

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ**Алексеев В.Ф.***Кандидат технических наук,**доцент кафедры «Проектирования информационно-компьютерных систем»
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники***Горбач А.П.***аспирант кафедры «Проектирования информационно-компьютерных систем»
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники***Хуторная Е.В.***магистрант кафедры «Проектирования информационно-компьютерных систем»
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь***SIMULATION OF THE CURRENT DENSITY DISTRIBUTION ON A PCB****Alexseev V.***PhD, Associate Professor of Information and Computer-Aided Systems Design department
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics***Horbach A.***postgraduate student of the Information and Computer-Aided Systems Design department
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics***Khutarnaya K.***master student of the Information and Computer-Aided Systems Design department
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus***АННОТАЦИЯ**

В данной статье приведен сравнительный анализ результатов моделирования распределения плотности тока в печатных проводниках для различных вариантов стека печатных плат и конфигураций трассировки.

ABSTRACT

This article provides a comparative analysis of the results of modeling the current density distribution in conductors for various options of PCB stackup and routing configurations.

Ключевые слова: Плотность тока, печатные платы, Altium Designer, моделирование.

Keywords: Current density, PCB, Altium Designer, simulation.

Введение

В электромагнетизме плотность тока представляет собой измерение электрического тока (расход заряда в амперах) на единицу площади поперечного сечения (м²) [1]. Это векторная величина, которая содержит как значение величины, так и направление. Единицей измерения плотности электрического тока в международной системе единиц (СИ) является ампер на квадратный метр.

Несмотря на то, что распределение плотности тока на печатной плате является одним из важнейших параметров анализа целостности цепи питания ПП, многие конструкторы пренебрегают моделированием этого параметра при PI анализе. Превышение стандартного [2] значения плотности тока может вызвать локальный нагрев на печатной плате, и, следовательно, вывести из строя весь электронный модуль.

Перед проектированием печатной платы стандартным является выполнение анализа цепи питания, чтобы убедиться, что параметры источника питания соответствуют потреблению напряжения всех элементов печатной платы. После того как эти параметры подтверждены, можно переходить к фактическому этапу проектирования печатной платы с уверенностью, что система будет работать

так, как задумано. Тем не менее, есть и другие аспекты, которые необходимо учитывать при переходе к проектированию печатной платы. Одним из таких соображений является плотность тока.

Значение плотности тока является одной из наиболее важных характеристик сети электропитания. Выводы элементов, которые не получают достаточного тока, вызовут неправильно истолкованную логику сигналов, а выводы, получившие слишком большое количество тока, приведут к деструктивным последствиям, вплоть до сбоя в работе печатной платы. Однако, при известном значении плотности тока печатных проводников конструктор может быть уверен, что величина тока находится между этими двумя крайностями.

Плотность тока влияет на каждый аспект конструкции – поток сигналов и тока во многом определяют срок службы любой печатной платы. Обеспечение правильной плотности тока в проводниках печатной платы легко достижимо с помощью специализированных программных продуктов и инструментов проектирования, и анализа. Использование Altium Designer PDN Analyzer для моделирования параметров цепи питания позволит печатной плате поддерживать адекватное напряжение, не перегружая печатные проводники слишком большой мощностью.

Подготовка к исследованию

Исследуемая печатная плата «Электрокардиоскоп на Android» [3] была выполнена в трех вариантах – двухслойная печатная плата, двухслойная печатная плата с полигонами цепей питания, четырехслойная печатная плата.

Для проведения моделирования необходимо указать номиналы цепей питания в расширении PDN Analyzer, а также значения параметров нагрузок. В таблице 1 представлены значения напряжения источника питания и потребляемого элементами тока исследуемой печатной платы.

Таблица 1

Элементы для анализа целостности питания [4-13]

Элемент	Назначение	Значение параметров
PLS-6	Источник	3,3 В
TLC2252AID	Нагрузка	5 мА
DG4053AEQ-T1-E3	Нагрузка	10 мА
CD74HC4052PW	Нагрузка	50 мА
TLC6482AIM	Нагрузка	40 мА
LTC1981ES5	Нагрузка	20 мА
PIC24FJ32GA002	Нагрузка	18 мА
TPS60403DBVT	Нагрузка	60 мА
MCP1640B(T)	Нагрузка	15 мА
RN42	Нагрузка	30 мА

Результаты исследований

Первое моделирование было проведено для двухслойной печатной платы с силовыми печатными проводниками шириной 50 мил. Для этого в проект печатной платы в *PDN Analyzer* были внесены значения параметров нагрузок цепей питания. Также *PDN Analyzer* позволяет промоделировать напряжение земли. Поскольку потенциал земли в электронике считается равным

нулю, а напряжение отсчитывается от данного узла [14], то моделирование этого участка силовой цепи является одним из важнейших.

Моделирование распределения плотности тока в печатных проводниках было проведено в режиме *Current density*. На рисунке 1 представлен результат моделирования распределения плотности тока во всех силовых цепях исследуемой печатной платы, а на рисунке 2 – возвратной цепи.

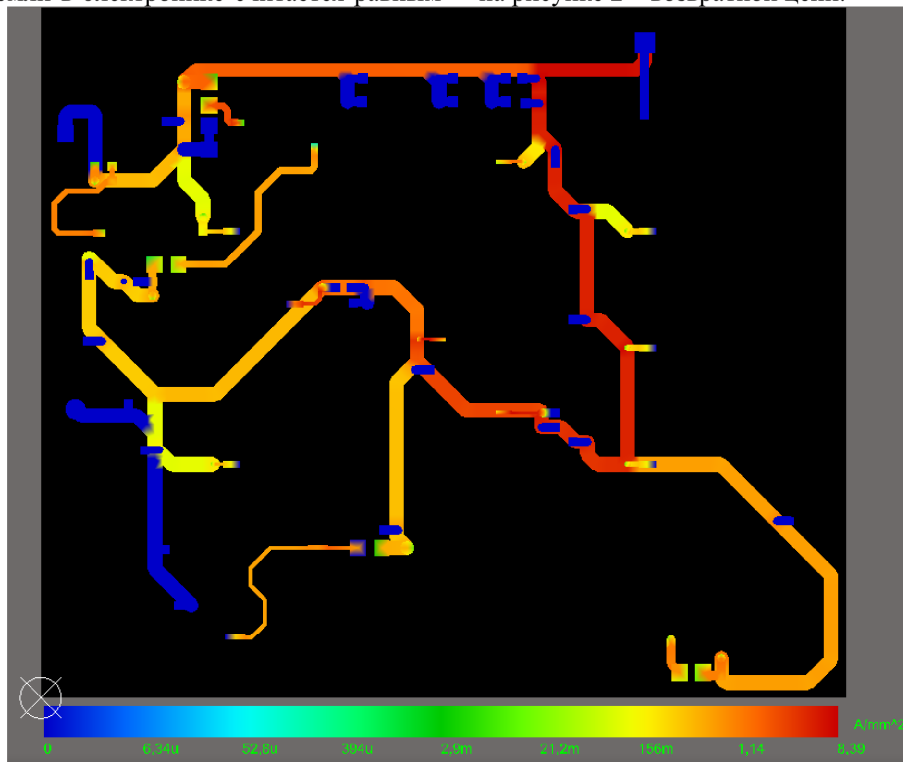


Рисунок 1. Результат моделирования плотности тока в силовой цепи

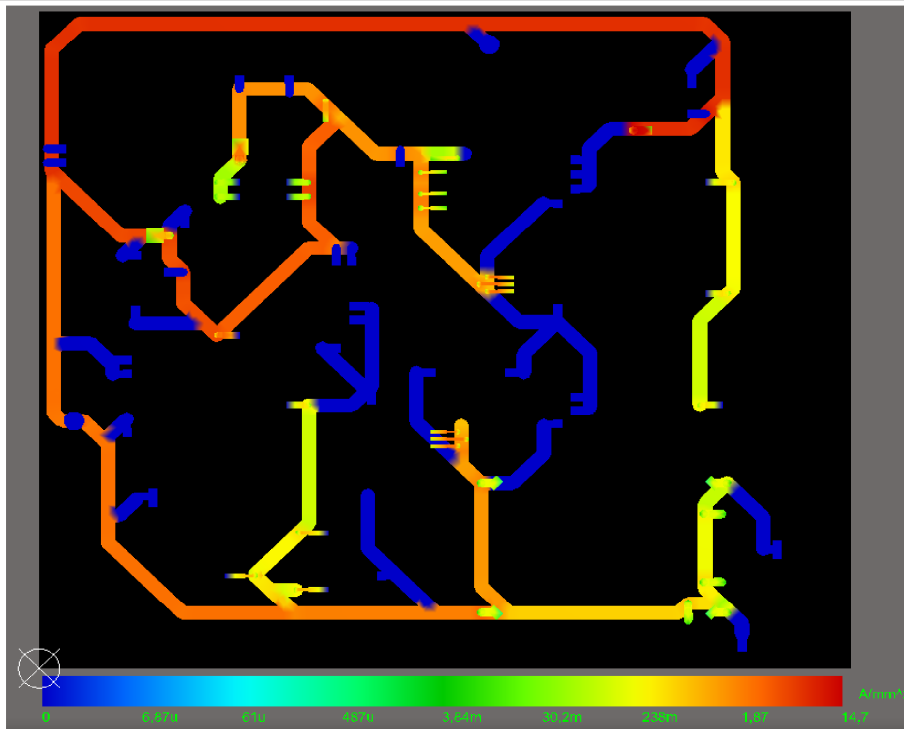


Рисунок 2. Результат моделирования плотности тока в возвратной цепи

Согласно ГОСТ 23751-86, допустимая токовая нагрузка на элементы проводящего рисунка для фольгированной меди в зависимости от допустимого превышения температуры проводника относительно температуры окружающей среды составляет 100-250 А/мм² [2]. Исходя из результатов моделирования, в печатной плате «Электрокардиоскоп на Android» максимальная плотность тока составляет 14,7 А/мм², что обусловлено использованием маломощных элементов в устройстве. Максимальное полученное значение плотности тока составляет чуть меньше 15% от до-

пустимого, что говорит о корректном выборе ширины печатных проводников силовых и возвратных линий, однако использование более широких проводников, уменьшит плотность тока на отдельных участках.

Поскольку изменения были выполнены только в трассировке печатных проводников, то значения параметров нагрузок останутся такими же. Результаты моделирования плотности тока силовой и возвратной цепей в двухслойной печатной плате с полигонами приведены на рисунках 3 и 4 соответственно.

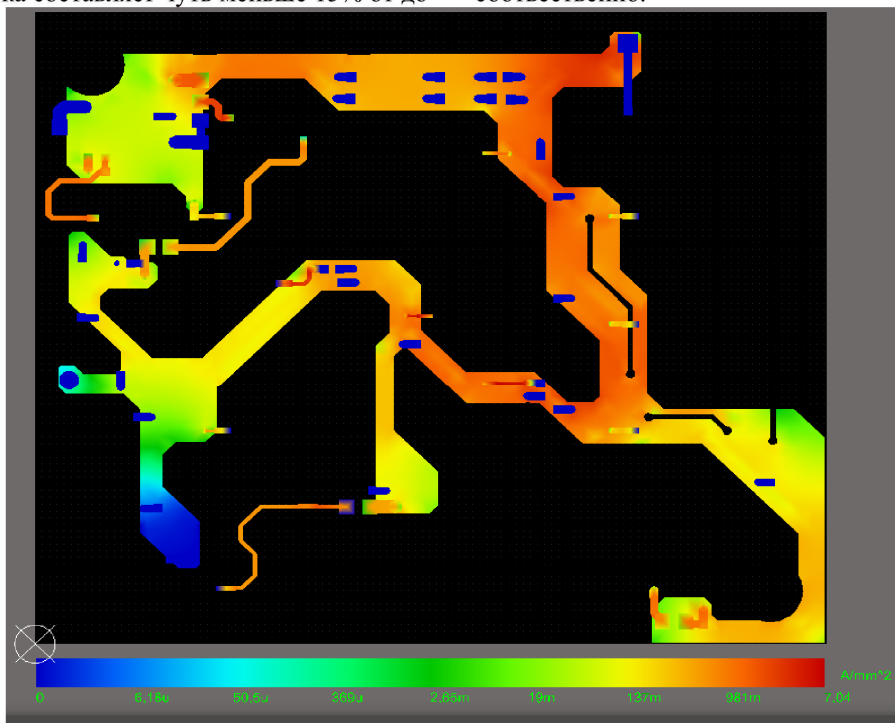


Рисунок 3. Результат моделирования плотности тока в полигоне цепи 3,3 В

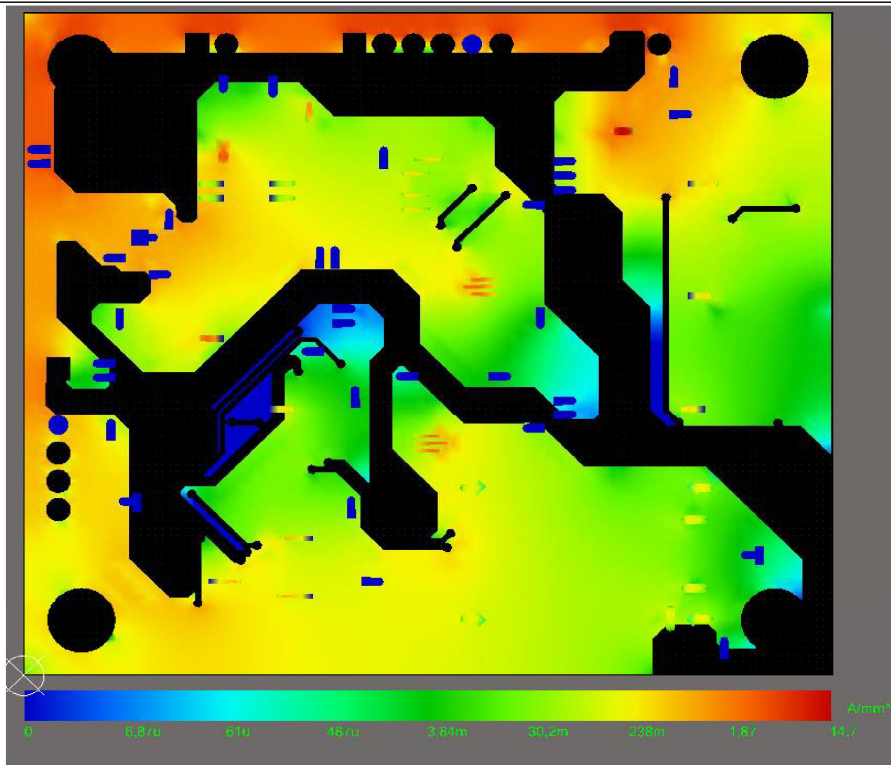


Рисунок 4. Результат моделирования плотности тока в полигоне цепи GND

Результаты моделирования распределения плотности тока в двухслойной печатной плате с полигонами показали, что наличие широких трасс уменьшает плотность тока в печатной плате, однако из-за высокой плотности печатного монтажа и большого количества рабочих напряжений в современных устройствах такая вариация печатной платы является трудновыполнимой. Изменение

стека печатной платы на многослойную позволит использовать внутренние слои как полигоны питания, а внешние – для трассировки цифровых и аналоговых сигналов.

Результаты моделирования плотности тока в цепи питания и земли в четырехслойной печатной плате приведены на рисунках 5 и 6.

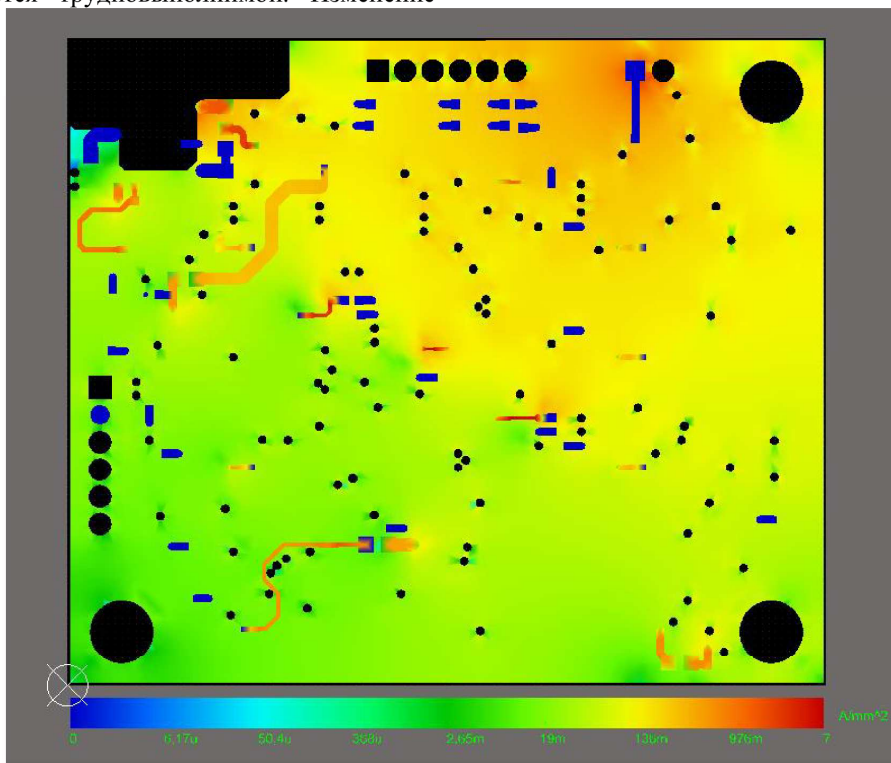


Рисунок 5. Результат моделирования плотности тока в полигоне цепи 3,3 В

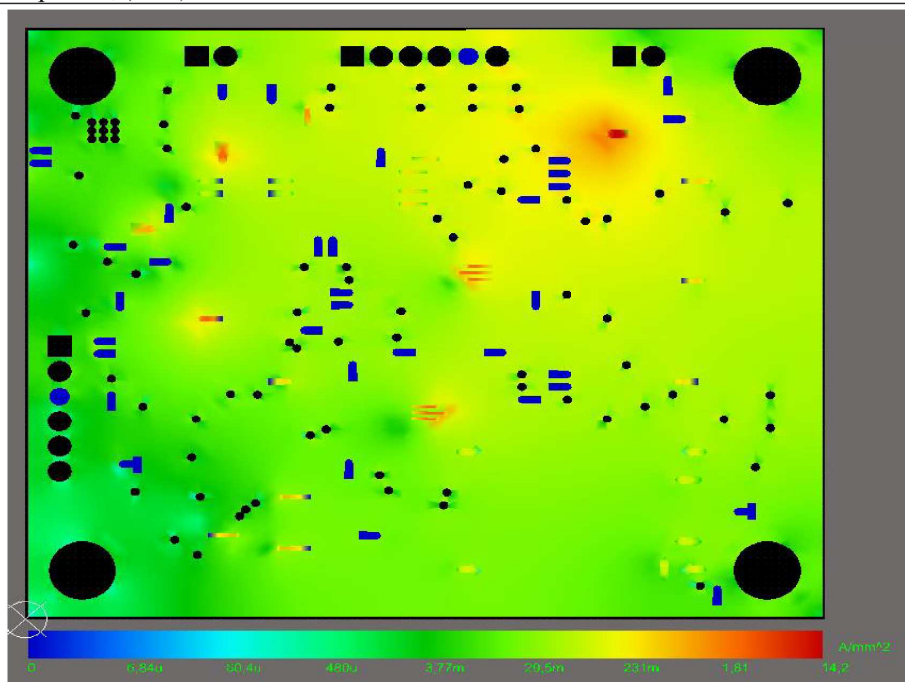


Рисунок 6. Результат моделирования плотности тока в полигоне цепи GND

Заключение

На основании полученных данных можно сделать вывод, что при использовании четырехслойной печатной платы с отдельными слоями со сплошными полигонами возвратной цепи и силовых линий значение плотности тока будет минимальным, что позволит элементам печатной платы использовать точное значение напряжения, подаваемое из внешнего источника питания. Поскольку значение параметра current density не превышает максимального стандартного по ГОСТ 23751-86 даже в наихудшем моделированном случае, а использование отдельных слоев для трассировки цепей питания уменьшает его в некоторых случаях в 13,7 раз, то перегрева отдельных участков печатной платы наблюдаться не будет

Литература

1. Current density [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Current_density.
2. ГОСТ 23751-86. Платы печатные. Основные параметры конструкции. – Введ. 1986-19-03. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 15 с.
3. Креммель, М. Android Elektor кардиоскоп / М. Креммель // Elektor. – 2013. – №7-8. – С.8–16.
4. M20-9990645 [Электронный ресурс]: Datasheet. – Режим доступа: <https://www.digikey.com/product-detail/en/harwin-inc/M20-9990645/952-2269-ND/3728233>.
5. TLC2252AIDR [Электронный ресурс]: Datasheet. – Режим доступа: <https://www.digikey.com/product-detail/en/texas-instruments/TLC2252AIDR/296-26729-1-ND/2255129>.
6. DG4053AEQ-T1-E3 [Электронный ресурс]: Datasheet. – Режим доступа: <https://www.digikey.com/product-detail/en/vishay-siliconix/DG4053AEQ-T1-E3/DG4053AEQ-T1-E3CT-ND/1850064>.
7. CD74HC4052PWR [Электронный ресурс]: Datasheet. – Режим доступа: <https://www.digikey.com/product-detail/en/texas-instruments/CD74HC4052PWR/296-17619-1-ND/710465>
8. LMC6482 [Электронный ресурс]: Datasheet. – Режим доступа: <https://www.ti.com/product/LMC6482>.
9. LTC1981ES5#TRPBF [Электронный ресурс]: Datasheet. – Режим доступа: <https://www.digikey.com/product-detail/en/linear-technology-analog-devices/LTC1981ES5-TRPBF/LTC1981ES5-TRPBFCT-ND/10129980>.
10. PIC24FJ32GA002-I/SS [Электронный ресурс]: Datasheet. – Режим доступа: <https://www.digikey.com/product-detail/en/microchip-technology/PIC24FJ32GA002-I-SS/PIC24FJ32GA002-I-SS-ND/1616636>.
11. TPS60403DBVT [Электронный ресурс]: Datasheet. – Режим доступа: <https://www.digikey.com/product-detail/en/texas-instruments/TPS60403DBVT/296-13418-1-ND/484487>.
12. MCP1640BT-I/CHY [Электронный ресурс]: Datasheet. – Режим доступа: <https://www.digikey.com/product-detail/en/microchip-technology/MCP1640BT-I-CHY/MCP1640BT-I-CHYCT-ND/2258618>
13. RN42-I/RM [Электронный ресурс]: Datasheet. – Режим доступа: <https://www.digikey.com/product-detail/en/microchip-technology/RN42-I-RM/740-1038-ND/2357707>
14. Земля (электроника) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Земля_\(электроника\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Земля_(электроника)).