



## **PCB Calculator**

**15 мая 2020 г.**

---

# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Калькуляторы</b>	<b>2</b>
2.1	Регуляторы . . . . .	2
2.2	Ширина дорожки . . . . .	2
2.3	Электрический зазор . . . . .	3
2.4	Линия передачи . . . . .	3
2.5	СВЧ аттенюатор . . . . .	5
2.6	Цветовой код . . . . .	5
2.7	Классы плат . . . . .	6
2.7.1	Классы эффективности . . . . .	6
2.7.2	Типы плат . . . . .	6

---

*Справочное руководство*

## Авторские права

Авторские права © 2019 на данный документ принадлежит его разработчикам (соавторам), перечисленным ниже. Документ можно распространять и/или изменять в соответствии с правилами лицензии GNU General Public License (<http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>), версии 3 или более поздней, или лицензии типа Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), версии 3.0 или более поздней.

## Соавторы

Neitor de Bittencourt. Mathias Neumann

## Перевод

Барановский Константин <[baranovskiykonstantin@gmail.com](mailto:baranovskiykonstantin@gmail.com)>, 2019

## Отзывы

Оставить свои комментарии или замечания можно на следующих ресурсах:

- О документации KiCad: <https://gitlab.com/kicad/services/kicad-doc/issues>
- О программном обеспечении KiCad: <https://gitlab.com/kicad/code/kicad/issues>
- О переводе программного обеспечения KiCad: <https://gitlab.com/kicad/code/kicad-i18n/issues>

## Дата публикации и версия ПО

05 марта 2020 года

# 1 Введение

KiCad PCB Calculator — это набор инструментов, помогающих определить параметры компонентов или прочих параметров печатной платы. Калькулятор имеет следующие инструменты:

- Регуляторы
  - Ширина дорожки
  - Электрический зазор
  - Линия передачи
  - СВЧ аттенюатор
  - Цветовой код
  - Классы плат
-

## 2 Калькуляторы

### 2.1 Регуляторы

Этот калькулятор помогает определить сопротивление резисторов, необходимых для линейных регуляторов напряжения и регуляторов с низким падением напряжения.

The screenshot shows the 'Regulators' tab in the PCB Calculator. On the left is a schematic diagram of a voltage divider circuit. The input is labeled  $V_{in}$ , the reference voltage is  $V_{ref}$ , and the output is  $V_{out}$ . Two resistors,  $R_1$  and  $R_2$ , are connected in a voltage divider configuration. The software interface on the right has the following settings:

- $R_1$ : 10 кОм
- $R_2$ : 10 кОм
- $V_{out}$ : 12 В
- $V_{ref}$ : 3 В
- $I_{adj}$ : мкА
- Тип: Стандартный тип

The formula displayed at the bottom is:  $V_{out} = V_{ref} * (R_1 + R_2) / R_2$

Для стандартного типа регуляторов, выходное напряжение  $V_{out}$  является функцией от опорного напряжения  $V_{ref}$  и сопротивления резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , и вычисляется по формуле:

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right)$$

В случае с 3-х выводным типом регуляторов, коэффициент понижения напряжения основывается на величине стабильного тока  $I_{adj}$ , выходящего из вывода  $Adj$ :

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) + I_{adj} \cdot R_2$$

Опорный ток, обычно, не превышает 100 мкА и им можно пренебречь, если не требуется высокой точности.

Чтобы выполнить расчёт, введите параметры регулятора  $Tun$ ,  $V_{ref}$  и, если потребуется,  $I_{adj}$ . Выберите поле, которое требуется рассчитать (один из резисторов или выходное напряжение) и укажите оставшиеся два значения.

### 2.2 Ширина дорожки

Калькулятор ширины дорожки вычисляет ширину проводника на печатной плате для заданного тока и прироста температуры. Используются формулы из стандарта IPC-2221 (ранее IPC-D-275).

PCB Calculator

Регуляторы | Ширина дорожки | **Электрический зазор** | Линия передачи | СВЧ аттенуатор | Цветовой код | Классы плат

Параметры:

Ток:  А

Превышение температуры:  °C

Длина проводника:  мм

Удельное сопротивление:  Ом/м

Внешний слой трассировки:

Ширина трассировки:  мм

Толщина трассировки:  мм

Площадь поперечного сечения: 0,0105135 мм x мм

Сопротивление: 0,0327197 Ом

Падение напряжения: 0,0327197 В

Потери мощности: 0,0327197 Ватт

Внутренний слой трассировки:

Ширина трассировки:  мм

Толщина трассировки:  мм

Площадь поперечного сечения: 0,0273503 мм x мм

Сопротивление: 0,0125776 Ом

Падение напряжения: 0,0125776 В

Потери мощности: 0,0125776 Ватт

Если указать максимальный ток, то будет рассчитана соответствующая ширина трассировки.  
 Если указать одну трассировочную ширину, то будет рассчитан допустимый максимальный ток. Также будет рассчитана ширина других трассировок, допускающих данный ток.  
 Контрольные значения выделены жирным.

Вычисления справедливы для токов до 35 А (внешний) или 17,5 А (внутренний), повышение температуры до 100 °C и ширина до 10 мм (400 мил).  
 Формула из IPC 2221

$$I = K * dT^{0.44} * (W \cdot H)^{0.725}$$

где:  
**I** = максимальный ток в А  
**dT** = превышение температуры выше окружающей среды в °C  
**W, H** = ширина и толщина в мил

## 2.3 Электрический зазор

Эта таблица помогает определить минимальный зазор между проводниками.

В каждой строке таблицы указано рекомендуемое минимальное расстояние между проводниками для указанного диапазона напряжений (как для постоянного тока, так и для амплитуды переменного тока). Если нужно определить значения для напряжения больше 500В, введите значение в поле слева и нажмите кнопку *Обновить значения*.

PCB Calculator

Регуляторы | Ширина дорожки | **Электрический зазор** | Линия передачи | СВЧ аттенуатор | Цветовой код | Классы плат

мм

Напряжение > 500В:

Обновить значения

Примечание: минимальные значения (из IPC 2221)

	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
<b>0 ... 15В</b>	0,05	0,1	0,1	0,05	0,13	0,13	0,13
<b>16 ... 30В</b>	0,05	0,1	0,1	0,05	0,13	0,25	0,13
<b>31 ... 50В</b>	0,1	0,6	0,6	0,13	0,13	0,4	0,13
<b>51 ... 100В</b>	0,1	0,6	1,5	0,13	0,13	0,5	0,13
<b>101 ... 150В</b>	0,2	0,6	3,2	0,4	0,4	0,8	0,4
<b>151 ... 170В</b>	0,2	1,25	3,2	0,4	0,4	0,8	0,4
<b>171 ... 250В</b>	0,2	1,25	6,4	0,4	0,4	0,8	0,4
<b>251 ... 300В</b>	0,2	1,25	12,5	0,4	0,4	0,8	0,8
<b>301 ... 500В</b>	0,25	2,5	12,5	0,8	0,8	1,5	0,8
<b>&gt; 500В</b>	0,25	2,5	12,5	0,8	0,8	1,5	0,8

\* B1 - Внутренние проводники  
 \* B2 - Внешний проводник, без изоляции, высота до 3050м над уровнем моря  
 \* B3 - Внешний проводник, без изоляции, высота выше 3050м над уровнем моря  
 \* B4 - Внешние проводники с постоянным полимерным покрытием (любая высота)  
 \* A5 - Внешние проводники с конформным покрытием поверх монтажа (любая высота)  
 \* A6 - Внешние компоненты пайка/выводы, без покрытия  
 \* A7 - Внешние компоненты пайка/выводы, с конформным покрытием (любая высота)

## 2.4 Линия передачи

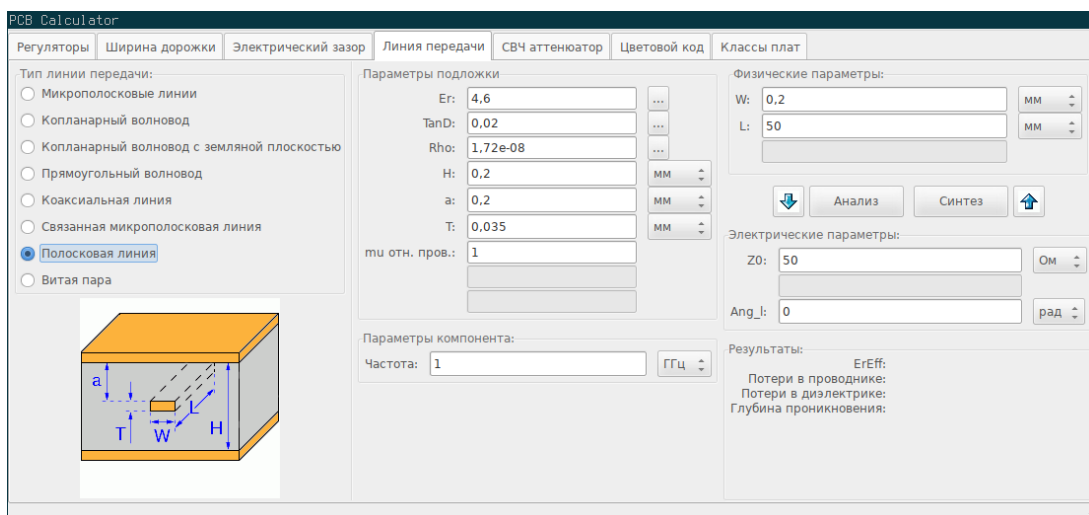
Теория линии передачи является основой знаний об СВЧ и проектировании микроволновых устройств.

В этом калькуляторе можно выбрать один из различных типов линий передач и задать желаемые параметры. Реализованные модели частотно-зависимы, поэтому их результаты расходятся с результатами более простых моделей на *очень* высоких частотах.

Этот калькулятор в большей степени основан на [Transcalc](#).

Ниже указаны типы линий передач и источники, в которых описываются их математические модели:

- Микрополосковые линии:
  - Н. А. Atwater, “Simplified Design Equations for Microstrip Line Parameters”, Microwave Journal, pp. 109-115, November 1989.
- Копланарный волновод.
- Копланарный волновод с земляной плоскостью.
- Прямоугольный волновод:
  - S. Ramo, J. R. Whinnery and T. van Duzer, ”Fields and Waves in Communication Electronics”, Wiley-India, 2008, ISBN: 9788126515257.
- Коаксиальная линия.
- Связанная микрополосковая линия:
  - Н. А. Atwater, “Simplified Design Equations for Microstrip Line Parameters”, Microwave Journal, pp. 109-115, November 1989.
  - M. Kirschning and R. H. Jansen, ”Accurate Wide-Range Design Equations for the Frequency-Dependent Characteristic of Parallel Coupled Microstrip Lines,” in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 32, no. 1, pp. 83-90, Jan. 1984. doi: 10.1109/TMTT.1984.1132616.
  - Rolf Jansen, ”High-Speed Computation of Single and Coupled Microstrip Parameters Including Dispersion, High-Order Modes, Loss and Finite Strip Thickness”, IEEE Trans. MTT, vol. 26, no. 2, pp. 75-82, Feb. 1978.
  - S. March, ”Microstrip Packaging: Watch the Last Step”, Microwaves, vol. 20, no. 13, pp. 83-94, Dec. 1981.
- Полосковая линия.
- Витая пара.



## 2.5 СВЧ аттенуатор

С помощью СВЧ калькулятора можно вычислить необходимое сопротивление резисторов для различных типов аттенуаторов:

- П-образный
- Т-образный
- Т-образный мост
- Резистивный разветвитель

Чтобы воспользоваться этим инструментом, сначала выберите тип аттенуатора, а затем введите желаемое ослабление (в дБ) и входной/выходной импеданс (в омах).

The screenshot shows the PCB Calculator interface for a resistive divider attenuator. The window title is "PCB Calculator" and the active tab is "СВЧ аттенуатор". The interface is divided into several sections:

- Аттенуаторы:** Radio buttons for "П-образный", "Т-образный", "Т-образный мост", and "Резистивный разветвитель" (selected).
- Параметры:**
  - Ослабление: 6 дБ
  - Z<sub>in</sub>: [ ] Ом
  - Z<sub>out</sub>: 50 Ом
- Значения:**
  - R1: [ ] Ом
  - R2: [ ] Ом
  - R3: [ ] Ом
- Сообщения:** [ ]
- Формула:**
  - Z<sub>in</sub> desired input impedance in Ω
  - Z<sub>out</sub> desired output impedance in Ω
  - Z<sub>in</sub> = Z<sub>out</sub>**
  - Attenuation is 6dB**
  - Splitted attenuator**
  - R1 = R2 = R3 = Z<sub>out</sub>/3**

## 2.6 Цветовой код

Этот калькулятор поможет перевести цветовой код резисторов и определить их номинал. Чтобы воспользоваться им, сперва укажите *точность* резистора: 10%, 5%, равно или меньше 2%. Например:

- Жёлтый Фиолетовый Красный Золотой:  $4\ 7\ \times 100\ 5\% = 4700\ \text{Ом} \pm 5\%$
- 1кОм, точность 1%: Коричневый Чёрный Чёрный Коричневый Коричневый



PCB Calculator						
Регуляторы	Ширина дорожки	Электрический зазор	Линия передачи	СВЧ аттенюатор	Цветовой код	Классы плат
1-я полоска	2-я полоска	3-я полоска	4-я полоска	Множитель	Точность	
Black 0	0	0	0	x 1		
Brown 1	1	1	1	x 10	± 1%	
Red 2	2	2	2	x 100	± 2%	
Orange 3	3	3	3	x 1k		
Yellow 4	4	4	4	x 10k		
Green 5	5	5	5	x 100k	± 0.5%	
Blue 6	6	6	6	x 1M	± 0.25%	
Violet 7	7	7	7	x 10M	± 0.10%	
Grey 8	8	8	8	x 100M	± 0.05%	
White 9	9	9	9	x 1G		
Gold				x 0.1	± 5%	
Silver				x 0.01	± 10%	

Точность  
 10% / 5%  
 ≤ 2%

## 2.7 Классы плат

### 2.7.1 Классы эффективности

В стандарте IPC-6011 определено три класса эффективности

Класс 1 "Общие электронные устройства" включает потребительские устройства, некоторые компьютеры и компьютерные комплектующие, в которых внешний вид не важен, а основные требования предъявляются к функционированию завершённой печатной платы.

Класс 2 "Специализированные электронные устройства" включает коммуникационное оборудование, сложную офисную технику, инструменты, для которых важны высокая точность и расширенный срок службы, а также желательна, но не обязательна, непрерывная работа. Допустимы незначительные дефекты во внешнем виде.

Класс 3 "Высоконадёжные электронные устройства" включает оборудование и устройства от которых требуется непрерывная эффективность, либо эффективность, предоставляемая по требованию. Отказ оборудования неприемлем и функциональность должна предоставляться по первому требованию, например в оборудовании для поддержания жизни или в системах управления полётом. Печатные платы этого класса применимы в устройствах, где требуется высокая надёжность и безотказная работа.

### 2.7.2 Типы плат

В IPC-6012B также определены 6 типов печатных плат:

- Печатные платы без металлизации сквозных контактных площадок (1)
  - 1 Single-Sided Board
- Печатные платы с металлизацией сквозных контактных площадок (2-6)
  - 2 Double-Sided Board
  - 3 Multilayer board without blind or buried vias
  - 4 Multilayer board with blind and/or buried vias

- 5 Multilayer metal core board without blind orburied vias
- 6 Multilayer metal core board with blind and/orburied vias

PCB Calculator

Регуляторы | Ширина дорожки | Электрический зазор | Линия передачи | СВЧ аттенюатор | Цветовой код | Классы плат

мм

*Примечание: минимальные значения*

	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5	Класс 6
Ширина дорожек	0,8	0,5	0,31	0,21	0,15	0,12
Мин. зазор	0,68	0,5	0,31	0,21	0,15	0,12
Перех.отв.: (диаметр - сверло)	--	--	0,45	0,34	0,24	0,2
Метал. конт.пл.: (диаметр - сверло)	1,19	0,78	0,6	0,49	0,39	0,35
Неметал. конт.пл.: (диаметр - сверло)	1,57	1,13	0,9	--	--	--