

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ
В AWR DESIGN ENVIRONMENT**

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Томск 2018

1 Введение

От линии передачи зависит скорость и качество передачи сигнала (неравномерность волнового сопротивления приводит к появлению искажений в сигнале). Поэтому согласование сигналов и линий крайне необходимо практически в любом современном цифровом устройстве. И решение этой проблемы возлагается не только на разработчика схемы, но и на конструктора печатной платы. Именно от него зависит, насколько грамотно будут решены все вопросы согласования линий передачи.

Цель работы получить навыки проектирования и моделирования микрополосковых и коаксиальных линий передачи в среде AWR Design Environment и при помощи подпрограммы TXLINE.

2 Порядок выполнения работы

1. Рассчитать зависимость волнового сопротивления ρ от ширины микрополосковой линии W (рис. 1) с заданными параметрами подложки (табл. 1) в диапазоне ширин линии от 0,2 до 20 мм по формуле, приведенной ниже. Построить рассчитанную зависимость в виде графика. Определить по графику ширину полоски W_{50} , соответствующую волновому сопротивлению линии 50 Ом.

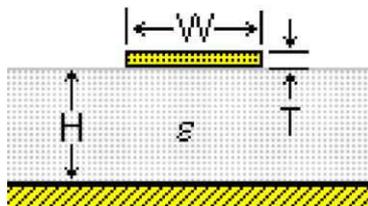


Рисунок 1. Поперечное сечение микрополосковой линии

$$\rho = \frac{377H}{W\sqrt{\varepsilon} \left[1 + 1,735\varepsilon^{-0,0724} \left(\frac{W}{H} \right)^{-0,836} \right]}, \text{ Ом.}$$

2. Определить эффективную диэлектрическую проницаемость подложки для $W = W50$:

$$\varepsilon_{\text{эф}} = \frac{\varepsilon + 1}{2} + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left(1 + \frac{10H}{W} \right)^{-1/2}$$

3. Рассчитать и построить зависимость длины волны в линии от частоты по в полосе от 1 до 10 ГГц:

$$\lambda_{\text{л}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{\text{эф}}}}$$

4. Для заданной диэлектрической проницаемости заполнения коаксиальной линии и диаметра внутреннего проводника d (табл. 2) рассчитать зависимость волнового сопротивления от диаметра внешнего проводника d_0 , изменяя его в пределах от d_i до $10 d_i$.

$$\rho = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \left(\frac{d_0}{d_i} \right), \text{ Ом}$$

Таблица 1 Параметры подложки микрополосковых линий

№ вар.	Диэлектрик подложки	H , мм	ε	$\text{tg}\delta$, $\times 10^{-3}$	Частота, ГГц
1	Полистирол с наполнителем СТ-16	2	16	3	1
2	Арилокс с наполнителем ФЛАН-10	2	10	1,5	2
3	Поликор	2	9,6	0,1	3
4	Фторопласт ФФ-4	2	2,1	0,3	4
5	Арилокс с наполнителем ФЛАН-3,8	2	3,8	1,2	5
6	Фторопласт армированный ФАФ-4	1	2,6	1	6
7	Арилокс с наполнителем ФЛАН-5	1	5	1,2	7
8	Стеклотекстолит	1	4,5	25	8

9	Полистирол с наполнителем СТ-3	1	3	9	9
10	Плавленый кварц	1	3,8	0,1	10
11	Полистирол с наполнителем СТ-16	1,5	16	3	1
12	Арилокс с наполнителем ФЛАН-10	1,5	10	1,5	2
13	Поликор	1,5	9,6	0,1	3
14	Фторопласт ФФ-4	1,5	2,1	0,3	4
15	Арилокс с наполнителем ФЛАН-3,8	1,5	3,8	1,2	5
16	Фторопласт армированный ФАФ-4	0,5	2,6	1	6
17	Арилокс с наполнителем ФЛАН-5	0,5	5	1,2	7
18	Стеклотекстолит	0,5	4,5	25	8
19	Полистирол с наполнителем СТ-3	0,5	3	9	9
20	Плавленый кварц	0,5	3,8	0,1	10

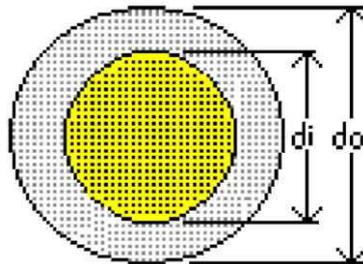


Рисунок 2. Поперечное сечение коаксиальной линии

5. Определить диаметр внешнего проводника d_{o50} , при котором достигается волновое сопротивление коаксиальной линии 50 Ом. Рассчитать и построить зависимость длины волны в коаксиальной линии от частоты в диапазоне от 1 до 10 ГГц:

$$\lambda_n = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon}}$$

Таблица 2 – Параметры коаксиальных линий передачи

№ вар.	Диэлектрик изоляции	d_i , мм	ϵ	$\text{tg}\delta$, $\times 10^{-3}$
1	Фторопласт ФФ-4	0,3	2,1	0,3
2	Полиэтилен	0,3	2,3	0,7
3	Вспененный полиэтилен	0,3	1,5	0,3
4	Фторопласт ФФ-4	0,6	2,1	0,3
5	Полиэтилен	0,6	2,3	0,7
6	Вспененный полиэтилен	0,6	1,5	0,3
7	Фторопласт ФФ-4	0,9	2,1	0,3
8	Полиэтилен	0,9	2,3	0,7
9	Вспененный полиэтилен	0,9	1,5	0,3
10	Фторопласт ФФ-4	1,2	2,1	0,3
11	Полиэтилен	1,2	2,3	0,7
12	Вспененный полиэтилен	1,2	1,5	0,3
13	Фторопласт ФФ-4	1,5	2,1	0,3
14	Полиэтилен	1,5	2,3	0,7
15	Вспененный полиэтилен	1,5	1,5	0,3
16	Фторопласт ФФ-4	1,6	2,1	0,3
17	Полиэтилен	1,6	2,3	0,7
18	Вспененный полиэтилен	1,6	1,5	0,3
19	Фторопласт ФФ-4	2	2,1	0,3
20	Полиэтилен	2	2,3	0,7

Для решения задачи проектирования линий передачи в AWR Design environment используется программа TXLINE, вызываемая командой меню tools/txline (рис. 3). В данной программе можно производить как синтез размеров линии (physical characteristics) по электрическим характеристикам

(electrical characteristics) (стрелка вправо), так и анализ линии с конкретными размерами поперечного сечения для расчета ее электрических характеристик (стрелка влево). При расчетах будем использовать толщину металлизации thickness $T = 0,035$ мм. В качестве металла проводника линии (conductor) используем медь (copper).

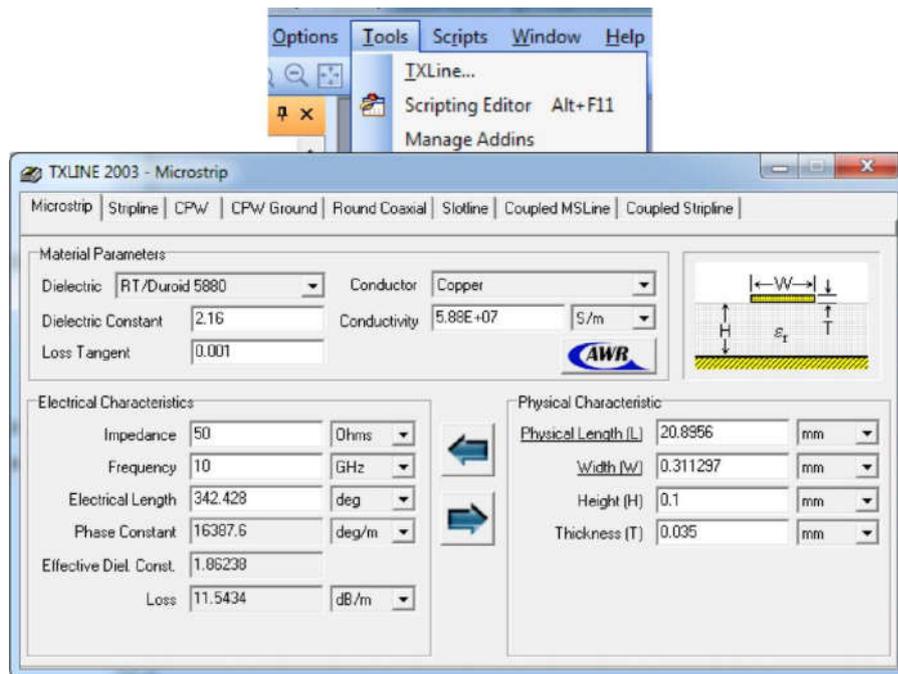


Рисунок 3. Программа TXLINE

6. Рассчитаем для заданной диэлектрической подложки зависимость волнового сопротивления микрополосковой линии и эффективной диэлектрической проницаемости от ширины линии в пределах от 0,2 до 20 мм (шаг выбирается самостоятельно для получения гладкой зависимости). Для этого введем данные из табл. 1 в окно TXLINE: диэлектрическую проницаемость подложки (dielectric constant), тангенс угла диэлектрических потерь (loss tangent), частоту (frequency), толщину подложки (height). При этом особо обратить внимание на единицы измерения. После этого, вводя значения ширины линии (width) и производя анализ, записываем значения волнового сопротивления (impedance) и эффективной диэлектрической проницаемости

(effective dielectric constant). Построить графики по полученным зависимостям. Сравнить их с рассчитанными ранее.

7. Определить ширину линии, соответствующую волновому сопротивлению 50 Ом W_{50} : ввести значение 50 Ом в качестве волнового сопротивления и произвести синтез. Записать полученную ширину линии. Сравнить ее с рассчитанной ранее.

8. Рассчитать зависимость длины волны в линии сопротивлением 50 Ом от частоты в диапазоне от 1 до 10 ГГц. Для этого используем понятие электрической длины линии (electrical length):

$$\theta = \beta l$$

где $\beta = 2\pi / \lambda_d$ – коэффициент фазы в линии (phase constant), l – физическая длина линии. Получается, что физической длине линии, равной одной длине волны, соответствует электрическая длина линии $\theta = 360$, или 2π рад. Теперь можно использовать ее для синтеза линии физической длиной в одну длину волны. Построить зависимость на графике. Сравнить ее с рассчитанной ранее.

9. Рассчитать зависимость эффективной диэлектрической проницаемости в линии сопротивлением 50 Ом от частоты в диапазоне от 0,1 ГГц до 100 ГГц. Использовать логарифмический масштаб частоты (рассчитывать в точках 0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 ГГц). Построить график зависимости.

10. Для коаксиальной линии передач (round coaxial) с заданными в табл. 2 параметрами поперечного сечения при помощи соответствующей вкладки TXLINE рассчитать зависимость волнового сопротивления от диаметра внешнего проводника (outer diameter), изменяя его в пределах от d_i до $10d_i$. Построить зависимость и сравнить ее с рассчитанной ранее. Использовать частоту 1 ГГц. Определить диаметр внешнего проводника, при котором волновое сопротивление линии становится равным 50 Ом.

11. Рассчитать частотную зависимость длины волны в коаксиальной линии сопротивлением 50 Ом в диапазоне от 1 до 10 ГГц по методике п. 8. Построить полученную зависимость и сравнить ее с рассчитанной ранее.

12. Рассчитать частотную зависимость погонного коэффициента затухания в микрополосковой линии. Для этого используем моделирование отрезка линии длиной 1 м. Тогда, получая коэффициент передачи через этот отрезок S_{21} в дБ, мы, по сути, получаем значение потерянной доли мощности в этом отрезке линии. Так, если взять данный коэффициент передачи в дБ с противоположным знаком, то мы получим значение коэффициента затухания в дБ/м.

Для создания моделируемой схемы цепи откроем контекстное меню `circuit schematic` и выберем `new schematic` (рис. 4, а). Далее выберем имя создаваемой схемы. В рабочей области будет создано пространство для моделирования цепи, куда нам необходимо поместить отрезок микрополосковой линии, для чего выберем для создания элемент `MLIN`, как показано на рис. 4, б, и перенесем его в область схемы. Также установим на схему параметры подложки при помощи элемента `MSUB` (рис. 4, в) и зададим вход и выход при помощи портов (рис. 4, г). Элементы при вставке можно вращать нажатием правой кнопки мыши.

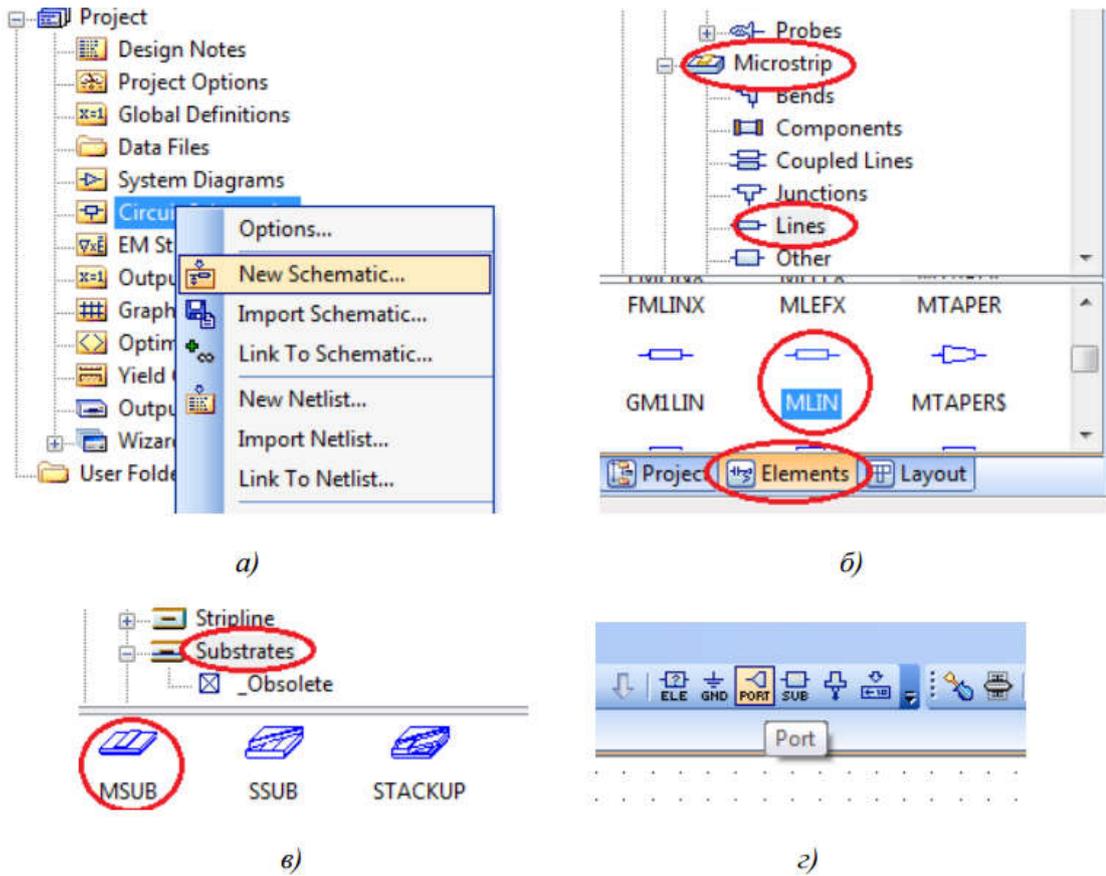


Рисунок 4. Создание схемы цепи

После переноса всех необходимых элементов и их соединения должна получиться схема, как на рис. 5. Теперь можно задать параметры подложки в соответствии с табл. 2.1. При этом диэлектрическая проницаемость задается значением ϵ_r , а значение ϵ_{rNom} может быть любым, т. к. оно используется только для моделей с электродинамической основой. Величина Rho определяется отношением удельного сопротивления используемого металла к сопротивлению золота (для меди $Rho \sim 0,7$). Длина линии L должна составлять, как уже упоминалось, 1 м. Ширина должна соответствовать п. 7. Сопротивление портов также должно составлять 50 Ом.

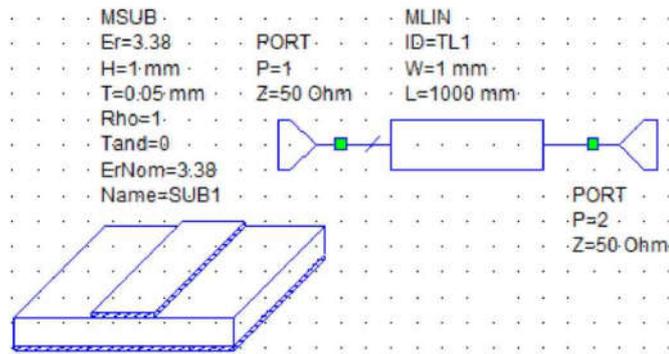


Рисунок 5. Схема для расчета коэффициента затухания

После составления схемы и указания всех параметров необходимо задать частотные точки для анализа цепи в свойствах проекта (project options), как показано на рис. 6.

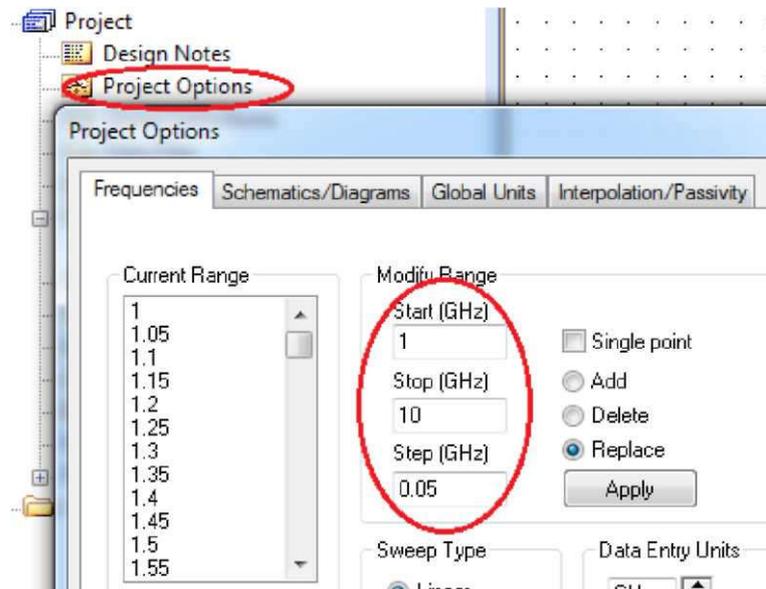


Рисунок 6. Задание частотных точек для анализа

Далее создадим графическое поле с декартовой системой координат для построения частотной зависимости (рис. 7). Добавим на графическое поле зависимость коэффициента передачи S_{21} от частоты, не забыв указать модификатор для комплексного числа в виде взятия модуля и перевода в децибелы.

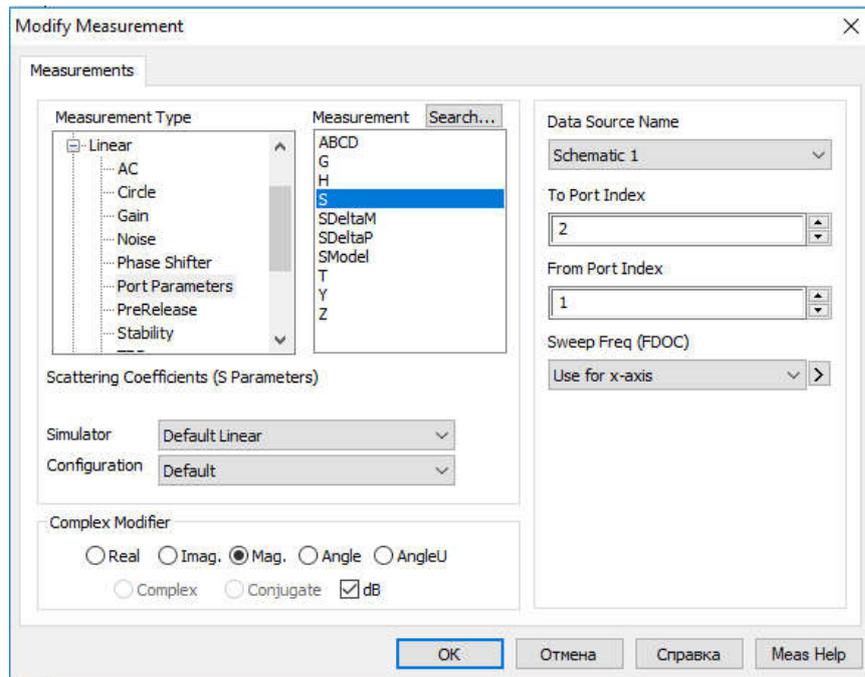


Рисунок 7. Создание графика частотной зависимости

После этого запускаем анализ и получаем частотную зависимость коэффициента передачи. Преобразование в коэффициент затухания можно произвести по принципу, указанному в начале п. 12.

Получить частотные зависимости коэффициентов затухания, обусловленных только потерями в диэлектрике и только потерями в металле. Для этого идеализируем часть параметров подложки (для получения идеального диэлектрика необходимо обнулить $tg\delta$, а для получения идеального проводника – вернуть значение $tg\delta$, а обнулить Rho). Оценить вклад в общее затухание диэлектрика подложки и металла.

13. Получить частотные зависимости коэффициентов затухания для коаксиальной линии с волновым сопротивлением 50 Ом по методике п. 12. Схему собрать так же, с учетом особенностей коаксиальной линии (рис. 8). Оценить вклад в общее затухание диэлектрика заполнения и металла проводников.

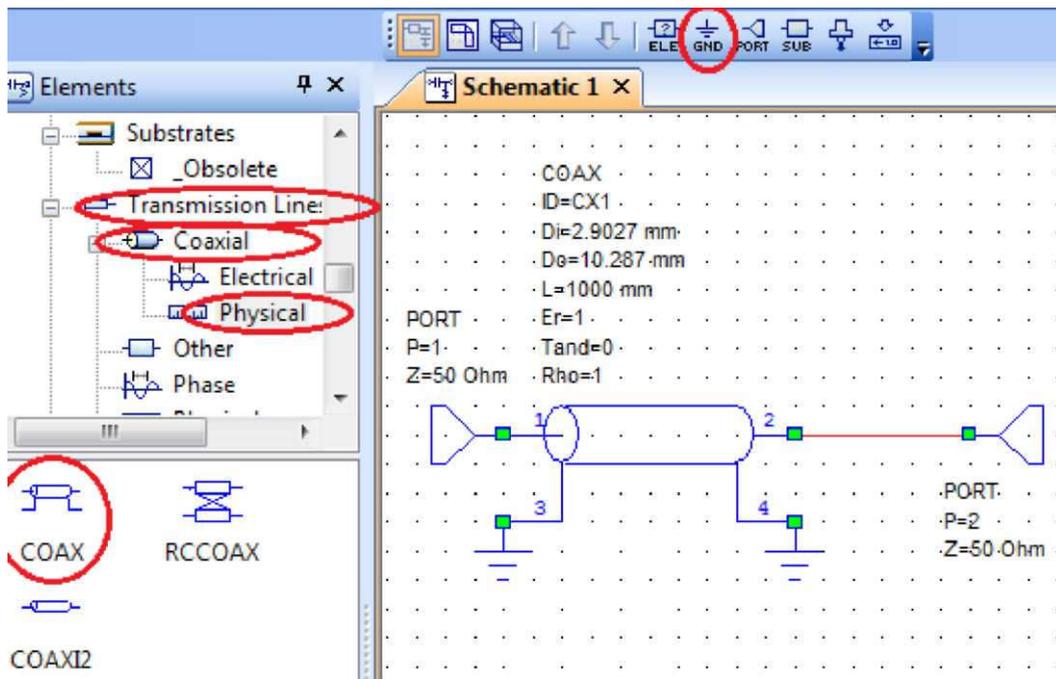


Рисунок 8. Схема для анализа коэффициента затухания коаксиальной линии

Контрольные вопросы

- 1 Как рассчитать волновое сопротивление линии через погонные параметры?
- 2 Нарисуйте эквивалентную схему линии передачи?
- 3 В чем разница симметричной и несимметричной линии передачи?
- 4 Как волновое сопротивление зависит от длины линии передачи?
- 5 Как можно уменьшить габариты линии передачи, сохранив согласование по волновому сопротивлению?
- 6 Как меняется волновое сопротивление коаксиальной линии при увеличении диаметра внешнего проводника?
- 7 Где потери выше – в проводнике или в диэлектрике?