\bar{o}} = 2I_3(I_1 + I_2);$$
$$S_B = S_H = 0,045 \text{ м}^2; S_{\bar{o}} = 0,1462 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо приведені ступеня чорноти нагрітої зони в різних областях поверхонь нагрітої зони:

$$\varepsilon_{\Pi} = \left(\frac{1}{\varepsilon_3} + \left(\frac{1}{\varepsilon_K} - 1 \right) \frac{S_3}{S_K} \right)^{-1},$$

де $\varepsilon_{\Pi H}$, $\varepsilon_{\Pi B}$, $\varepsilon_{\Pi \bar{o}}$ – відповідно ε поверхонь нагрітої зони: нижньої, верхньої і бічної; S_3, S_K – площі нагрітої зони і корпусу.

$$\varepsilon_{\Pi H} = \varepsilon_{\Pi B} = 0,137; \varepsilon_{\Pi \bar{o}} = 0,108.$$

Розраховуємо питому поверхневу потужність корпусу блоку q_K :

$$q_K = P_0 / S_K = 11 / 0,2362 = 46,57 \text{ Вт/м}^2.$$

Відповідно до знайденої q_K задаємося перегрівом корпусу блоку $\Delta t_K = 5^\circ \text{C}$.

Коефіцієнт випромінювання визначається за формулою:

$$\alpha_L = \varepsilon_{\Pi} \varphi_{12} f(t_1, t_2);$$

де $f(t_1, t_2)$ – значення функції температури; φ_{12} – коефіцієнт взаємного опромінення (для одиночного блоку $\varphi_{12} = 1$) відповідно виводимо формули:

$$\alpha_{\Pi H} = 0,137 \cdot \frac{\left(\frac{24 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{19 + 273}{100} \right)^4}{24 - 19} = 0,139 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}.$$

$$\alpha_{\Pi \bar{o}} = 0,108 \cdot \frac{\left(\frac{24 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{19 + 273}{100} \right)^4}{24 - 19} = 0,11 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}.$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі α_K для всіх зовнішніх поверхонь кожуха блоку:

$$\alpha_K = A_1 \left(\frac{t_1 - t_2}{L} \right)^{1/4} N,$$

де t_1 – температура кожуха, К; t_2 – температура середовища, К; A_1 – коефіцієнт, що залежить від температури, введений для спрощення розрахунків; N – коефіцієнт орієнтації нагрітої поверхні: для вертикальної стінки $N = 1$; для нагрітої поверхні, зверненої вниз; $N = 0,7$ і вгору $N = 1,3$; L – визначальний розмір, м: для вертикально орієнтованої поверхні – висота, для горизонтально орієнтованої поверхні – менша сторона.

Коефіцієнти тепловіддачі нижньої і бічних поверхонь кожуха блоку:

$$\alpha_{KH} = 1,38 \cdot \left(\frac{24 - 19}{0,016} \right)^{1/4} = 9,94 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}.$$

$$\alpha_{K\bar{o}} = 1,38 \cdot \left(\frac{24 - 19}{0,021} \right)^{1/4} = 9,28 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}.$$

Розраховуємо повні коефіцієнти тепловіддачі з поверхні кожуха блоку:

$$\alpha_B = \alpha_{KB} + \alpha_L, \alpha_H = \alpha_{KH} + \alpha_L, \alpha_{\bar{o}} = \alpha_{K\bar{o}} + \alpha_L;$$

$$\alpha_B = \alpha_H = 9,94 + 0,139 = 10,08;$$

$$\alpha_{\bar{o}} = 9,28 + 0,11 = 9,39.$$

Визначаємо теплову провідність кожуха блоку в навколишнє середовище:

$$\sigma_K = \alpha_B S_B + \alpha_H S_H + \alpha_{\bar{o}} S_{\bar{o}};$$

$$\begin{aligned}S_B &= 0,045 \text{ м}^2; \\S_{\bar{\sigma}} &= 0,1462 \text{ м}^2; \\S_H &= 0,045 \text{ м}^2; \\\sigma_K &= 2,28 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}),\end{aligned}$$

де σ_K – теплова провідність кожуха блоку в навколишньому середовищі.

Визначаємо температуру нагрітої зони в першому наближенні:

$$t_c^I = t_c + (t_K - t_c) \cdot \left(1 + \frac{\sigma_K}{\sigma_3}\right),$$

де t_K і t_c – температури корпусу і середовища відповідно.

$$t_c = 19 + (24 - 19) \cdot \left(1 + \frac{2,28}{1,109}\right) = 34,279^\circ \text{C}.$$

Визначаємо розрахункову потужність нагрітої зони:

$$\begin{aligned}P &= \sigma_K (t_K - t_c), \\P &= 2,28(24 - 19) = 11,4 \text{ Вт}.\end{aligned}$$

Розрахуємо конвективно-кондуктивні коефіцієнти верхньої і бічної повітряних прошарок між нагрітою зоною і внутрішньою поверхнею кожуха блоку:

$$k_i = Nf\left(\frac{h_i}{I}\right) A_2^4 \sqrt{\frac{t_3^I - t_k}{h_i}},$$

де h_i – товщина повітряного прошарку між нагрітою зоною і кожухом блоку у відповідній області, м; A_2 – коефіцієнт, що залежить від температури, введений для спрощення розрахунків; $I = \sqrt{I_1 I_2}$ – для верхньої області; $I = \sqrt{I_2 I_3}$ і $I = \sqrt{I_3 I_1}$ – для бічних областей нагрітої зони і кожуха блоку:

$$k_H = 0,7 \cdot 0,21 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{\frac{34,279 - 24}{0,016}} = 1,184.$$

$$k_B = 1,3 \cdot 0,17 \cdot 1,6 \cdot \sqrt[4]{\frac{34,279 - 24}{0,016}} = 1,78.$$

$$k_{\bar{\sigma}} = 1 \cdot 0,2 \cdot 1,7 \cdot \sqrt[4]{\frac{34,279 - 24}{0,021}} = 1,599.$$

Визначимо коефіцієнти випромінювання для різних поверхонь корпусу:

$$\alpha_{\text{ЛН}2} = 0,137 \cdot 0,139 \cdot \frac{\left[\left(\frac{34,279 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{19 + 273}{100}\right)^4\right]}{34,279 - 19} = 0,02,$$

де $\alpha_{\text{ЛН}2}$ – коефіцієнт випромінювання в другому наближенні:

$$\alpha_{\text{ЛБ}2} = 0,108 \cdot 0,11 \cdot \frac{\left[\left(\frac{34,279 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{19 + 273}{100}\right)^4\right]}{34,279 - 19} = 0,012.$$

Визначаємо коефіцієнти теплопередачі і теплову провідність між нагрітою зоною і корпусом:

$$\alpha_{B2} = \alpha_{H2} = \alpha_{KH} + \alpha_{\text{ЛН}} = 9,94 + 0,02 = 9,96.$$

$$\alpha_{\delta 2} = \alpha_{K\delta} + \alpha_{Л\delta} = 9,28 + 0,012 = 9,292.$$

$$\sigma_{K2} = 9,96 \cdot 0,045 + 9,96 \cdot 0,045 + 9,292 \cdot 0,1462 = 1,057 \text{ Вт/К}^2.$$

Визначаємо температуру нагрітої зони в другому наближенні:

$$t_3'' = t_c + P \left(\frac{1}{\sigma_3} + \frac{1}{\sigma_K} \right),$$

де P – потужність, отримана при розрахунку в першому наближенні, Вт; σ_3 – теплова провідність від нагрітої зони до кожуха блоку, розрахована в другому наближенні, Вт/К^2 ; σ_K – теплова провідність від кожуха

блоку в навколишнє середовище, отримана при розрахунку в першому наближенні, Вт/К^2 .

$$t_2 = 19 + 11,4 \cdot \left(\frac{1}{1,109} + \frac{1}{2,28} \right) = 34,276^\circ\text{C}.$$

Порівняємо температури нагрітої зони, які отримані при розрахунках в першому і в другому наближеннях. Якщо різниця буде становити більше 10%, то треба провести розрахунок температури нагрітої зони в третьому наближенні:

$$\delta = \frac{t_1 - t_2}{t_1} = \frac{34,779 - 34,276}{34,779} = 0,014.$$

$\delta = 1,4$ %, отже, немає необхідності проводити розрахунок температури нагрітої зони в третьому наближенні.

Висновок. Таким чином, корпус спроектованого блоку радіоелектронного засобу в цілому задовольняє допустимим значенням перегріву з урахуванням кліматичного виконання і для охолодження проектного виробу система заснована на природному повітряному охолодженні є раціональною, не потребує примусового охолодження і може бути використаним в комп'ютерних технологіях автоматизації виробництва радіоелектронних засобів.

Література

1. Атаманова, І.В. Дослідження та розробка моделей і методів теплофізичного аналізу та оптимального синтезу РЕЗ з повітряним охолодженням [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.12.16 / Атаманова Ірина Володимирівна ; Державний ун-т "Львівська політехніка". - Львів, 1995. - 19 с.
2. Компьютерные технологии для расчёта тепловых режимов и механических воздействий: учеб. издание / Д.Ю. Муромцев, О.А. Белоусов. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ» 392000, 2012. – 88с.
3. Проектирование и технология радиоэлектронных средств : учеб. пособие / З.М. Селиванова, Д.Ю. Муромцев, Т.И. Чернышова, О.А. Белоусов, В.Н. Митрофанова. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 164 с.

References

1. Atamanova, IV Research and development of models and methods of thermophysical analysis and optimal synthesis of RES with air cooling [Text]: author. dis ... cand. tech. Sciences: 05.12.16 / Atamanova Irina Vladimirovna; Lviv Polytechnic State University. - Lviv, 1995. - 19 s.
2. Computer technologies for calculation of thermal modes and mechanical influences: textbook. edition / D.Yu. Muromtsev, O.A. Belousov. - Tambov: Publishing house FGBOU VPO "TSTU" 392000, 2012. - 88s.
3. Design and technology of electronic means: textbook. allowance / Z.M. Selivanova, D.Yu. Muromtsev, TI Чернышова, O.A. Belousov, VN Митрофанова. - Tambov: Izd-vo GOU VPO TSTU, 2011. - 164 s.

Надійшла / Paper received: 29.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 04.06.2020