



Технически университет - София

Факултет по компютърни системи и технологии

Катедра "Компютърни системи"

маг. инж. Йордан Лазаров Милев

***ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТАЦИОНАРНИ ТЕМПЕРАТУРНИ
ПОЛЕТА НА ВИСОКО ПРОИЗВОДИТЕЛНИ
КОМПЮТЪРНИ СИСТЕМИ ЗА БИТКОЙН МАШИНИ***

Автореферат

на

ДИСЕРТАЦИЯ

за придобиване на образователна и научна степен

„ДОКТОР“

Област: 5.Технически науки

Професионално направление: 5.3 Комуникационна и компютърна техника

Научна специалност: “Компютърни системи, комплекси и мрежи“

НАУЧНИ РЪКОВОДИТЕЛИ:

Проф. д-р инж. Георги Попов

Доц. д-р инж. Валентин Христов

СОФИЯ 2020

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Компютърни системи“ към Факултет „Компютърни системи и технологии“ на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 3.10.2019г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 06.10.2020г. от 13:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически Университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед

№ ОЖ-5.3-06 /от 05.03.2020г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р Даниела Гоцева – председател
2. проф. д-р Георги Попов
3. проф. д-р Александър Бекярски
4. проф. д-тн Камен Фильов
5. доц. д-р Йорданка Анастасова

Резервни:

- доц. д-р Боянка Николова
доц. д-р Валентина Кукенска

Рецензенти:

1. проф. д-р Даниела Гоцева
2. проф. д-р Александър Бекярски

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет „Компютърни системи и технологии“ на ТУ-София, блок №1, кабинет № 1431.

Дисертантът е задочен докторант към катедра „Компютърни системи“ на факултет „Компютърни системи и технологии“. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора.

Автор: маг.инж. Йордан Лазаров Милев

Заглавие: Изследване на стационарни температурни полета на високо производителни компютърни системи за биткойн машини

Автор: маг. инж. Йордан Лазаров Милев
Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

Увод

Теорията на топлопренасянето има голямо практично и теоретично значение в много отрасли на съвременната наука. Без знанията на законите за топлопренасяне не може правилно да се организират процесите в топлоенергетиката, в химическата, хладилната, хранителна промишленост, електротехника, топло-електроцентрали, двигатели за вътрешно горене, топлообменни апарати и агрегати и др. В някои случаи конструкторите се стремят възможно най-бързо да се отдаде топлина от едно тяло на друго, а в други случаи - се налага да се намали отдаването на топлина.

Като се знае механизмът за пренос на топлина и маса, може да се измени технологическият процес на производството, да се повиши мощността и надеждността на работата на топлоенергетическите уредби, за по-ефективни начини за производство на материали и изделия.

Разпространението на топлината става чрез съприкосновение на две тела или чрезлъчеизпускане (радиация).

Ако две тела имат различна температура, то протича обмен на енергия на движещите се частици (молекули, атоми, свободни електрони), като интензивността на движение на частиците на тялото с по-висока температура намалява, а на другото -се повишава. Този поток, който се предава от едното на другото тяло, се нарича топлинен поток.

Прилъчеизпускане телата се намират на известно разстояние едно от друго. Топлинната енергия се трансформира влъчиста и след това отлъчиста отново в топлинна(посредством електромагнитно поле).

Процесът на разпространение на топлината чрез частиците (молекули, атоми, електрони) се нарича топлопроводимост - кондукция, а процесът на топлопредаване се нарича конвекция.

В реалните процеси трите начина-топлопроводност (кондукция), конвекция и излъчване (радиация) протичат заедно.

Съвкупността от стойностите на температурата за всяка точка от разглежданото пространство се нарича температурно поле. То е скаларна величина. Ако температурата се изменя с времето, то това поле се нарича нестационарно. Обратно, ако не зависи от времето - нарича се стационарно.

Множеството от точки с еднаква температура, се нарича изотермична повърхност. Топлината може да се разпространява от изотермита с по-висока температура към тази с по-ниска температура. Топлинният поток има направление от точките с по-висока температура към точките с по-ниска температура, т.е. топлинният поток е векторна величина.

Изменението на температурата между две изотермични повърхности е най-голямо по направление на нормалата към тези повърхности.

Границата на изменението на температурата t към разстоянието n между две изотермични повърхности по посока на нормалата се нарича температурен градиент, т.е.

$$\text{grad}(t) = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta n} - \text{вектор.}$$

Преносът на топлината и масата на веществата се описват с приближение чрез параболически уравнения в частни производни. Решенията на тези уравнения при конкретни зададени начални и гранични условия, които се наричат крайни, изобразяват изучаемия топлофизически процес и се явяват като резултат от изследванията на математическите модели на поставените задачи.

Разгледан е подробно методът на крайните разлики (решетките) при решаване на задачата на Дирихле в уравнението на Лаплас, като G е затворена ограничена област с контур Γ , който се предполага, че е прост и по части гладък. За всеки вътрешен възел на квадратната решетка G_h се написва диференциалното уравнение на Лаплас със съответното уравнение в крайните разлики, а граничните условия със съответната система уравнения. Броят на уравненията е равен на броя на неизвестните. Разгледан е числен пример в двумерния случай за измерване на температурата и топлинните потоци.

Методът на крайните елементи се прилага за задачи с произволна форма на областта на решение. За двумерни области най-често се използват елементи с форма на триъгълници и четириъгълници, като страните им може да са и с криволинейни граници.

За тримерни области най-често се използват елементи с формата на тетраедър и паралелепипед с праволинейни и криволинейни граници. Фиксират се краен брой точки, наречени възли. Определят се апроксимационни функции (температурата) на отделните възли. За всеки елемент се намира полином, така че да се запази непрекъснатостта на температурата край границите на елемента.

Този метод се състои в това, че областта на непрекъснато изменение на аргумента (координати, време) се заменя с разчетна мрежа – дискретно множество от точки (възли). Вместо функции с непрекъснати аргументи се въвеждат функции с дискретни аргументи – мрежови функции, определени във възлите на мрежата. Частните производни влизащи в диференциалното уравнение и граничните условия, се заменят от съотношение с разлики. В резултат на такава замяна, крайната задача, която е изразена в частни производни се свежда към система от разликови алгебрични уравнения, наричани още разликова схема.

При построяването на разликовата схема за многомерни задачи е необходимо да се разбие изследваната област на елементарни обеми.

Изчислителната практика е показала, че крайно-разликовите схеми, целесъобразно, като по правило се прилагат за паралелни ортогонални координатни повърхности. За правоъгълници в двумерния случай и паралелепипеди в тримерния, за полярни координати – сектор от окръжност и т.н.

След избора на мрежа се осъществява конструиране на разликовите уравнения. На практика разликовите уравнения преди всичко се получава по пътя на замяната на производните, участващи в изходното диференциално уравнение и граничните условия с приближените им разликови отношения. .

Известни са голямо количество крайно - разликови схеми, използвани за решаване на задачите на топлопроводността на бит койн машини. Много от тях са описани в [19], [21], [12,13]. Но едва ли може да се определи коя разликосхема има преимущества във всички отношения. Всяка има свои достоинства и недостатъци.

Икономичността на тези схеми е в резултат на това, че решението на сложната многомерна задача се свежда до решаване на редица едномерни. Като резултат се получава търсеното температурно поле във всяка една точка, ако е известно началното разпределение на температурата и начина на тяхното определяне в граничните точки на мрежата.

За илюстрация е показан двумерния стационарен случай на уравнението на Лаплас.

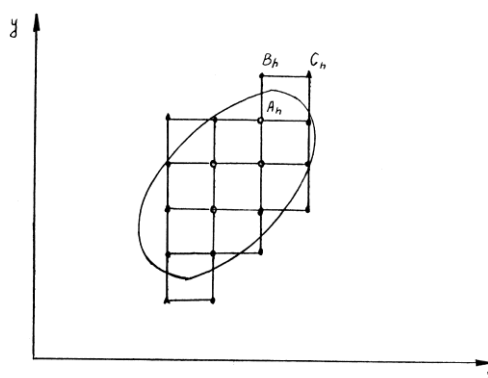
Самият метод на крайните разлики (на решетките) в случая се свежда до следното:

Областта G се покрива с решетка с еднакви квадратни клетки, като по този начин се апроксимира G с мрежа от точки G_h (фиг.2.1. 4).

Във възлите на G_h даденото диференциално уравнение се заменя със съответното уравнение в крайни разлики.

В контурните възли на G_h стойностите на търсената функция се пресмятат въз основа на граничните условия.

Решава се получената алгебрична система уравнения, с което се получават стойностите на търсената функция във възлите.



Фиг. Фиг.2.1. 4-мрежа от точки

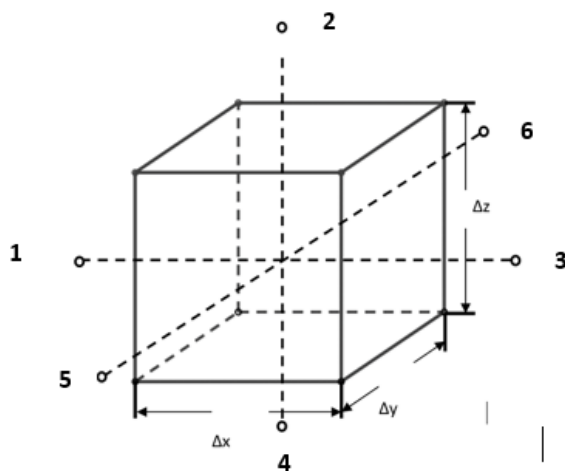
В случая решетката се взема квадратна, при което h се избира така, че грешката да бъде достатъчно малка. Грешка се получава не само при замяната на диференциалното уравнение с уравнение в крайни разлики, а и при апроксимирането на граничните условия. Може да се докаже, че при правилно поставена задача на Дирихле приложението на метода на решетките е свързано с грешка от порядъка на h . Последното показва, че за да се осигури достатъчна точност, решетката трябва да бъде с твърде малки клетки, което означава твърде много възли, респ. система линейни алгебрични уравнения с много неизвестни. Внедряването на съвременната изчислителна техника направи метода на решетките не само достъпен, но и един от най-популярните.

Численият метод на крайните разлики за твърдо тяло се използва като разделим тялото на квадрати ($\Delta x = \Delta y$), наречени възли. За вътрешен възел 0 (квадрат) използваме закона на Фурие за баланса на енергията. Методът на крайните разлики може да се приложи и за тримерни задачи.

Балансът на енергията е:

$$\sum_{i=1}^6 q_{i \rightarrow 0} = 0$$

За възел 0:



Фиг. Фиг. 2.1.5 - тримерен случай

Аналогично се извежда, както в двумерния случай енергията за възли на границата на тримерното тяло.

Търсената област за определяне на функцията в метода на крайните елементи се разбива с помощта на мрежа (в общия случай неравномерна) на отделни подобласти – крайни елементи. За двумерни области най-често се използват елементи с форма на триъгълници и четириъгълници. При тези елементи може да има както прави, така и криволинейни граници, което позволява с достатъчна точност да се апроксимира границата на всякаква форма. За тримерните области най-често употребяваните елементи са във формата на тетраедър и паралелепипед, които също така могат да имат праволинейни и криволинейни граници.

Основна идея на метода

Всяка непрекъсната функция (температура) може да се апроксимира с дискретен модел, който се построява от множество частични непрекъснати функции, определени от крайно число подобласти, наречени елементи. В общия случай неизвестната величина трябва да се определи в някои вътрешни точки на структурата на бит койн машината.

Фиксирането в анализираната структура на една високопроизводителна компютърни система (ВПКС-бит койн машина) на краен брой точки се нарича възли. Стойността на температурата във всяка възлова точка се счита за променлива величина, която трябва да се определи.

Апроксимация на температурното поле (температурата) на всеки елемент е полином, който се определя с помощта на възловите стойности на температурата.

Стационарният топлинен физико-математически модел на ВПКС (за бит койн машина) се прави по пътя на декомпозицията на топлинния макромодел на ВПКС при следните изисквания:

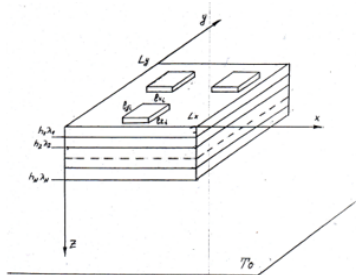
- топлофизическите параметри на материали на ВПКС (бит койн машини) са постоянни и изотропни;

- топлинните източници са разположени на повърхността на основата и са представени геометрически във вид на обемни правоъгълни структури:
-топлинният поток се разпределя посредством топлопроводност през структурата към корпуса, а също така по пътя на топло и масообмена с горната граница на основата.
- страничните повърхности на структурата се явяват топлинно изолирани;
- слоевете на структурата се намират в идеален контакт, т.е. междуслойните (контактните) топлинни съпротивления са равни на нула.

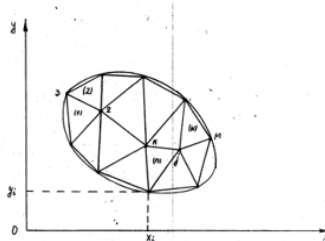
Избор на вида на елемента и разбиване на областите. Първият етап включва избор на вида на елементите и начина на разположение в тях на възловите точки, разбиване на областта на елементи, а също и определяне на функциите на формите.

За двумерните задачи, срещащи се при анализ на топлинния режим на приборите, много често се използват елементи с възли, разположени в техните върхове. Приложението на по-сложни елементи позволява да се използват за апроксимация на температурно поле в елементите на полиномите от по-високи степени. Ще трябва да се отбележи, че при построяване на функциите на формите, освен формулираните по-горе условия на техните значения във възловите точки („единица в един възел и нула в останалите”) е необходимо да се обезпечават непрекъснатостта на апроксимацията на границата на съседните елементи. След избора на вида на елементите се провежда разбиване на областта на елементи. Отбелязва се, че върховете на едни триъгълници не са длъжни да се намират на страните на други триъгълници, т.е. всеки елемент от разбиването е длъжен да съдържа три възела. Общите върхове на триъгълниците образуват възли от пространствената мрежа, в които се определя температурата. След разбиване се осъществява директна номерация на елементите и възлите. Номерът на възела в общия случай не е свързан с номера на елемента. Формиране и решение на системата разликови уравнения на втория етап се извършва с формиране на матрицата и стълба от свободните

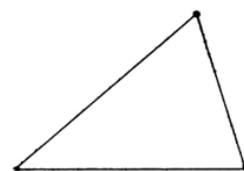
членове на линейната система от разликови уравнения. Тази процедура винаги се изпълнява автоматично на основата на параметрите на изходната задача, а също и на информацията за разбитата област]. Процедурата на построяване на системата разликови уравнения с метода на крайните елементи се отличава от метода на крайните разлики. При построяване на крайно-разликовите схеми се разглежда уравнението на топлинния баланс за елементарен обем, построен около възел на мрежата и веднага се получава съответстващото уравнение на общата схема. При съставяне на всяко уравнение трябва да се извърши сумиране на производни от функционали за различни елементи. Поради тази особеност процедурата на построяване на системата уравнения с метода на крайните елементи е по-нагледна, отколкото в случая с крайните разлики. Прилагането на неявните схеми в метода на крайните елементи за решения на тримерни нестационарни задачи, често е много трудно, заради голямата загуба на оперативна памет и машинно време. Затова при решения на тримерни нестационарни задачи в някои често срещащи се в практиката области, може и е целесъобразно да се прилага методът на крайните елементи в съчетание с локално-едномерни схеми. Високата размерност на системата алгебрични уравнения е няколко десетки хиляди в реалните задачи, което е недостатък на метода. Затова реализацията на метода на крайните елементи в състава на системата за автоматично проектиране изисква разработка на специални начини на запазване на матрицата коефициенти от системата уравнения и ефективни методи на тяхното решение.



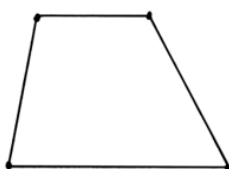
Фиг. 2.2.1



Фиг. 2.2.2



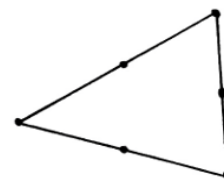
Фиг. 2.2.3



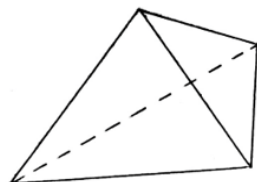
Фиг. 2.2.4



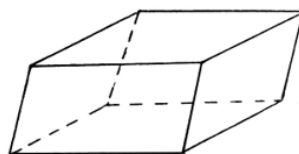
Фиг. 2.2.5



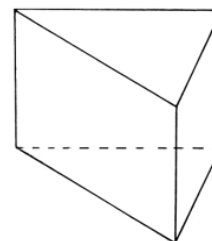
Фиг. 2.2.6



Фиг. 2.2.7



Фиг. 2.2.8



Фиг. 2.2.9

Задачата за моделирането на нестационарни температурни полета на конструкцията за ВПКС(бит койн машини) ще се представи в следния вид:

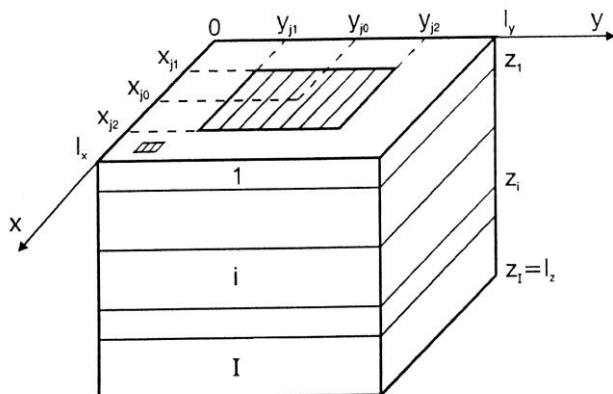
$$\nabla^2 T^{(j)}(x, y, z - z_{j-1}) = -\frac{q^{(j)}(x, y, z - z_{j-1})}{j}; \quad (2.3.1)$$

където $q^{(j)}(x, y, z - z_{j-1})$ е плътността на обемния източник на топлоотделяне на ВПКС и $Q(x, y)$ – плътността на топлоотделяне на плоския източник на ВПКС(бит койн машини)-при определени гранични условия с метода на Фурие се решава тази система уравнения.

$$Q(x, y) = \begin{cases} \frac{P_s}{l_x \cdot l_y} & \text{при } x, y \in S = l_x \cdot l_y \\ 0 & \text{при } x, y \in \text{вън } S \end{cases} \quad (2.3.2)$$

P_s – мощност на единия източник

l_x и l_y – дължина на елемента по двете координати x и y .



Приемат се следните допускания:

Всички слоеве се намират в идеален топлинен контакт един с друг, т.е. топлинните контактни съпротивления са равни на нула.

1. Пренебрегва се топлината, която се разсейва от проводниците или/и изводите.

2. Всеки слой е термически еднороден.

3. Топлинните параметри на структурата не зависят от температурата.

4. Топлинните източници са разположени от двете страни на основата и геометрически представляват плоски правоъгълници (дебелината на топлинните източници се пренебрегва).

Математическият модел, описващ стационарното температурно поле, има вида:

$$\frac{\partial^2 \theta_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta_i}{\partial z^2} = 0, i = 1, \dots, I \quad (2.4.1)$$

$$-\beta_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial z} \Big|_{z=z_0} + \alpha_0 \theta_1 \Big|_{z=z_0} = Q_0(x, y) \quad (2.4.2)$$

$$\beta_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial z} \Big|_{z=z_i} + \alpha_i \theta_I \Big|_{z=z_I} = Q_I(x, y) \quad (2.4.3)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial z} \Big|_{z=z_i} = \lambda_{i+1} \frac{\partial \theta_{i+1}}{\partial z} + \alpha_i \theta_i \Big|_{z=z_i}, i = 1, \dots, I-1 \quad (2.4.4)$$

$$\theta_i \Big|_{z_i} = \theta_{i+1} \Big|_{z_i}, i = 1, \dots, I-1 \quad (2.4.5)$$

$$\frac{\partial \theta_i}{\partial z} \Big|_{x=0} = \frac{\partial \theta_i}{\partial z} \Big|_{x=l_x} = 0, \quad i = 1, \dots, I-1 \quad (2.4.6)$$

$$\frac{\partial \theta_i}{\partial z} \Big|_{y=0} = \frac{\partial \theta_i}{\partial y} \Big|_{y=l_y} = 0, \quad i = 1, \dots, I-1 \quad (2.4.7)$$

Където $\theta_i(x, y, z)$ е разпределението на прегряването на i -тия слой с топлопроводност λ_i, a_0 и a_1 са коефициенти на топлобмен с околната среда от горната и долната среда на подложката; $Q_0(x, y)$ и $Q_1(x, y)$ са разпределенията на повърхностната плътност на топлинните източници от двете страни на основата.

. Ако имаме система от N линейни алгебрични уравнения. В $(N-2)$ уравнения на тази система влизат по три неизвестни, а в две – по две неизвестни. Записва се системата в следния вид:

$$\begin{aligned} a_1 u_2 + b_1 u_1 + d_1 &= 0 \\ n = 2, \dots, N-1: a_n u_{n+1} + b_n u_n + c_n u_{n-1} + d_n &= 0 \\ b_N u_N + c_N u_{N-1} + d_N &= 0 \end{aligned}$$

Където $u_1, \dots, u_N$ са неизвестните, а a_n, b_n, c_n са коефициенти. Матрицата на коефициентите можем да се представи така:

$$\begin{array}{c} n \end{array} \begin{array}{cccccccc} u_1 & u_2 & u_3 & \dots & \dots & u_{N-2} & u_{N-1} & u_N \end{array} \left[\begin{array}{cccccccc} 1 & b_1 & a_1 & & & & & \\ 2 & c_2 & b_2 & a_2 & & & & \\ \vdots & & & & & & & \\ N-1 & & & & & c_{N-1} & b_{N-1} & a_{N-1} \\ N & & & & & & c_N & b_N \end{array} \right]$$

Ясно се вижда тридиагоналната структура на тази матрица. За решение на такива системи се използва модификацията на метода на изключването на Гаус, наречен метод на прогонката. В този алгоритъм се отчита специфичният вид на матрицата и не се извършват действия над нулевите коефициенти, предвидени в метода на Гаус за матрици от общия вид.

Крайната формула за $\theta_i(x, y, z)$ – темп. на i – тия слой ще изглежда по следния начин:

$$\theta_i(x, y, z) = (\theta_{i-1}(i-100)(z_i(i-1))(z_i i - z) + \theta_{i+1} 100(z_i i)(z - z_i(i-1)))/(z_i i - z_i(i-1))$$

(2.4.12)

По този начин може да се установи температурата във всяка точка от разглежданата бит койн машина. Разглежда се решението на задачата за анализ на стационарно топлинно поле на ВПКС (бит койн машина) като пътя на решението започва от основното уравнение на топлопроводността по аналитичния метод. За построяване на топлинния модел на ВПКС се осъществява декомпозиция на изходния топлинен макромодел на основата на следните допускания:

1. Всички слоеве на ВПКС (бит койн машина) се намират в идеален контакт един с друг, т.е. топлинните контактни съпротивления са равни на нула.
2. Топлината, която се разсейва чрез проводниците или изводите, се пренебрегва.
3. Повърхността на структурата се явява изотермична и нейната температура е равна на температурата на околната среда. На най-горната повърхност на първия слой ($z = 0$) имаме топлообмен със средата.
4. Всеки слой на ВПКС (бит койн машина) е термично еднороден.
5. Теплофизическите параметри на структурата не зависят от температурата.

Топлинните източници са разположени на повърхността на основата и геометрично са представени във вид на плоски правоъгълници. Разпределението на стационарно топлинно поле в предложения топлинен модел (фиг.2.5.1) математически се описва със системата уравнения на Лаплас.

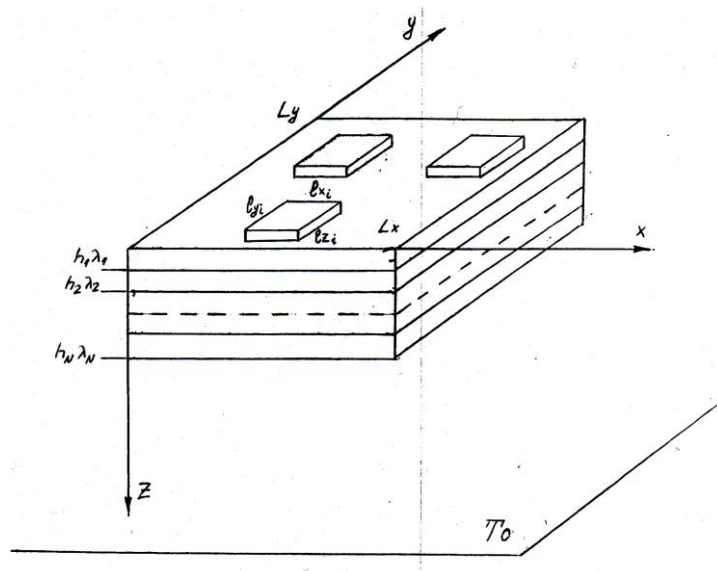
$$\nabla^2 T(x, y, z)$$

$$\frac{\partial^2 T^j(x, y, z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T^j(x, y, z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T^j(x, y, z)}{\partial z^2} = 0 \quad (2.5.1)$$

Анализът ще се направи при следните гранични условия за топлинния модел на ВПКС(за бит койн машина) :

$$(2.5.2)$$

където $j = 1, 2, 3, \dots, N$ е броят на слоевете на ВПКС(за бит койн машина).



Фиг. 2.5.1

Термоелектрически модел на ВПКС-бит койн машина

Условията (2.5.2) показват, че топлинният поток не се предава през страничните повърхности на структурата.

За да се получи общото решение на разпределението на температурното поле във всеки слой на структурата -

$$T^{(j)} = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} X_n^{(j)}(x) \cdot Y_m^{(j)}(y) \cdot Z_{nm}^{(j)}(z)$$

се получава решение във вида:

$$T^{(j)}(x, y, z - z_{j-1}) = U_0^{(j)} + U_1^{(j)} + U_2^{(j)} + U_3^{(j)}$$

или

$$T^{(j)}(x, y, z - z_{j-1}) = G_1 \cdot \exp(-\alpha_1 z) + H_1 \cdot \exp(-\beta_1 z) + \dots + \sum_{n=1}^{\infty} \dots$$

(2.5.36)

Където се получават от граничните условия.

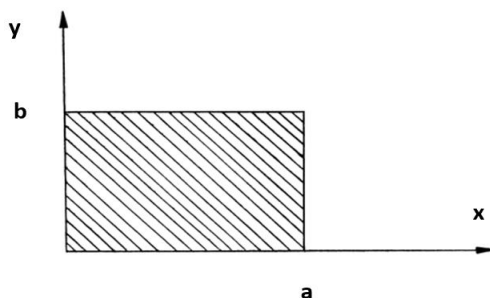
Функцията Q(x,y) се разлага по следния начин:

$$Q(x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} B_{nm} \cos \frac{n\pi x}{a} \cos \frac{m\pi y}{b} = A_{00} + \sum_{n=1}^{\infty} A_{n0} \cos \frac{n\pi x}{a} +$$

$$+ \sum_{m=1}^{\infty} A_{0m} \cos \frac{m\pi y}{b} + \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{nm} \cos \frac{n\pi x}{a} \cos \frac{m\pi y}{b}}{a}$$

(2.5.39)

С буквите a и b са означени дължините на основата L_x и L_y , както на фиг. 2.5.2



Фиг. 2.5.2 - размери на основата

Коефициентът A_{nm} е равен на:

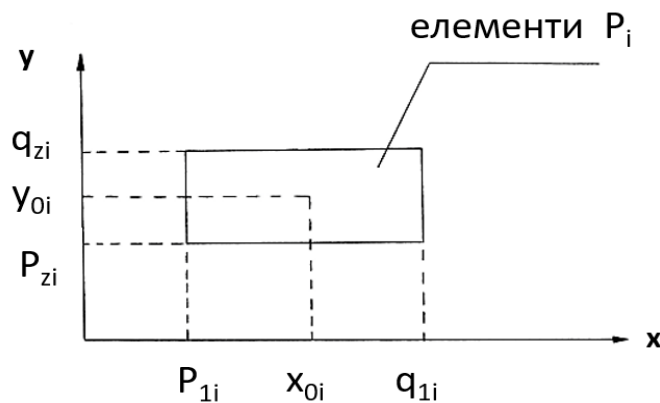
$$A_{nm} = \frac{4}{ab} \int_0^a \int_0^b f(x, y) \cos \frac{n\pi x}{a} \cos \frac{m\pi y}{b} dx dy$$

(2.5.40)

В уравнение (2.5.40) ако $a = L_x$ и $b = L_y$, а вместо $f(x, y)$ има $Q(x, y)$. В уравнение (2.5.39) коефициентът A_{00} , който се изразява така:

като

(2.5.41)



Фиг. 2.5.3 - граници на елемента

Следващата стъпка ще бъде към откриване на коефициентите G и H .

Определянето на температурното поле във всяка координата от многослойната структура се свежда към намиране на неизвестните постоянни коефициенти $(n, m = 0, 1, 2, 3 = \dots)$ $G_{\backslash 0 \backslash 0}^{(j)}$ и $H_{\backslash 0 \backslash 0}^{(j)}$. Необходимо е да се отбележи, че ако се намерят тези коефициенти, заместени в (2.5.36), ще се получи температурата, в която и да е точка.

Ще се направят първо рекурентните зависимости за G и H .

Означава се:

$$S = \frac{1}{2} + \frac{h_1}{\lambda^1} + \frac{h_2}{\lambda^2} + \dots + \frac{h_N}{\lambda^N}$$

Или

$$\begin{cases} H_{\backslash 0 \backslash 0}^{(1)} = \left(\frac{T_k - \frac{A_{\backslash 0 \backslash 0}}{\alpha}}{\lambda^{(1)} \cdot S} \right) \\ G_{\backslash 0 \backslash 0}^{(1)} = \frac{\lambda^{(1)}}{\alpha} \cdot H_{\backslash 0 \backslash 0}^{(1)} + \frac{A_{\backslash 0 \backslash 0}}{\alpha} \end{cases}$$

Рекурентната зависимост за $H_{\backslash 0 \backslash 0}^{(j)}$ и $G_{\backslash 0 \backslash 0}^{(j)}$ ще бъде:

$$\begin{cases} H_{\setminus 0 \setminus 0}^{(j)} = \frac{\lambda^{(j-1)}}{\lambda^{(j)}} \setminus H_{\setminus 0 \setminus 0}^{(j-1)} \\ G_{\setminus 0 \setminus 0}^{(j)} = G_{\setminus 0 \setminus 0}^{(j-1)} + h_{j-1} \setminus H_{\setminus 0 \setminus 0}^{(j-1)} \end{cases}$$

(2.5.54)

Като $j = 2, 3, \dots, N$

От системата (2.5.53) се получава:

$$\mathbb{I}(G_{\downarrow}^{\text{nm}} \uparrow(N)) = (-C_{\downarrow} N / b_{\downarrow} N) \setminus \cdot H_{\downarrow}^{\text{nm}} \uparrow(N) = d_{\downarrow} N H_{\downarrow}^{\text{nm}} \uparrow(N), H_{\downarrow}^{\text{nm}} \uparrow(N) = 1 \setminus \cdot H_{\downarrow}$$

Оттук следва:

$$\mathbb{I}(G_{\downarrow}^{\text{nm}} \uparrow(j)) = (b_{\downarrow} \setminus \cdot d_{\downarrow}(j+1) - \lambda \uparrow(j+1)) / \lambda \uparrow(j) \setminus \cdot \setminus \cdot c_{\downarrow} j \setminus \cdot e_{\downarrow}(j+1) \setminus \cdot H_{\downarrow}^{\text{nm}} \uparrow(N) = d_{\downarrow} j H_{\downarrow}^{\text{nm}} \uparrow(N) @ H_{\downarrow}^{\text{nm}} \uparrow(j) = (-c_{\downarrow} j \setminus \cdot d_{\downarrow}(j+1) + \lambda \uparrow(j+1)) / \lambda \uparrow(j)$$

(2.5.55)

От (2.5.55) се намира d_j и e_j за $j = N-2, \dots, 1$. Тогава: От (2.5.55) се намира d_j и e_j за $j = N-2, \dots, 1$. Тогава:

$$H_{\text{nm}}^{(N)} = \frac{A_{\text{nm}}}{\alpha d_1 - \lambda^{(\alpha)} \setminus \gamma_{\text{nm}} e_1}$$

$$G_{\text{nm}}^{(N)} = d_N \setminus H_{\text{nm}}^{(N)} \setminus G_{\text{nm}}^{(N)} = d_j \setminus H_{\text{nm}}^{(N)} u H_{\text{nm}}^{(j)} = e_j H_{\text{nm}}^{(N)}, j = 1, \setminus \cdot \setminus \cdot \setminus \cdot N-1$$

Като

$$\begin{aligned} b_j &= \text{ch}(\gamma_{\text{nm}} \setminus h_j) \\ c_j &= \text{sh}(\gamma_{\text{nm}} \setminus h_j), \text{ при } j=1, 2, 3, \dots, N-1 \end{aligned}$$

В случая (2.5.54) и (2.5.55) са търсените рекурентни зависимости. С тяхна помощ се открива, което и да е в реда 2.5.36. Вече може да се открие приближената стойност на температурата, в която и да е точка от биткойн структура, като се вземат краен брой членове от реда 36.Лит.[П2]

Биткойн е система от цифрова наличност от записи. Може да се отбележи аналогията между запис и кортеж, между файл и отношение, между формат от записи и схема от отношения. Отношенията в Базата от данни и техните операции се обобщават при допълнителни условия(П1).

ПРИНОСИ

Научни приноси

-Предложени са ефективни подходи и методи за изчисляване на температурата по метода на крайните разлики, метода на крайните елементи и метода на Фурие в едномерен, двумерен и тримерен случай в произволна точка на полупроводникови структури, използвани във високопроизводителни компютърни системи за биткойн машини.

-Предложен и разработен е оригинален модифициран модел по метода на Фурие за определяне на температурата, който позволява постигането на по-голяма точност.

-Разработен и верифициран е ефективен метод за измерване на температурата в произволна точка на полупроводникови структури, използвани във високопроизводителни компютърни системи за биткойн машини.

Научно-приложни приноси

-Направен е сравнителен анализ на съществуващите приближени методи за изчисляване на температурата в произволна точка на полупроводникови структури, използвани във високопроизводителни компютърни системи за

биткойн машини и са предложени конкретни препоръки за всеки отделен случай.

-Разработен е метод, алгоритъм програма на C++ за изследване на температурата в произволна точка на ВПКС за биткойн машини.

-Извършени са експериментални изследвания, сравнени с резултатите от разработения компютърен метод и реално допустимите им стойности за устройства с различна мощност за биткойн машини.

Реализация на използваните методи за изчисляване на температурните полета в ВПКС. Експериментални случаи с различни параметри и мощности.

Програмна реализация и архитектура

Конструктивно-топлофизическите параметри на основата са:

- размери на основата

L_x и L_y

m -коефициент на топлопроводност на материала на основата:

λ_1 -W/m.gead

- коефициент на топлопроводност на лепилото:

λ_2 -W/m.gead

- дебелина на слоя лепило-h2

- температура на корпуса:Тк

Топологическите характеристики и мощността на топлоотделяне на елементите на разглежданата ВПКС са изложени в табл.1, а резултатите в табл. 2.

В програмата за анализ на тримерно стационарно температурно поле са въведени следните означения:

ALFA – коефициент на топлообмен със средата [W/m².°C]

BDLX – дължина на основата по абсцисната ос L_x (m)

BDLY – дължина на основата по ординатата L_y (m)

Тк – температура на корпуса Т (°C)

N1 – брой на слоевете в ВПКС

H_k (m) – дебелина на съответните слоеве в метри

I_1 – брой на елементите в ВПКС

$P(I_1)$ – мощност на всеки един елемент от съответната схема

$X_0(I_1)$ – координатите на центровете на всеки един елемент спрямо абсцисната ос. Значението на всяко $X_0(I_1)$ е в метри.

$Y_0(I_1)$ – координатите на центровете на всеки елемент спрямо ординатната ос. Стойността на $Y_0(I_1)$ е в метри.

$DX(I_1)$ – дължината на елементите по абсцисната ос в метри

$DY(I_1)$ – дължината на елементите по ординатната ос в метри

$BLAM(N_1)$ – коефициентите на топлопроводност за всеки един слой
[W/m.C]

$N_0 - M_0$ – брой на членовете в реда на Фурие n и m

Таблица 1 – мощност на елементите

№	Тип на елем.	Координати на центъра		Линейни размери		Мощност на топлоотделяне P,W
		(m)	(m)	(m)	(m)	
		x ₀	y ₀	l _x	l _y	
1	U1	0.0038	0.002175	0.0004	0.00215	0.011
2	U2	0.002978	0.0037	0.00145	0.0004	0.0063
3	U3	0.00125	0.00475	0.0015	0.0008	0.0034
4	U4	0.000905	0.00265	0.0005	0.0016	0.006
5	U5	0.00825	0.002875	0.0003	0.00115	0.00027
6	U6	0.00685	0.003325	0.0003	0.00115	0.00027
7	U7	0.00435	0.0072	0.0012	0.0004	0.0002
8	U8	0.0052	0.0019	0.0004	0.0016	0.0076
9	U9	0.006425	0.00705	0.00085	0.0009	0.0016
10	U10	0.012	0.0037	0.002	0.0004	0.011
11	U11	0.01475	0.0035	0.0015	0.0008	0.0035
12	U12	0.001475	0.00195	0.00195	0.0015	0.048
13	U13	0.0092	0.0013	0.0024	0.0004	0.012
14	U14	0.0152	0.003	0.0003	0.0019	0.00053
15	U15	0.01365	0.00665	0.0012	0.0004	0.0002
16	U16	0.00635	0.00405	0.0005	0.0005	0.0069
17	U17	0.00135	0.0038	0.0005	0.0005	0.008
18	U18	0.0028	0.00205	0.0005	0.0005	0.008
19	U19	0.0102	0.0038	0.0005	0.0005	0.0066
20	U20	0.0139	0.0064	0.0005	0.0005	0.0055

Таблица 2 – температура на елементите

Резултати от анализа при	Резултати от анализа при	Резултати от анализа при	Опитни данни
NO=10	NO=20	NO=25	T, °C
MO=10, °C	MO=30, °C	MO=35, °C	
76,81685	76,87399	76,88485	73,36
73,38418	76,34801	76,34914	73,23
75,59309	75,65184	75,65253	72,19
80,05502	80,15298	80,15968	77,17
72,40399	72,37715	72,38046	70,15
72,91099	72,9688	72,96927	71,07
72,15795	72,16106	72,16074	70,1
74,87296	74,84546	74,85601	72,97
71,73974	71,75047	71,75122	70,62
72,10179	72,12929	72,12759	73,58
71,16946	71,19939	71,19778	71,09
80,70246	80,79249	80,78354	78,39
72,8416	72,8382	82,83521	73,31
71,05779	71,07069	71,06919	70,71
71,2458	71,27028	71,27258	72,14
73,13042	73,18367	73,18613	81,18
77,56445	77,68531	77,69102	83,68
78,8974	78,83848	78,83261	85,25
72,29109	72,32359	72,32804	80,66
71,28598	71,31748	71,32201	78,94

Средната относителна грешка при:

$$1) NO = 10, MO = 20 \text{ е } \sigma_{\text{ср.}} = 4.1318\%$$

$$2) NO = 20, MO = 30 \text{ е } \sigma_{\text{ср.}} = 4.1371\%$$

$$3) NO = 25, MO = 35 \text{ е } \sigma_{\text{ср.}} = 4.1380\%$$

Пример 2. С дадената програма е извършен анализ на още един пример за ВПКС . Програмата е пусната при следните входни данни:

$$BDLX = 0.018 \text{ m}$$

$$BDLY = 0.018 \text{ m}$$

$$\lambda_{\text{подл.}} = 5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$N_1 = 1; HK = 0.008$$

Данните за всеки един елемент са дадени в табл. 3. Резултатите от анализа са показани в табл. 4, като е направено сравнение с опитни данни.

Анализът е проведен при реда на Фурие: $N_0=10$; $M_0=20$

Таблица 3 – мощност на топлоотделяне на елементите

№	Тип на елем.	Координати на центъра		Линейни размери		Мощност на топлоотделяне
		(m)	(m)	(m)	(m)	P, W
		x_0	y_0	l_x	l_y	
1	U1	0.011	0.0036	0.014	0.00325	0.0002
2	U2	0.0145	0.0145	0.017	0.001	0.0002
3	U3	0.0155	0.0167	0.017	0.001	0.0002
4	U4	0.0071	0.0165	0.0017	0.001	0.00075
5	U5	0.007	0.0095	0.0017	0.001	0.03
6	U6	0.01	0.0059	0.0013	0.0017	0.00075
7	U7	0.0029	0.0026	0.0017	0.0014	0.02
8	U8	0.005	0.0058	0.0014	0.0014	0.11
9	U9	0.05	0.009	0.0014	0.0014	0.14
10	U10	0.0127	0.0146	0.0007	0.0007	0.06
11	U11	0.0119	0.0102	0.0003	0.0003	0.0002
12	U12	0.0135	0.0098	0.0003	0.0003	0.0002
13	U13	0.0098	0.0156	0.0003	0.0003	0.0002
14	U14	0.0118	0.0056	0.0003	0.0003	0.0002
15	U15	0.0068	0.0116	0.0003	0.0003	0.0002
16	U16	0.0097	0.008	0.0005	0.0005	0.03
17	U17	0.004	0.0142	0.0048	0.0048	0.65

Таблица 4 – температура на елементите

	Елементи	Резултати от проведения експеримент T, °C	Данни T, °C
NO=10 MO=20	U1	38.933	48.4
	U2	36.906	45.2
	U3	47.445	54.9
	U4	60.029	71.2
	U5	65.8645	71.2
	U6	60.024	54.9
	U7	75.493	80.4
	U8	85.629	84.2
NO=20 MO=30	U1	39.74522	48.4
	U2	37.01682	45.2
	U3	48.20509	54.9
	U4	61.80118	71.2

Средната относителна грешка при:

1) NO = 10, MO = 20 е $\sigma_{cp.} = 11.0721\%$

2) NO = 20, MO = 30 е $\sigma_{cp.} = 10.7004\%$

3.2. Изводи от направените експерименти

1. Анализирани са различни приблизителни методи за изследване на температурните полета в различни биткойн машини.

2. Предложени са аналитични методи (система от формули), при които точността на изчисляване на температурата в едно стационарно температурно поле в различни слоеве на основата на една ВПКС, е по-голяма въз основа на метода на Фурие.

3. Разработена е компютърна програма на C++ за изчисляване на стационарни температурни полета във високо производителни компютърни системи за биткойн машини.

4. Проведен е експеримент и са получени числени резултати за температурата за 5 (пет) конкретни случаи с разработената програма на C++.

Изчисляват се температурите в произволна точка и ако температурата им се повиши над определени граници, се дава информация и ще могат да се вземат мерки за тяхната цялост. Тези предварителни изследвания на топлинните режими на биткойн машини ще гарантират висока стабилност.

Някои общи параметри като:

- габаритни размери на устройствата;
- тяхното разместване в зависимост от тяхната разсейвана мощност;
- температурни коефициенти;
- охлаждания.

и други, могат да бъдат изменени в ограничени граници, най-вече продиктувани от практически съображения.

От резултатите, получени от програмата в различните случаи, може да се заключи и да се направят следите изводи:

1. Съобщението за висока температура на ВПКС показва, че производителността на ВПКС ще намалее и ако тя стане много малка, то трябва този проблем да се отстрани.

2. Информацията за висока температура позволява на собственика на машината да вземе необходимите мерки, за да не повреди биткойн машината.

Извеждат се съобщения, ако температурата излиза или не извън интервала на допустимия обхват за температурата на изследваното устройство(видео карти, процесори и други).

Тези изследвания на температурата на ВПКС позволяват да се разработи, ефективно разместване на елементите(оптимално по отношение на определен набор от критерии) при удовлетворяване на зададени технологически и конструктивни изисквания и ограничения. Строгото задание и решение на поставените задачи, спомага използването на математически модели за елементи и алгоритми с цел увеличаване надеждността и производителността във високо производителни компютърни системи.

Приложен е модифициран модел на метода на Фурие, който позволява по-голяма точност за измерване на температурата в произволна точка и за различни слоеве на основата .Разработен е ефективен метод за измерване на температурата в произволна точка на високо производителни компютърни системи на биткойн машини.

2.1.Разработена е компютърна програма на C++ с цел изследване на температурата в произволна точка на биткойн машина.

2.2.Извършени са експериментални изследвания за устройства с различна мощност. Сравнени са резултатите с разработения метод и реално допустимите им стойности.

ПУБЛИКАЦИИ

П1. Jordan Milev-On Generalized Relations,

International Journal of Development Research, Vol 09, Issue 11, pp31833-31836, Nov 2019.

П2. Marin Hristov and Jordan Milev:Mathematical modeling of stationary temperature fields for construction of Microelectronic devices,

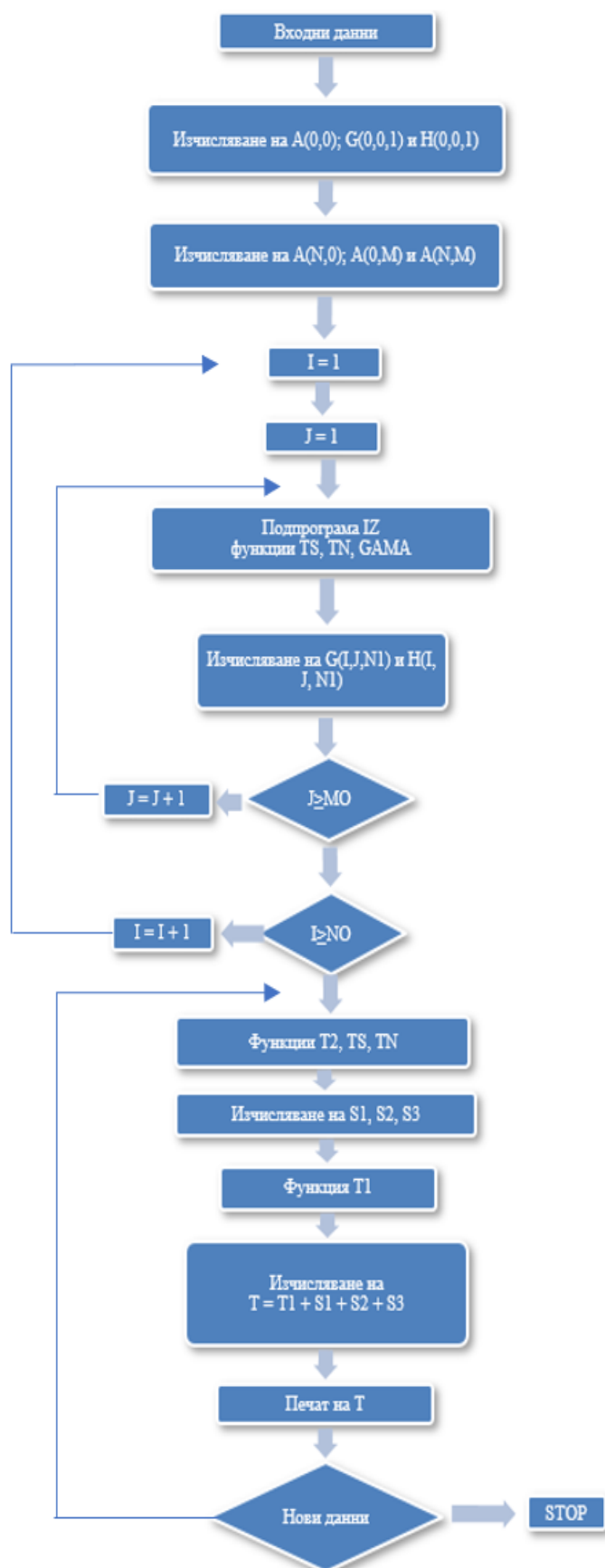
International Journal of Development Research, Vol 09, Issue, 11, pp31065-31069, Nov. 2019

П3. Marin Hristov and Jordan Milev-Method for Analysis of the Thermal

Field in the integrated Scheme:8th International Scientific Conference September, Kavala, Greece 2018. Proceedings of the 8th International Scientific Conference Computer Science'2018, Kavala, Greece, 13-15 Sept. 2018, pp.61-66, ISBN 978-619-167-177-9.

П4. Yordan Milev-Study on thermal regime of microelectronic device.

Computer and communications engineering, Vol.11, No.2, pp31-36, ISSN 1314-2291



Приложение 1 - Блок схема на програмата

Използвани формули-2.5.42,2.5.43,2.5.44,2.5.54,2.5.55

ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский А.Я. Савинова Т.А.: „Электротепловые модели компонентов и модель теплового взаимодействия для расчета интегральных схем”, Изв. вузов МВ и ССО СССР. Радиоэлектроника, 1966г. т.29, бр.12 стр.45-50.
2. Берковский Б.М.: „Разностные методы исследования задач теплообмена”. М.1976г.
3. Дульнев Г.Н., Тарновский Н.Н.: „Тепловые режимы электронной аппаратуры”, Энергия, 1971г.
4. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В.: „Применение ЭВМ для решения задачи теплообмена”, М.Высшая школа,1990г.
5. Дульнев Г.Н.: „Тепло -и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре” -М.,Высшая школа, 1984г.
6. Ермалаев Ю.П., Понамарев М.Ф., Крюков Ю.Г.: „Конструкции и технологии микросхем” - М.: Советское радио 1980г.
7. Закс Д.И.: „Параметры теплового режима полупроводниковых микросхем” - М. :Радио и связь, 1983г.
8. Зарубин В.С. : „Инженерные методы решения задач теплопроводности” М., Энергоиздат, 1983г.
9. Захаров А.Л., Асвадурова Е.И.: „Расчет тепловых параметров полупроводниковых приборов” - М. : Радиосвязь,1983г.
10. Закс Д.И., Наумов П.М.: „Анализ температурного поля полупроводниковой микросхемы”, Изв. вузов МВ и ССО СССР, Радиоэлектроника, 1975г. т.18,бр.1
11. Зенкевич О.: „Метод конечных элементов в технике” М.,Мир, 1975г.
12. Калиткин Н.Н.: „Численные методы”- М. Наука, 1978г.
13. Канторович Л.В., Крылов В.И.: „Приближенные методы высшего анализа” - М.-Л., Физматгиз, 1962г.
14. Коваль В.А.: „Модели и методы функциональной и технологической воспроизводимости интегральных микросхем” Львов, 1985г.
15. Коваль В.А., Федаснюк Д.В.: „Автоматизация теплового проектирования микросхемных устройств средствами САПР”- Львов, 1988г.
16. Колниболотский Ю.М., Королев Ю.В., Богдан Г.И. : „Расчет и конструирование микросхем”, Киев: Высшая школа, 1983г.
17. Крейт Ф., Блек У: „Основы теплопередачи”, М. Мир.1984г.
18. Марчук Г.И. : „Повышенной точности решения разностных схем”.”.М.,1985г.
19. Пасмаков В.М., Полежаев В.И. : „Численное моделирование процессов тепло- и массообмена”. М.,Наука, 1984г.
20. Роткоп Л.П., Спокойный Ю.Е. : „Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭА” ,М., 1976г.
21. Самарский А.А.: „Теория разностных схем””,М.,1975г.
22. Яненко Н.Н.:„Метод дробных шагов решения многомерных задачи математической физики””,М.,1978г
23. Сегерлинд Л.: „Применение метода конечных элементов”. М., Мир, 1979г.
24. Cocco, L.; Marchesi, M. Modeling and Simulation of the Economics of Mining in the Bitcoin market. Plos ONE 2016,11,e 0164603.[Cross Ref][pubm].
25. Writer, S. The 5 stages of the Mining Life Cycle 2015 Available online: <https://www.miningglobal.com/operations/gifs-5-stages-mining-life-cycle> (accessed on 15 June 2018).
26. Bradley. The energy efficiency Bitcoin. 2016 Available online: <https://www.cryptocoinnews.com/energy-efficiency-Bitcoin/> (accessed on 15 June 2018).
27. Purdea, I. Relations generalisees. Rev. Roum, Math. Pureset Appl. 1969, 14, 4, 533-556.
28. Goghen, J. L-Fuzzy sets. Jour, Math. Anal. and Applic. 1967, vol. 18, 145-174
29. Салий, В.Н.Бинарные 1 - отношения. Изв. ВУЗ, Математика, 1965, 1, 133-145.

30. Zadeh, L. A. Fuzzy sets, *Information and Control*, 1965, vol. 8, 338-353.
31. Вагнер, В.В. Теория отношений и алгебра частичных отображений, Теория полугрупп и ее приложения. Сборник статей, выпуск 1, Изд. Саратовского университета, Саратов, 1965.
32. Бурбаки, Н. Теория множеств. М, Физматгиз, 1958.
33. Биркхоф, Г. Теория структур. М., ИЛ, 1952.
34. Пензов, Ю.Е. К арифметике Π - отношений. Изв. ВУЗ Математика, 1961, 23, 4, 78-92.
35. Nemethi, C. Despre produsul relatiilor. *St. cerc. mat.* 1972, 24, 9, 1421-1434.
36. Топенчаров, В.В. Една бинерна композиция на n - арни отношения, Год. на ВТУЗ, Математика, 1973, т.IX, кн.4.
37. Jeffrey Ullman-Principles of database systems-Stanford University.1983
38. Johnsonbaugh,R(2001)Diskrete Mathematical,5th edn,New Jersey:Prentice Hall
39. Fox, R.W., A.T. Mc Donald and P.J. Pritchard Introduction to Fluid Mechanics,6th ed. Wiley Hoboken, NJ, 2003
40. Bergles, A.E., in G.F. Hewitt, Exek.Ed., Heat Echanger, Section 2.7.9. Begell House, New York, 2002.
41. Celata, G.P., and A. Mariani, in S.G. Kandlikar, M. Shoji and V.K. Dhir, Eds., Handbook of Phase Change: Boiling and Condensation, Chap.17, Tailor & Francis, New York,1999.
42. Tong, L.S., and Y.S. Tang, Boiling Heat Transfer and Two Phase Flow,2nd ed., Taylor & Francis, New York,1997
43. Pinna, A.; R.; Orru, M.; M. Petri. Nets Model for Block chain Analysis. *Comput.J.*<2018,61,1374-1388 [Cross Ref].
44. Faghri, A., and Y. Zhang, Transport Phenomena in Multiphase Systems, Elsevier, Amsterdam,2006
45. Collier, J.G. and J.R. Thome, Convective Boiling and Condensation,3rd ed., Oxford Unuversity Press, New York,1996.
46. Czarnek, M. Nxt Network Energy and Cost Efficiency Analysis 2014. Available online: <https://www.scribd.com/document/254930279/Network-Energy-and-Cost-Efficiency-Analisis> (accessed on 16 January 2017).
47. Cavallini, A., G. Gensi, D. Del Col, L. Doretti, C.A. Longo, L. Rossetto and C. Zilio, *Int.J. Refrig.*26,373,2003.
48. Briggs, A., and J.W. Rose, *Int.J. Heat Mass Transfer*,37,457,1994.
49. Murase, T., H.S. Wang, and J.W. Rose, *Int.J. Heat Mass transfer*, 493180, 2006.
50. Dobson, M.K., and J.C. Chato, *J. Heat Transfer*,120,193,1998.
51. Rose, J.W., *Proc. Instn. Mech. Engrs. A: Power and Energy*,216,115,2001.
52. Chen, G., *J. Heat Transfer*,118,539,1996
53. Carey, V.P., G. Chen, C. Grigoropoulos, M. Kavany and A. Majumdar, *Nano and Micro Thermophys Engng*,12,1,2008
54. Schelling, P.K., L. Shi, and K.E. Goodson, *Mat. Today*,8,30,2005
55. Zhang, Z.M., *Nano/Microscale Heat Transfer*, McGraw-Hill, New York,2007
56. Zeteli, N., *Quantum Mechanics Concepts and Applications*, Wiley, Chicheter,2001
57. Howell, J.R., R. Siegel, and M.P. Menguc, *Thermal Radiation Heat Transfer*,5th ed., Taylor & Francis, New York,2010.
58. Koblinski, P.R. Prasher, and J. Eapen, *J. Nanopart. Res.*,10,1089,2008.
59. Gahill, D.G., W.K. Ford, K.E. Goodson, G.D. Mahan, A. Majumbar, H.J. Maris, R. Merlin, and S.R. Phillpol, *App. Phys, Rev.*,93,793,2003.
60. Tuwiner, J. Bitcoin mining in China 2017. Available online: <https://www.Bitcoinworldwide.com/mining/china/>.
61. Akbari, H., S. Menon, and A. Rosenfield, *Climate Change*,94,275,2009
62. Vincent, D. We Looked inside A secret Chinese Bitcoin Mine 2016. Available online: <http://www.bbc.com/future/story/20160504-we-looked-inside-a-secret-chineseBitcoin-mine>.

63. Inside the World of Chinese Bitcoin Mining 2018. Available online: <http://www.chinefile.com/multimedia/photo-gallery/inside-world-of-chinese-Bitcoinmining>.
64. Mihai, A.; Marincea, A., Ekenberg, L.A MCDM Analysis of the Rosia Montana; Gold Mining Project. Sustainability 2015,7,7261-7288.
65. Kalogirou, S.A., Prog. Energy Comb.Sci.,30,231,2004.
66. Kays, W.M., M.E. Crawford, and B. Weigand, Convective Heat and Mass transfer, 4th ed., McGraw-Hill Higher Education, Boston,2005.
67. Baczkowski L, Jacquet JC, Jardel Q, Gaquiere C, Moreau M, Cariseti D, Brunel L, Vouzalaund F, Mancuso Y., Thermal Characterization Using Optical Methods of AlGaIn/GaN Hemts on SiC, Substrate in RF Operating Conditions. IEEE Transactions On Electron Devices 2015; 62(12): 3992-3998.
68. Arora V., Siddiqui JA, Mulaveela R., Muniyappa A., Pulse Compression Approach to Nonstationary Infrared Thermal Wave Imaging for Nondestructive Testing of Carbon Fiber. IEEE Sensor Journal 2015; 15(2): 663-664.
69. Bader MK, Laux C, Guanci MM, Figueroa SA, Francis KE, Livesay SL, Mathiensen C: Translating Temperature Management from Theory to Practice. Therapeutic and Temperature Management 2016; 6(2)52-56.
70. Belicemi M, Stolz C, Mathieu A, Leimatre G, Massich J, Aubereton O., Nondestructive testing based on scanning-from heating approach: application to non through defect detection and fiber orientation assessment. Journal of Electronic Imaging 2015;24(6), 061112-061112.
71. Bock G., Won J., Ji T., Kim N. Feasibility Study on Active Infrared Thermographic investigation of wooden Tablets. International Conference on Power Electronics and Energy Engineering (PEEE) Apr 19-20, 2015 Hong Kong 2015:160-
72. Boye G., Schmidt J., Beayray F. Analyze of flow boiling heat transfer in narrow annular gaps applying the design of experiments method. Advanced in Mechanical Engineering 2015; 7(6), 1687814015584544.
73. Danielski I., Froling M., Diagnosis of buildings thermal Performance –A Quantitative Method Using thermography Under Non-Stage State Heat flow Energy Procedia 2015,83,320-329.
74. De Mey G., Felczak M., Wiecek B., Modeling and IR measurement of the electronic substrate thermal conductivity. Microelectronics Reliability 2015;55(1):138-
75. De Souza MA, Krefer AG, Benvenuti Borba G, Vizinoni E silva G.J., Franco APGO, Gamba HR. Generation of 3D thermal models for denistri models applications. Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering 2016; 2016-Oktober 1397-1400.
76. Tadeu A., Prata J., Simoes N., Dynamic simulation of three-dimensional heat conduction through cylindrical inclusion using BEM model formulated in the frequency domain. Applied Mathematics And Computation 2015; 261:397-407.
77. Son J.M., Lee J.H., Kim J., Cho Y.H., Temperature Distribution Measurement of Au-Micro-Heater in Microfluidic Channel using IR Microscope.International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2015;16(2):367-372.
78. Collier, J.G., and V. Wadekar, in G.F. Hewitt, Exec. Ed., Heat Exchanger Design Handbook, Section 2.7.2, Begell House, New York, 2002.
79. Yang, H.S., G.R. Bai, L.J. Thomson, and J.A. Eastman, Acta Materiala, 50, 2309, 2002.
80. Baehr, H.D., and Stephan, K., Heat Transfer, 2nd ed., Springer, Berlin, 2006.
81. Manglik, R.M., and A.E. Bergles, in J.P. Hartnet, T.F. Irvine, Y.I. Cho, and R.E. Greene, Eds., Advanced in Heat Transfer, Vol.36, Academic Press, New York, 2002.
82. Vashits, S., Kumar, and K.D.P. Nigam, Ind.Eng.Res.,473291,2008.
83. Rands, C., B.W. Webb, and D. Maynes, Int. J. Heat Mass Transfer, 492924, 2006.
84. Chander, S., and A. Ray, Energy Conversion and Mamanagement,46,2803, 2005.
85. John, J.E.A., and T.g. Keeith, Gas Dynamics, 3rd ed., Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2006.
86. Sparow, E.M., J.P. Abraham, and J.C.K. Tong, Int.J. Heat Mass Transfer, 47, 5285, 2004.

87. Radziemska, E., and W.M. Lewandowski, *Applied Energy*, 68, 347, 2001.
88. Schneeman M., Kirzatz T., Carius R., Rau U., Electric properties and carrier multiplication in breakdown sites in multi crystalline silicon solar cells. *Journal Applied Physics* 2015; 117(20), 205703.
89. Roy D., Chatterjee K., Tuli S., Characterization and Energy Absorption Efficiency Determination of LED, as an Effective Photo-thermal Extraction Source in lock-in Thermography. *IEEE Sensors Journal* 2015; 15(10):6010-6016.
90. Henda, R., Computer evaluation of exchange factors in thermal radiation, *Chemical Engineering Education*, 38, 126-131, 2004.
91. Lin, C.C. and C.C. Tsai, The relationship between students conception of learning engineering and preference for classroom and laboratory learning environments, *Journal of Engineering Education*, 98, 2, 193-204, 2009.
92. Moran, M.J., and H.N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, Wiley, Hoboken, NJ, 2004.
93. Bar-Cohen, A., and I. Madhusudan, *IEEE Trans. Components and Packaging Tech.*, 25, 584, 2002.
94. Feisel, L.D. and A.J. Rosa, The role of the laboratory in undergraduate engineering education, *Journal of Engineering Education*, 94, 1, 121-130, 2005.
95. Fraser, D.M., R. Pillay, L. Tjatindi, and J.M. Case, Enhancing the learning of fluid mechanics using computer simulations, *Journal of Engineering Education*, 96, 4, 381-388, 2007.
96. Johri, A. and B. Olds, Situated Engineering Learning: Bridging engineering education research and learning sciences, *Journal of Engineering Education*, 100, 1, 151-185, 2011.
97. <https://www.blocksai.hk/manuel/kak-raboti-bitcoin>
98. <https://miningpools.com>
99. <https://mining-cryptocurrency.ru/bitcoin/>
100. <https://99bitcoins.com/beginners-guide-to-mining/>
101. <https://bitcoin.org/en/>
102. <https://www.techpowerup.com/reviews/MC/>
103. <https://www.freecodecamp.org/how-bitcoin-mining-really-works/>
104. <https://cryptovoid.net/safe-mining-temp/>
105. <https://www.criptowibes.com/blog/2017/07/24/>

SUMMARY

The temperature value of any point of the multilayer structure can be used to design the structure of microelectronic devices. A conclusion section is not required. Although a conclusion may review the main points of the paper, do not replicate the abstract as the conclusion. A conclusion might elaborate on the importance of the work or suggest applications and extensions.

Considered optimal is this network, which provides the accuracy requirements for a minimum number of nodes. If the initial temperature distributions and the method of their determination at the boundary points of the network are known, then the required temperature field at each point is obtained.