



# Расчёт импеданса дорожек печатной платы в ELCUT



**Ольга Карасёва**

Заместитель коммерческого директора

Вступительное слово



**Александр Любимцев**

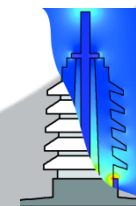
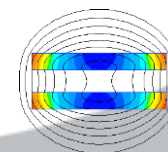
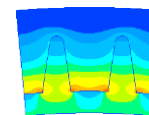
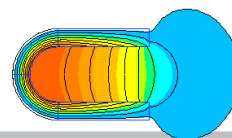
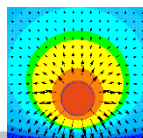
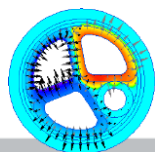
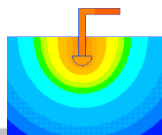
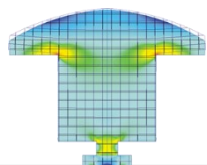
Инженер технической поддержки

Демонстрация примеров в ELCUT



# Программный комплекс ELCUT

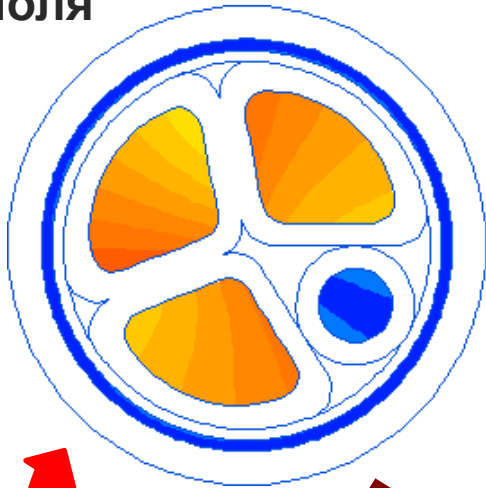
Набор для магнитных расчётов	
Магнитные задачи	Магнитостатика
	Магнитное поле переменных синусоидальных токов
	Нестационарное магнитное поле
Набор для электрических расчётов	
Электрические задачи	Электростатика и электрическое поле постоянных токов
	Электрическое поле переменных синусоидальных токов
	Нестационарное электрическое поле
Набор для тепловых и механических расчётов	
Тепловые и механические задачи	Стационарная теплопередача
	Нестационарная теплопередача
	Анализ упругих деформаций





# Мультифизика (2D)

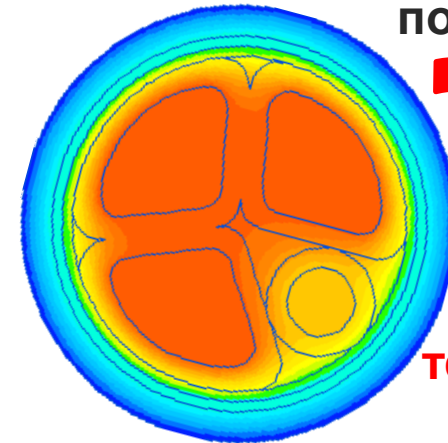
Электромагнитные поля



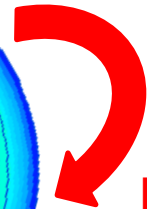
Джоулево тепло



Температурные поля



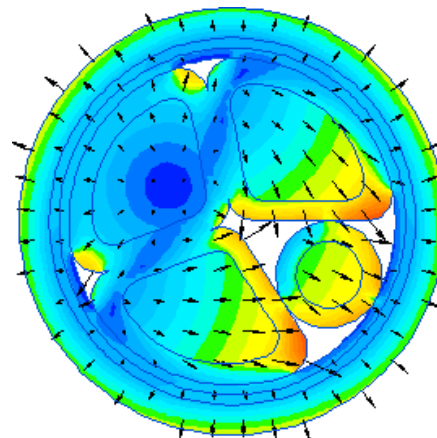
Импорт начальной температуры



Термические напряжения

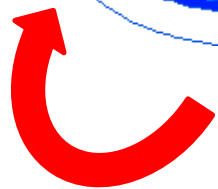


Силы



Напряжения и деформации

Импорт магнитного состояния





# Мультифизика (2D)

Задача-источник

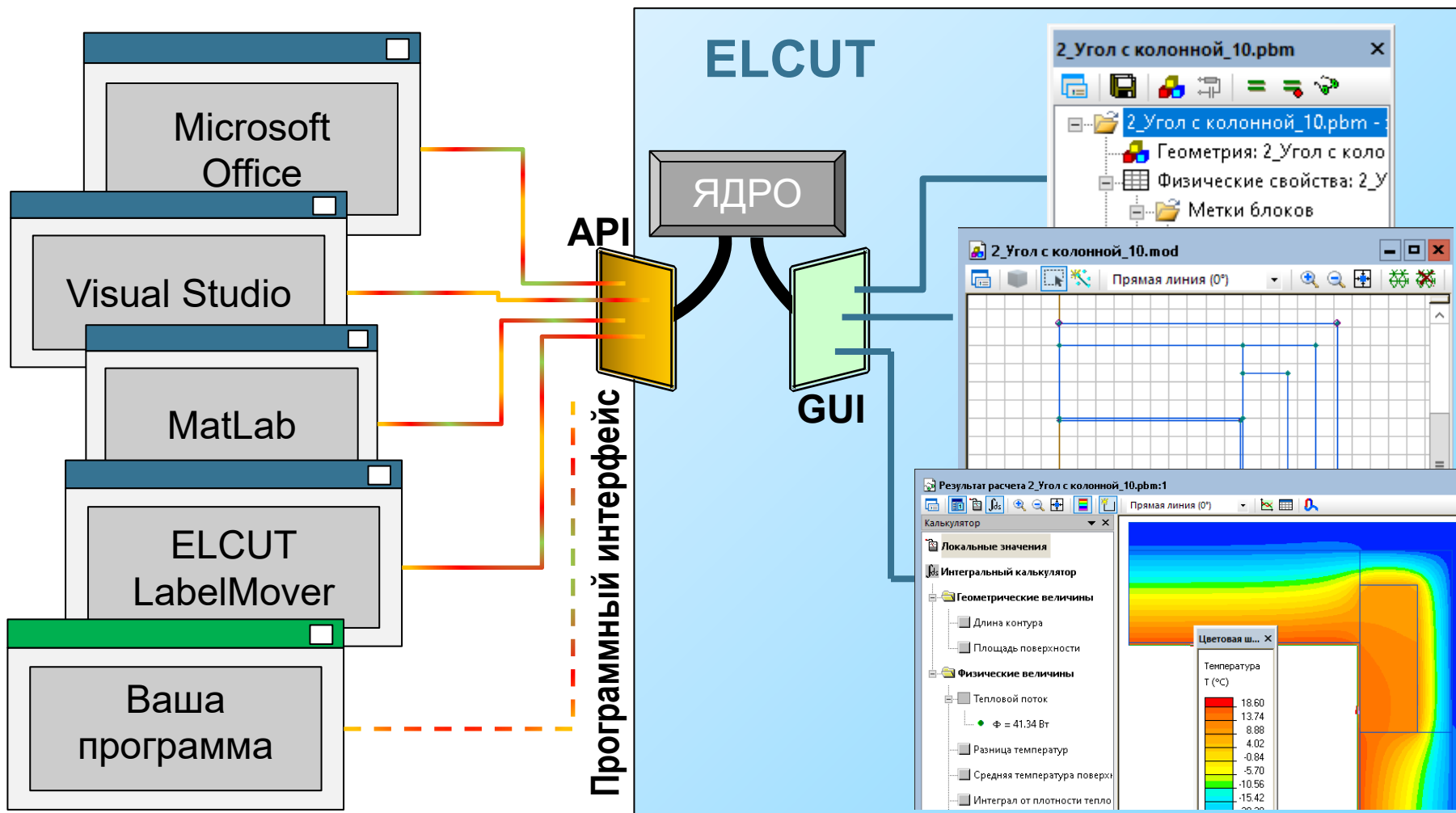
---> | **Передаваемые данные** | --->

Задача-приемник

Источник:	Магнитостатика	Магнитное поле синусоидальных токов	Нестационарное магнитное поле	Теплопередача	Нестационарная теплопередача	Упругие деформации
Магнитостатика	Магнитная проницаемость	Магнитная проницаемость	Начальное распределение магнитного поля			Силы
Магнитное поле синусоидальных токов				Мощность тепловыделения	Мощность тепловыделения	Силы
Нестационарное магнитное поле			Начальное распределение магнитного поля	Мощность тепловыделения	Мощность тепловыделения	Силы
Электростатика						Силы
Электрическое поле постоянных токов				Мощность тепловыделения	Мощность тепловыделения	
Электрическое поле переменных токов				Мощность тепловыделения	Мощность тепловыделения	Силы
Теплопередача		Температуры			Начальное распределение температуры	Температуры
Нестационарная теплопередача		Температуры			Начальное распределение температуры	Температуры



# Открытый объектный интерфейс





# Расчёт импеданса дорожек печатной платы в ELCUT



**Александр Любимцев**

Инженер технической поддержки

Демонстрация примеров в ELCUT

1. Собственный импеданс одиночного проводника  $Z_0$
2. Импеданс дифференциальной линии  $Z_{diff}$
3. Эквивалентная электрическая цепь
4. Потери в проводниках и диэлектрике
5. Пересечение проводников на печатной плате 3D
6. Матрица ёмкостей,  
матрица индуктивностей



# Импеданс поверхностной микрополосковой линии



Диэлектрик

$$\varepsilon = 4.3$$

$$\mu = 1$$

H

## Исходные данные:

$$W = 200 \text{ мкм (7,9 мил)}$$

$$T = 35 \text{ мкм (1,38 мил)}$$

$$H = 420 \text{ мкм (16,5 мил)}$$

$$f = 100 \text{ МГц}$$

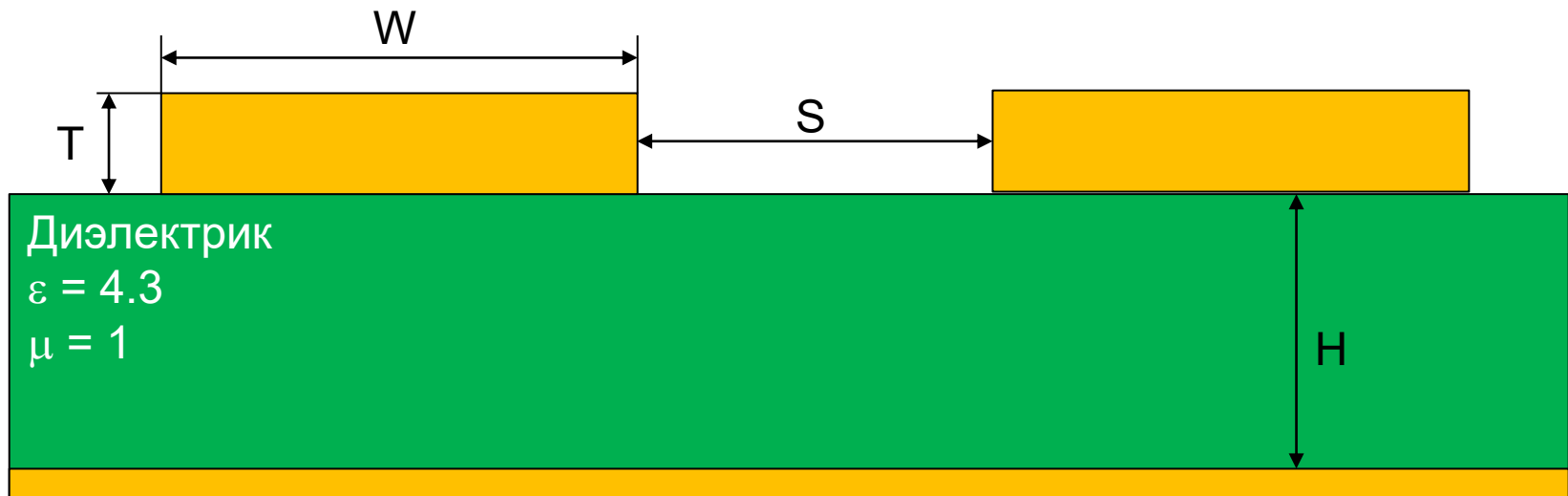
## Задание:

Посчитать импеданс  
одиночного проводника

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$$



# Импеданс поверхностной дифференциальной линии



## Исходные данные:

$W = 200$  мкм (7,9 мил)

$T = 35$  мкм (1,38 мил)

$H = 420$  мкм (16,5 мил)

$f = 100$  МГц

$S = 130$  мкм (5,1 мил)

## Задание :

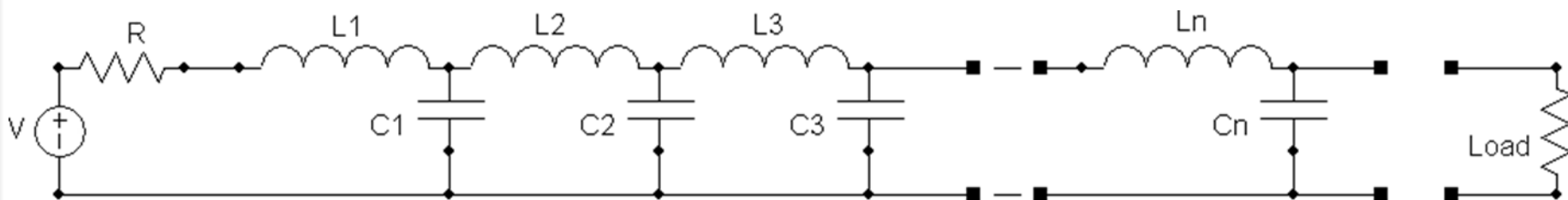
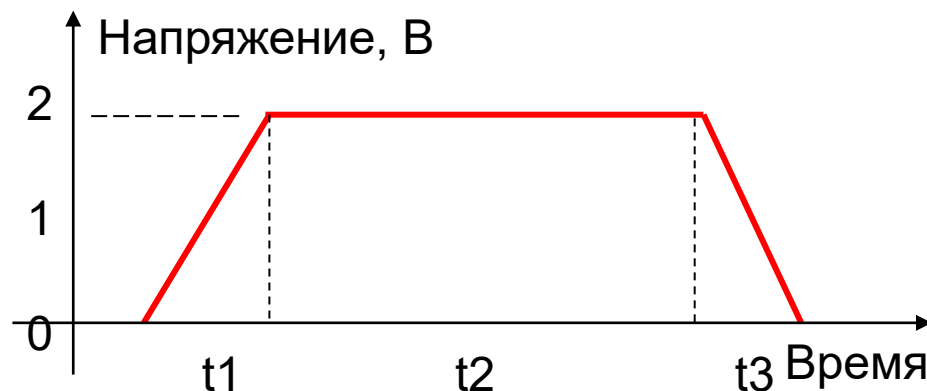
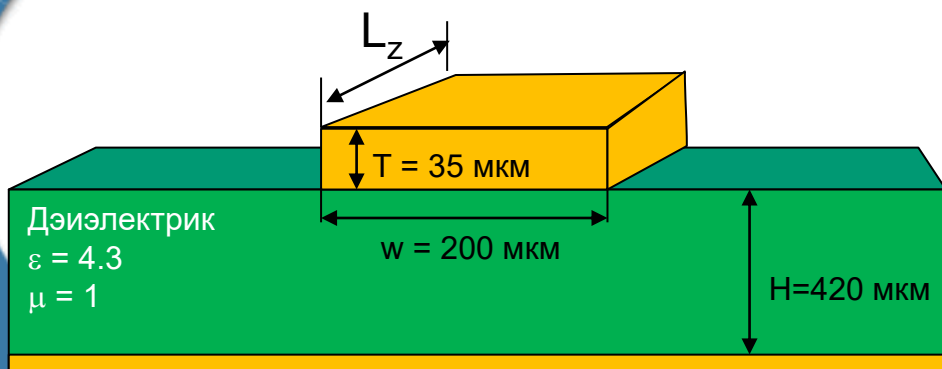
Посчитать импеданс  $Z_{\text{дифф}}$

$$Z_{\text{дифф}} = \sqrt{\frac{L_{\text{дифф}}}{C_{\text{дифф}}}}$$





# Эквивалентная электрическая цепь



## Исходные данные:

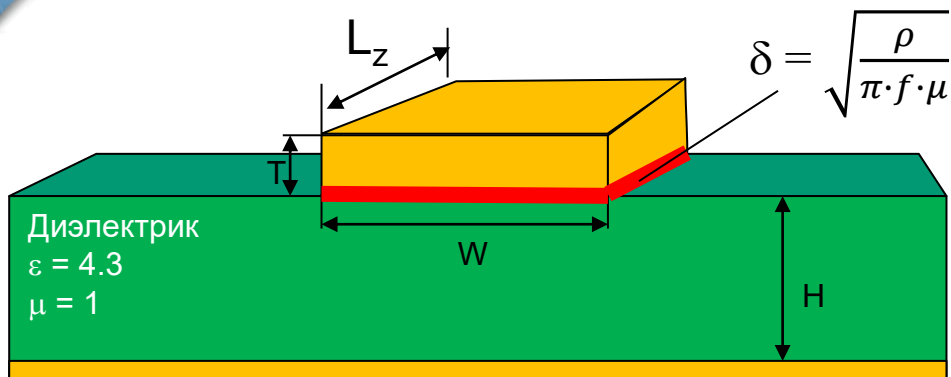
$L = 67 \text{ нГн}$                        $t_1 = 0.25 \text{ нс}$   
 $C = 7.8 \text{ пкФ}$                        $t_2 = 5 \text{ нс}$   
 $L_z = 5 \text{ дюймов}$                        $t_3 = 0.25 \text{ нс}$   
Число сегментов     $n = 30$

## Задание :

Рассчитать  
распространение  
импульса напряжения



# Потери в проводниках и диэлектрике



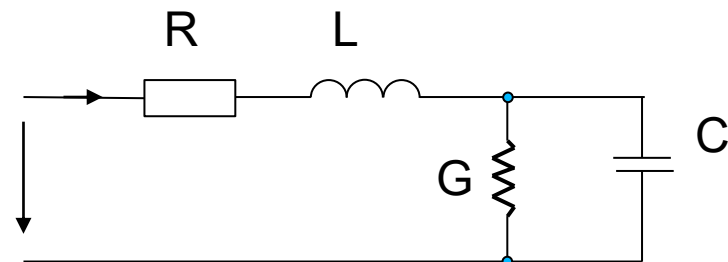
Сопротивление на переменном токе

$$R_{ac} \sim \frac{\rho}{W\delta} = \frac{\sqrt{\rho \cdot \mu \cdot \pi f}}{W}$$

$\delta$  – эффективная глубина протекания тока

## Задание:

Посчитать сопротивление дорожек и эффективную электропроводность диэлектрика



Комплексная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = \epsilon' - j \cdot \epsilon''$

Тангенс угла диэлектрических потерь  $\tan(\delta_d) = \epsilon'' / \epsilon'$

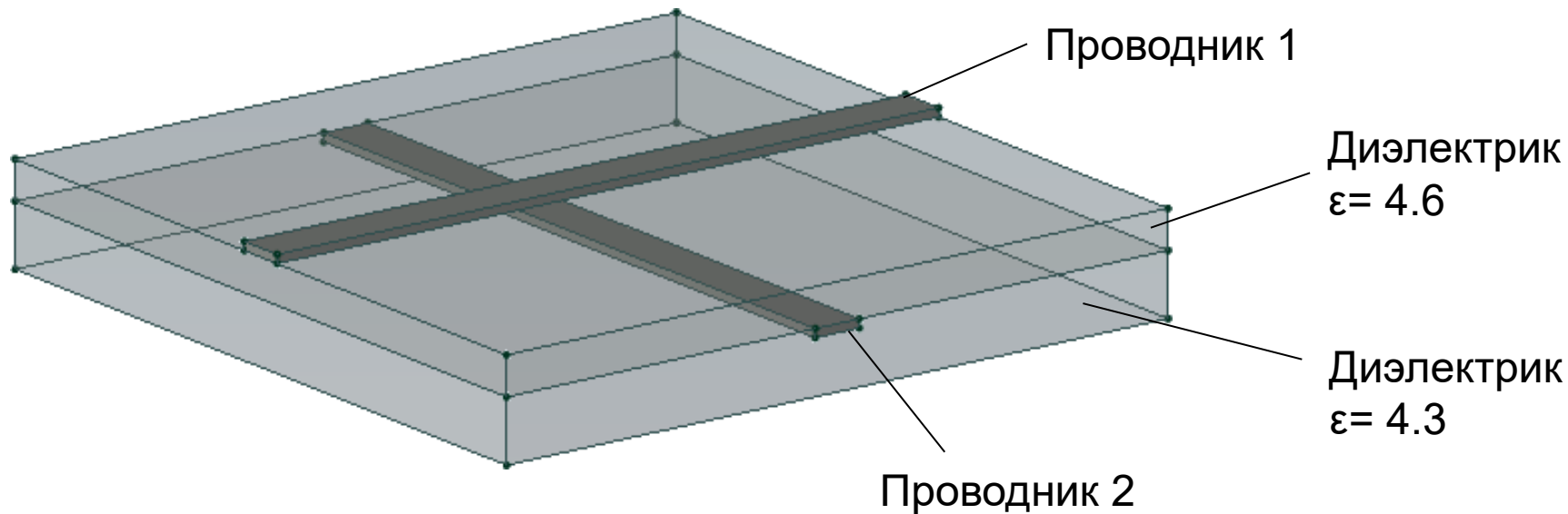
Эффективная электропроводность  $\gamma = 2\pi f \cdot \epsilon' \cdot \tan(\delta_d)$

## Исходные данные:

$L = 67$  нГн       $f = 100$  МГц  
 $C = 7.8$  пкФ       $\tan(\delta_d) = 0.018$   
 $L_z = 1$  дюйм



# Пересечение проводников на печатной плате



## Исходные данные:

$f = 500$  МГц

## Задание:

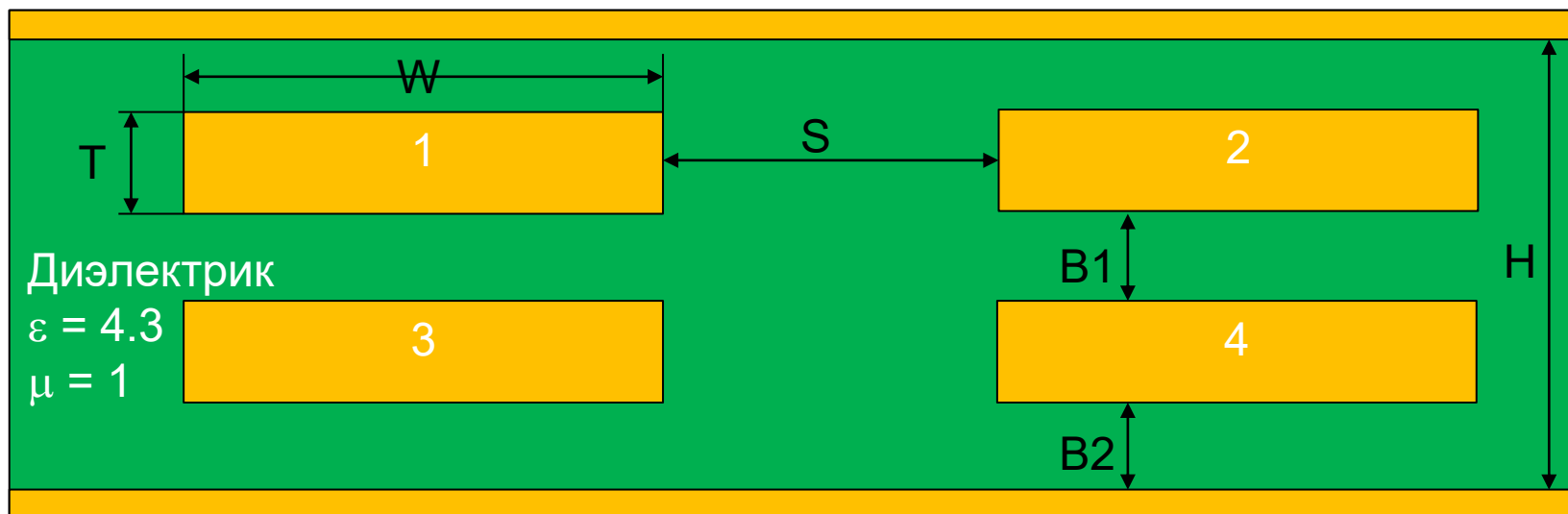
Определить взаимную ёмкость между проводниками

Daniel G. Swanson, Jr. [What's My Impedance?](#)  
IEEE Microwave Magazine, © IEEE  
December 2001

$$L = \frac{1}{c^2 \cdot C_0 \cdot \epsilon_0}$$



# Матрица ёмкостей, матрица индуктивностей



## Исходные данные:

$W = 200$  мкм (7,9 мил)     $S = 130$  мкм  
 $T = 35$  мкм (1,38 мил)     $B1 = 150$  мкм  
 $H = 420$  мкм (16,5 мил)     $B2 = 100$  мкм  
 $f = 100$  МГц

## Задание:

Посчитать матрицу взаимных и собственных емкостей и индуктивностей

	GND	1	2	3	4
1	C0				
2	C0				
3	C0				
4	C0				