

# Calculator Tools

## Table of Contents

Введение .....	1
Калькуляторы .....	2
Регуляторы .....	2
СВЧ аттенюатор .....	3
E-Series .....	3
Цветовой код .....	4
Линия передачи .....	4
Размер переходного отверстия .....	6
Ширина дорожки .....	6
Электрический зазор .....	7
Классы плат .....	7

## Справочное руководство

### Авторские права

This document is Copyright © 2019-2021 by its contributors as listed below. You may distribute it and/or modify it under the terms of either the GNU General Public License (<http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>), version 3 or later, or the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), version 3.0 or later.

### Соавторы

Heitor de Bittencourt. Mathias Neumann

### Перевод

Барановский Константин <[baranovskiykonstantin@gmail.com](mailto:baranovskiykonstantin@gmail.com)>, 2019-2021

### Отзывы

The KiCad project welcomes feedback, bug reports, and suggestions related to the software or its documentation. For more information on how to submit feedback or report an issue, please see the instructions at <https://www.kicad.org/help/report-an-issue/>

## 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

## Калькуляторы

### Регуляторы

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

The screenshot shows the 'PCB Calculator' software interface. The 'Регуляторы' (Regulators) tab is active. On the left, a schematic diagram shows a voltage divider circuit with input  $V_{in}$ , a reference voltage  $V_{ref}$ , and two resistors  $R_1$  and  $R_2$  connected in series to the output  $V_{out}$ . The right side of the interface contains input fields:  $R_1$  (10 кОм),  $R_2$  (10 кОм),  $V_{out}$  (12 В),  $V_{ref}$  (3 В), and  $I_{adj}$  (мкА). A 'Рассчитать' (Calculate) button is present. Below the inputs, there are fields for 'Стабилизатор' (Regulator) and 'Файл стабилизаторов' (Regulator file), along with buttons for 'Обзор' (View), 'Редактировать стабилизатор' (Edit regulator), 'Добавить стабилизатор' (Add regulator), and 'Удалить стабилизатор' (Delete regulator). At the bottom, the formula  $V_{out} = V_{ref} * (R_1 + R_2) / R_2$  is displayed.

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:

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

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

## СВЧ аттенюатор

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

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

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

The screenshot shows the 'PCB Calculator' interface with the 'СВЧ аттенюатор' (RF Attenuator) tab selected. Under 'Аттенюаторы' (Attenuators), 'Резистивный разветвитель' (Resistive divider) is chosen. The 'Параметры' (Parameters) section shows 'Ослабление' (Attenuation) set to 6 dB, 'Zin' set to 50 Ohm, and 'Zout' set to 50 Ohm. A 'Рассчитать' (Calculate) button is visible. The 'Значения' (Values) section shows 'R1', 'R2', and 'R3' all set to 50 Ohm. The 'Сообщения' (Messages) section is empty. The 'Формула' (Formula) section displays:  $Z_{in} = Z_{out}$ , 'Attenuation is 6dB', 'Splitted attenuator', and  $R1 = R2 = R3 = Z_{out}/3$ . A circuit diagram on the left shows an input impedance  $Z_{in}$  connected to a resistor  $R1$ , which is in series with a parallel combination of resistors  $R2$  and  $R3$ . The output terminals are labeled  $Z_{out}$ .

## E-Series

Этот инструмент помогает определить комбинацию из стандартных E-series резисторов, которые образуют требуемое сопротивление, с возможностью исключать несколько номиналов резисторов, которых нет в наличии.

Стабилизаторы СВЧ аттенуатор E-Series Цветовой код Линия передачи Размер перех.отв. Ширина дорожки Электрический зазор Классы плат

Входные данные: Требуемое сопротивление:  кΩ  
 Исключить номинал 1:  кΩ  
 Исключить номинал 2:  кΩ

Решения: Простое решение:  Ошибка:  %  
 3 резистора:  Ошибка:  %  
 4 резистора:  Ошибка:  %

E1  E3  E6  E12  E24

Руководство пользователя  
 E-series определена в IEC 60063.  
 Доступные значения равномерно распределены по логарифмической шкале.  
 E24(5%): 1.0 1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1  
 E12(10%): 1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2  
 E6(20%): 1.0 - 1.5 - 2.2 - 3.3 - 4.7 - 6.8 -  
 E3(50%): 1.0 - - - 2.2 - - - 4.7 - - -  
 E1 : 1.0 - - - - - - - - - - -

- Данный калькулятор находит комбинации стандартных номиналов (от 10 до 1М Ом) для образования требуемого значения.
- Можно рассчитать произвольное сопротивление в диапазоне от 0.0025 до 4000 кОм.
- Решения состоят максимум из 4 компонентов.

По умолчанию, заданное значение исключается из результирующих значений. Дополнительно можно указать до двух значений, которые следует исключить из решения, если этих номиналов нет в наличии.

Решения представляются в следующем формате:  
 R1 + R2 + ... + Rn последовательное соединение  
 R1 | R2 | ... | Rn параллельное соединение  
 R1 + (R2|R3)... комбинация последовательного и параллельного соединений

## 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 x100 5% = 4700 Ом ±5%
- 1кОм, точность 1%: Коричневый Чёрный Чёрный Коричневый Коричневый

PCB Calculator

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

	1-я полоска	2-я полоска	3-я полоска	4-я полоска	Множитель	Точность
Black 0	0	0	0	0	x 1	
Brown 1	1	1	1	1	x 10	± 1%
Red 2	2	2	2	2	x 100	± 2%
Orange 3	3	3	3	3	x 1k	
Yellow 4	4	4	4	4	x 10k	
Green 5	5	5	5	5	x 100k	± 0.5%
Blue 6	6	6	6	6	x 1M	± 0.25%
Violet 7	7	7	7	7	x 10M	± 0.10%
Grey 8	8	8	8	8	x 100M	± 0.05%
White 9	9	9	9	9	x 1G	
Gold					x 0.1	± 5%
Silver					x 0.01	± 10%

Точность:  10% / 5%  ≤ 2%

## 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:

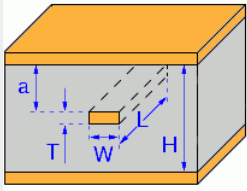
- Микрополосковые линии:
  - Н. А. Atwater, "Simplified Design Equations for Microstrip Line Parameters", Microwave Journal, pp. 109-115, November 1989.
- Копланарный волновод.
- Копланарный волновод с земляной плоскостью.
- Прямоугольный волновод:
  - S. Ramo, J. R. Whinnery and T. van Duzer, "Fields 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.

PCB Calculator

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

Тип линии передачи:

- Микрополосковые линии
- Копланарный волновод
- Копланарный волновод с земляной плоскостью
- Прямоугольный волновод
- Коаксиальная линия
- Связанная микрополосковая линия
- Полосковая линия
- Витая пара



Параметры подложки

Er: 4,6  
 TanD: 0,02  
 Rho: 1.72e-08  
 H: 0,2 мм  
 a: 0,2 мм  
 T: 0,035 мм  
 $\mu$ и отн. пров.: 1

Параметры компонента:

Частота: 1 ГГц

Физические параметры:

W: 0,2 мм  
 L: 50 мм

Анализ | Синтез

Электрические параметры:

Z0: 50 Ом  
 Ang\_l: 0 рад

Результаты:

ErEff:  
 Потери в проводнике:  
 Потери в диэлектрике:  
 Глубина проникновения:

## Размер переходного отверстия

Инструмент Размер перех.отв. вычисляет электрические и температурные свойства образуемого металлизированного переходного отверстия или сквозной контактной площадки.

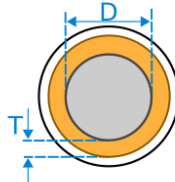
Стабилизаторы | СВЧ attenuator | E-Series | Цветовой код | Линия передачи | **Размер перех.отв.** | Ширина дорожки | Электрический зазор | Классы плат

Настройки

Итоговый диаметр отверстия (D): 0,4 мм  
 Толщина металлизации (T): 0,035 мм  
 Длина перех.отв.: 1,6 мм  
 Диаметр конт.пл. перех.отв.: 0,6 мм  
 Диаметр перех.отв. с зазором: 1 мм  
 Z0: 50 Ω  
 Пропускаемый ток: 1 А  
 Удельное сопр. метал.: 1.72e-8 Ω·m  
 Отн. диэл. проницаемость подложки: 4,5  
 Повышение температуры: 10 °C  
 Время нарастания импульса: 1 нс

Результаты:

Сопротивление: 0,000575362 Ω  
 Падение напряжения: 0,000575362 V  
 Потери мощности: 0,000575362 Вт  
 Термическое сопротивление: 83,2937 °C/W  
 Допустимый ток: 2,9993 A  
 Ёмкость: 0,599508 пФ  
 Увеличение времени нарастания: 32,9729 пс  
 Индуктивность: 1,20723 нГн  
 Реактивное сопротивление: 3,79262 Ω



По умолчанию

## 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/мм

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

$$I = K * \Delta T^{0.44} * (W * H)^{0.725}$$

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

## 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)

## Классы плат

### Классы эффективности

В стандарте IPC-6011 определено три класса эффективности

- **Class 1 General Electronic Products:** Includes consumer products, some computer and computer peripherals suitable for applications where cosmetic imperfections are not important and the major requirement is function of the completed printed board.

**Class 2 Dedicated Service Electronic Products:** Includes communications equipment, sophisticated business machines, instruments where high performance and extended life is required and for which uninterrupted service is desired but not critical. Certain cosmetic imperfections are allowed.

- **Class 3 High Reliability Electronic Products:** Includes the equipment and products where continued performance or performance on demand is critical. Equipment downtime cannot be tolerated and must function when required such as in life support items or flight control systems. Printed boards in this class are suitable for applications where high levels of assurance are required and service is essential.

## Типы плат

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

- Печатные платы без металлизации сквозных контактных площадок (1)
  - 1 Односторонние платы
- Печатные платы с металлизацией сквозных контактных площадок (2-6)
  - 2 Двухсторонние печатные платы
  - 3 Многослойные печатные платы без глухих или внутренних переходных отверстий
  - 4 Многослойные печатные платы с глухими или внутренними переходными отверстиями
  - 5 Многослойные печатные платы с металлическим ядром и без глухих или внутренних переходных отверстий
  - 6 Многослойные печатные платы с металлическим ядром и с глухими или внутренними переходными отверстиями

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	--	--	--