

## СЕКЦИЯ 1. НАУКА

УДК: 004.94:621.382

EDN: [WESABY](https://wesaby.ru)



# Применение упрощенной модели Хаммерстада-Дженсена для оценки паразитных параметров проводников на металлокерамическом основании

**Е.Ю. Щучкин**

Национальный исследовательский университет Московский институт электронной техники, площадь Шокина, дом 1, г. Москва, г. Зеленоград, 124498, Россия

\*E-mail: [shchuchkin-pkims@yandex.ru](mailto:shchuchkin-pkims@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье предлагается метод для эвристической оценки паразитных параметров проводников на этапе схемотехнического проектирования на основе упрощенной модели микрополосковой линии Хаммерстада-Дженсена. Метод позволяет выбрать правильные схемотехнические решения на этапе разработки схемы DC-DC преобразователя на основе параметров технологического стека и длин цепей, когда отсутствует детальная информация о трассировке платы. В рамках работы было выполнено сравнение результатов расчета параметров проводников на многослойном керамическом основании DC-DC преобразователя по предложенному методу со значениями, полученными после экстракции топологии в САПР Sigrity Aurora. Показано, что относительная ошибка рассчитанных по предложенному способу значений индуктивности и емкости не превышает 88%, что является допустимым на предтопологическом этапе разработки устройства.

**Ключевые слова:** DC-DC преобразователь, паразитные параметры, металлокерамическое основание, экстракция топологии

## Application of a simplified Hammerstad-Jensen model for conductors parasitic parameters estimation on a ceramic-metal basement

**E.Yu. Shchuchkin**

National Research University of Electronic Technology, Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, Russia

\*E-mail: [shchuchkin-pkims@yandex.ru](mailto:shchuchkin-pkims@yandex.ru)

**Abstract.** This paper proposes a method for heuristic estimation of conductors parasitic parameters at the schematic design stage based on a simplified Hammerstad-Jensen microstrip line model. The method proposed allows to choose the correct schematic solutions at the stage of developing a DC-DC converter circuit based on the parameters of the technological stack and circuit net lengths, when there is no detailed information about the board trace. The results of multilayer DC-DC converter ceramic basement conductor's parameters computation with the proposed method were compared with the values obtained after topology extraction in Sigrity Aurora CAD. It is shown that the relative error of the values of inductance and capacitance calculated by the proposed method does not exceed 88%, which is acceptable at the pre-layout design stage.

**Keywords:** DC-DC converter, parasitic parameters, ceramic-metal basement, layout extraction

## 1. Введение

В современных системах радиоэлектронной аппаратуры предъявляются повышенные требования к системам питания цифровых вычислительных элементов и аналоговых узлов. Для питания ядер процессоров, микросхем и ПЛИС применяются DC-DC преобразователи, которые обеспечивают работу при повышенных токах потребления и обладают высокой надежностью. Для обеспечения минимального уровня шумов по цепям питания, запаса по фазе усилителя ошибки, правильного выбора элементной базы и предотвращения падения напряжения на полигонах питания необходимо еще на этапе схемотехнического проектирования учитывать паразитные параметры печатной платы и компонентов схемы [1].

Для вычисления паразитных параметров в современных системах автоматизированного проектирования (САПР) применяется процедура экстракции из разработанной топологии устройства [1, 2]. Процедура экстракции требует подробной информации о расположении проводников на плате, что делает её неприменимой на этапе разработки схемы. Для правильного выбора схемотехнических решений необходим эвристический метод, позволяющий выполнить приблизительную оценку паразитных параметров платы еще до разработки топологии.

Большинство стандартных методов инженерной оценки паразитных параметров рассчитаны на медные проводники на плате с диэлектриком типа FR-4 между слоями, что делает их малоприменимыми к основаниям, изготовленным по нестандартным технологиям. Так, например, DC-DC преобразователи выполняются на металлокерамических основаниях при применении в авиационной и космической технике [3,4]. Основание корпуса такого модуля преобразователя выполнено на керамике А440, которая представляет собой диэлектрический сплав  $Al_2O_3$  (Alumina) с проводниками на основе вольфрам-молибдена (Tungsten). Такой технологический стек является нестандартным и требует новых методов для оценки паразитных параметров проводников.

## 2. Постановка задачи

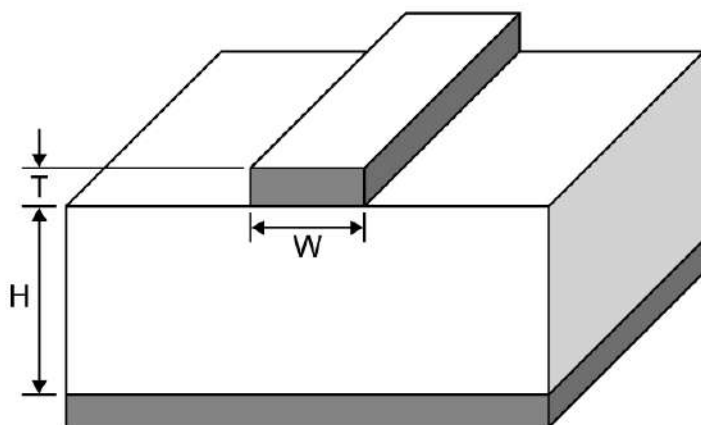
Существует несколько подходов к вычислению паразитных параметров проводников на печатной плате. Наиболее достоверные результаты можно получить при применении 3D-расчетчиков из состава, специализированных САПР. Однако такой

расчет занимает много времени и является неприменимым на этапе предтопологического анализа [5].

Поэтому для оценки паразитных составляющих проводников печатной платы используются 2D-методы с применением моделей проводников, позволяющих рассчитать погонные значения емкости, индуктивности, проводимости и сопротивления микрополосковой линии. На основе рассчитанных погонных значений и матрицы длин цепей может быть построена матрица паразитных параметров цепей анализируемой платы. Исходными данным для расчета служат параметры выбранного технологического стека, такие как:

- $W$  – ширина микрополосковой линии;
- $T$  – высота микрополосковой линии;
- $H$  – высота диэлектрического слоя;
- $\tan \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь;
- $\epsilon r$  – относительная диэлектрическая проницаемость изолирующего материала подложки.

Геометрические параметры микрополосковой линии представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Геометрические параметры микрополосковой линии.

В работе [6] показано, что модель микрополосковой линии Хаммestraда-Дженсена, применяемую в современных САПР, можно упростить. Такой подход должен позволить повысить скорость вычислений в ущерб точности. Однако на этапе предтопологического проектирования, когда основная цель заключается в приблизительной оценке параметров линий для проработки схемотехнических решений, к точности не предъявляются высокие требования. Достаточно оценить порядок

величин. Данное обстоятельство позволяет применять упрощенную модель, что должно повысить скорость расчетов для больших плат.

### 3. Методы и материалы исследования

Для апробации подхода с применением упрощенной модели микрополосковой линии Хаммстрада-Дженсена для оценки паразитных параметров была выбрана плата, понижающего DC-DC преобразователя на основе микросхемы LM26003 [7], выполненного на керамическом основании по технологии A440. Принципиальная электрическая схема преобразователя приведена на рисунке 2, а физическое размещение компонентов на основании отображено на рисунке 3. Технологический стек основания представляет из себя 13 слоев проводников на основе сплава вольфрам-молибдена, разделенных слоями Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

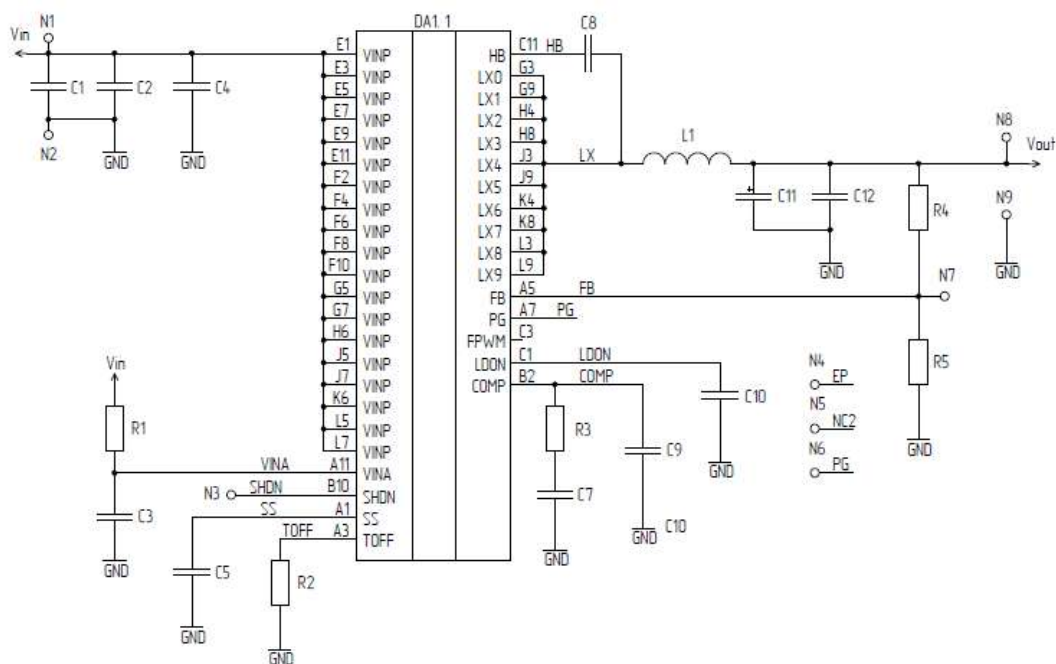
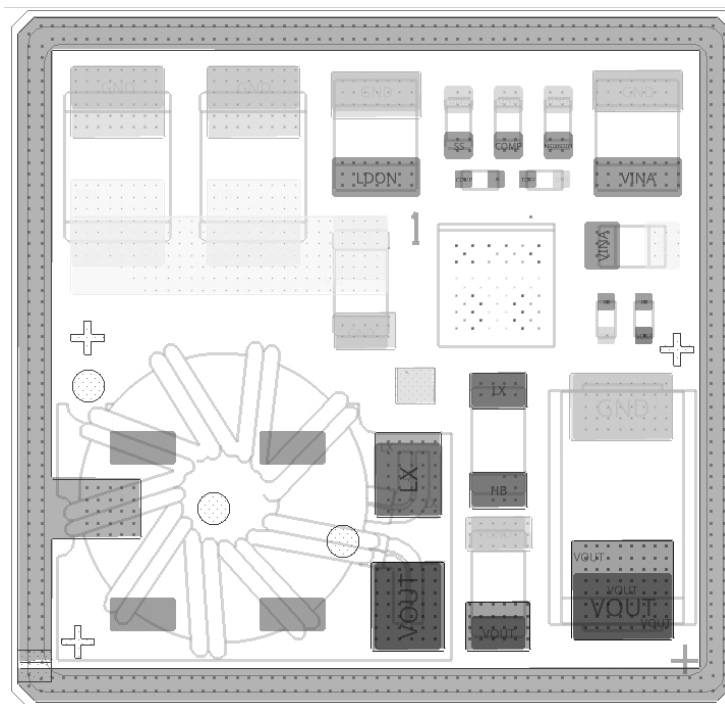


Рисунок 2. Принципиальная схема понижающего DC-DC преобразователя.



**Рисунок 3.** Размещение компонентов DC-DC преобразователя на керамическом основании.

Для вычисления паразитных параметров с помощью предложенной модели была разработана программа для MatLab. Входными параметрам для программы служат геометрические параметры из проводников, диэлектрическая проницаемость и длины цепей. Выходными данными являются рассчитанный импеданс, сопротивление, емкость и индуктивность цепей проводников.

Также паразитные параметры были экстрагированы из топологии преобразователя с помощью САПР Sigrity Aurora из программного пакета Cadence. Данные значения были приняты за опорные.

#### 4. Полученные результаты

В таблице 1 приведены значения паразитных параметров проводников на плате DC-DC преобразователя полученные в результате оценки с применением упрощенной модели Хаммстрада-Дженсена. Время оценки паразитных параметров с помощью разработанной программы для MatLab составило 0,059 сек.

В таблице 2 приведены значения паразитных параметров цепей платы, полученные в результате экстракции с помощью САПР Sigrity Aurora. Время анализа платы составило 10 сек.

Таблица 3 содержит данные об относительных ошибках вычисления импеданса, сопротивления, индуктивности и емкости цепей предложенным методом.

**Таблица 1.** Значения паразитных параметров цепей, полученные при применении упрощенной модели Хаммерстада-Дженсена.

Цепь	Длина, мкм	Импеданс, Ом	R, мОм	L, нГн	C, пФ
COMP	3802,2	25,0	26,803	0,815	0,858
LDON	1207,1	28,46	7,148	0,256	0,239
N9009303	2302,2	28,46	9,639	0,429	0,536
SS	3243,5	24,98	14,062	0,608	0,819
TOFF	2704,3	33,25	17,954	0,597	0,487

**Таблица 2.** Значения паразитных параметров цепей, полученные в результате экстракции с помощью Sigrity Aurora.

Цепь	Длина, мкм	Импеданс, Ом	R, мОм	L, нГн	C, пФ
COMP	3802,2	25,7	26,857	1,455	1,064
LDON	1207,1	29,2	7,162	0,408	0,363
N9009303	2302,2	29,2	9,658	0,693	0,759
SS	3243,5	25,7	14,090	1,057	1,040
TOFF	2704,3	33,8	17,990	1,122	0,661

**Таблица 3.** Относительные ошибки результатов расчета.

Цепь	Ошибка расчета импеданса, %	Ошибка расчета сопротивления, %	Ошибка расчета индуктивности, %	Ошибка расчета емкости, %
COMP	2,80	0,20	78,5	24,01
LDON	2,60	0,20	59,4	51,88
N9009303	2,60	0,20	61,54	41,60
SS	2,88	0,20	73,85	26,98
TOFF	1,65	0,20	87,94	35,73

## 5. Выводы

Применение упрощенной модели микрополосковой линии Хаммерстада-Дженсена позволяет оценить паразитные параметры проводников на этапе разработки схемы, когда отсутствует детальная информация о трассировке платы. В рамках работы было выполнено сравнение результатов расчета параметров проводников на

многослойном керамическом основании DC-DC преобразователя по предложенному методу со значениями, полученными после экстракции топологии в САПР Sigrity Aurora. Относительная ошибка значений сопротивления составила 0,2%, что объясняется ошибкой округления значения проводимости вольфрама. Относительная ошибка значений индуктивности и емкости не превышает 88%, что является допустимым на предтопологическом этапе разработки устройства.

### Список литературы

1. Потапов, Ю. Технология экстракции паразитных параметров для моделирования межсоединений / Ю. Потапов // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – № 6(18). – С. 72-76. – EDN MUDJOV.
2. Хромов, С. С. Экстракция параметров паразитных элементов в системе Calibre xRC для посттопологического моделирования матричных мультиплексоров / С. С. Хромов, А. А. Зайцев // Прикладная физика. – 2011. – № 4. – С. 72-75. – EDN NYDMFH.
3. Nobuo, K. "Multilayer ceramic circuit boards with copper conductors" / K. Nobuo, S. Aoki, Y. Imanaka, K. Niwa // Fourth IEEE/CHMT European International Electronic Manufacturing Technology Symposium. – 1988. – P. 10-13. doi: 10.1109/EEMTS.1988.75942
4. Мякочин, Ю. О. Малогабаритные DC/DC-преобразователи с низким выходным напряжением / Ю. О. Мякочин // Наноиндустрия. – 2020. – Т. 13. – № S4(99). – С. 309-312. – EDN XMOSLU. doi: 10.22184/1993-8578.2020.13.4s.309.312
5. Скоков, П. А. Экстракция паразитных параметров корпуса интегральной схемы с помощью пакета Keysight technologies ADS/EMPro / П. А. Скоков, С. А. Курдюков // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2014. – Т. 14. – № 3. – С. 79-82. – EDN TSNOHD.
6. Щучкин, Е. Ю. Решение задачи размещения элементов на печатной плате на основе упрощенной модели микрополосковой линии / Е. Ю. Щучкин // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС). – 2021. – № 3. – С. 43-49. doi:10.31114/2078-7707-2021-3-43-49
7. LM26003 data sheet, product information and support // Texas Instruments URL: <https://www.ti.com/product/LM26003> (дата обращения: 15.05.2022).