



СИБИРСКИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

SIBIRIAN  
FEDERAL  
UNIVERSITY

[www.sfu-kras.ru](http://www.sfu-kras.ru)

# Измерения на СВЧ

## Занятие 1. Введение

# Содержание курса

1. Лекции
2. Лабораторные работы
3. Рефераты с докладом на последних занятиях

# Линии передачи СВЧ

- Коаксиальная линия
- Микрополосковая линия
- Металлический волновод

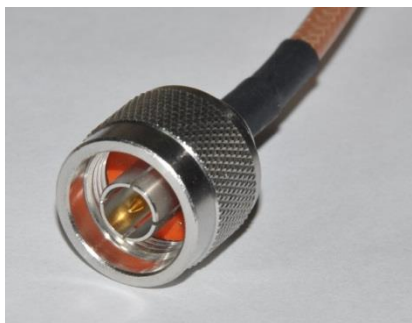
## Типы волн в линиях передачи

- ТЕ волны – transverse electric (H)
- ТМ волны – transverse magnetic (E)
- ТЕМ волны – transverse electric-magnetic

# Высокочастотные коаксиальные разъемы

Зарубежное обозначение	Отечественный аналог	Максимальная частота	Диэлектрик	Комментарии
BNC		4 ГГц	Фторопласт	Байонетное соединение
SMA	Град	25 ГГц	Фторопласт	Разработан в 60-х годах. Совместим с 3.5 и 2.92. Наиболее широко используемый тип разъемов.
TNC		15 ГГц	Фторопласт	BNC с резьбовым соединением.
N	Экспертиза	11 ГГц	Фторопласт	Разработан в 40-х годах. Дешевый, широко используется.
3.5 mm		26.5 ГГц	Воздух	Совместим с SMA, 2.92.
2.92 mm		40 ГГц	Воздух	Разработан в 1974. Совместим с SMA, 3.5.
2.4 mm		50 ГГц	Воздух	Разработан в 1986 г., совместим с 1.85
1.85 mm		60 ГГц	Воздух	Совместим с разъемом 2.4.
1 mm		110 ГГц	Воздух	Разработан в 1989 в компании Agilent.

# Высокочастотные разъемы



Разъемы типа N

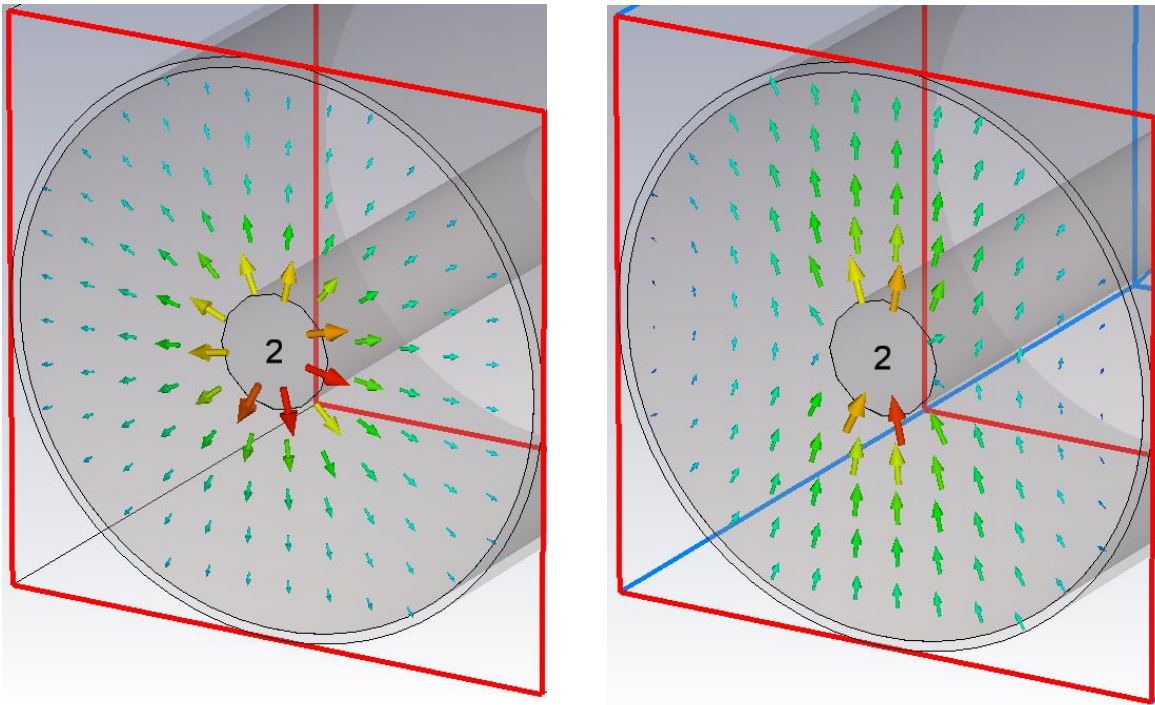


Разъемы типа SMA



Разъем BNC

# Граничная частота коаксиальной линии

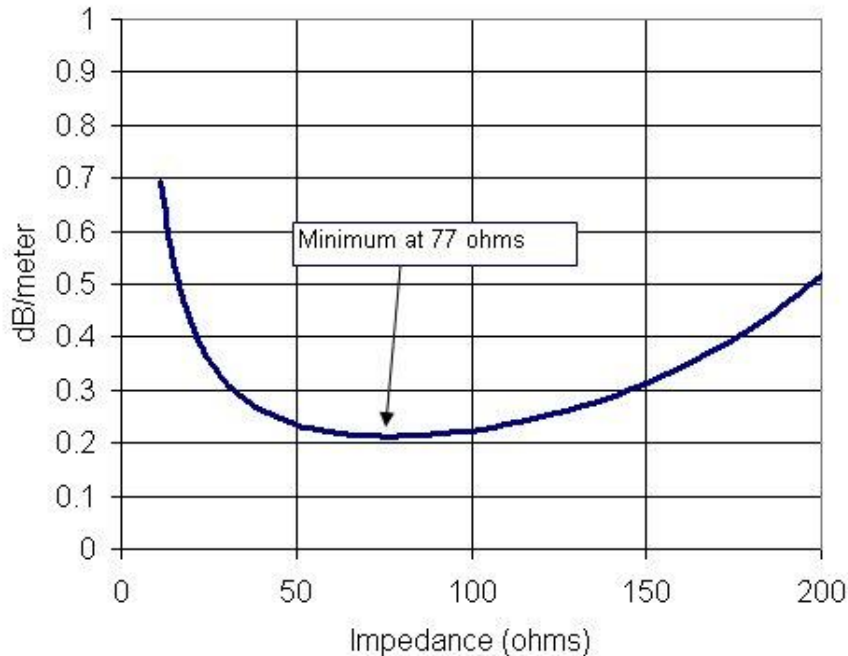


$$f_c = \frac{c}{\pi \left( \frac{D+d}{2} \right) \sqrt{\epsilon_r}}$$

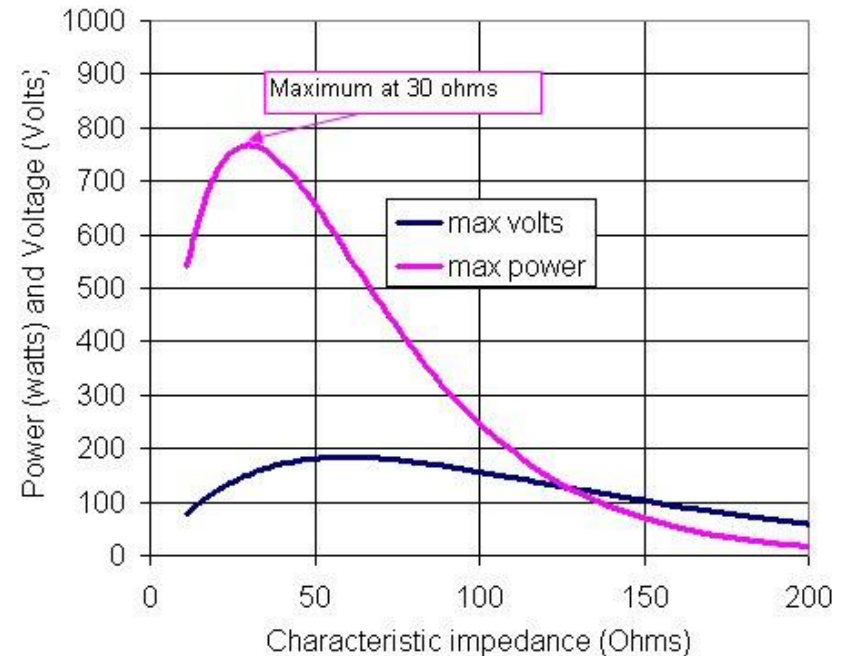
Граничная частота обусловлена возможностью возбуждения в коаксиальной линии моды  $TE_{11}$ , наряду с рабочей модой  $TE_{01}$ .

# Почему 50 Ом?

Loss versus impedance  
10 mm diameter copper coax



Maximum power handling of 10 mm coax  
Voltage breakdown at 100,000 volts/meter



Первые коаксиальные кабели были разработаны в 1930-х годах, имели воздушное заполнение и предназначались для передачи больших мощностей.

# Стандартные размеры прямоугольных волноводов

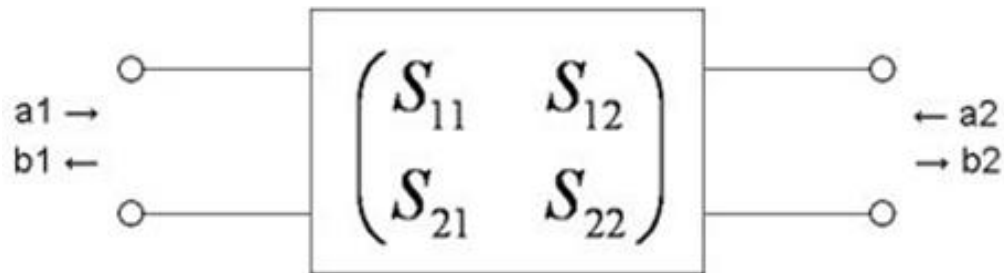
Название диапазона	Волноводный стандарт	Граничные частоты (ГГц)	Внутренние размеры (мм)
L	WR-650	1.12 to 1.70	165.1 x 82.55
R	WR-430	1.70 to 2.60	109.22 x 54.61
S	WR-284	2.60 to 3.95	72.136 x 34.036
G	WR-187	3.95 to 5.85	47.5488 x 22.1488
C	WR-137	5.85 to 8.20	34.8488 x 15.7988
X	WR-90	8.2 to 12.4	22.86 x 10.16
Ku	WR-62	12.4 to 18.0	15.7988 x 7.8994
K	WR-42	18.0 to 26.5	10.668 x 4.318
Ka	WR-28	26.5 to 40.0	7.112 x 3.556
Q	WR-22	33 to 50	5.6896 x 2.8448
V	WR-15	50 to 75	3.7592 x 1.8796
W	WR-10	75 to 110	2.54 x 1.27
D	WR-6	110 to 170	1.651 x 0.8255



# Волноводные фланцы и волноводно-коаксиальные переходы



# Матрица рассеяния



$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

Элементы матрицы S-  
параметров – комплексные  
величины

$$S_{11} = b_1 / a_1$$

$$S_{12} = b_1 / a_2$$

$$S_{21} = b_2 / a_1$$

$$S_{22} = b_2 / a_2$$

# Перевод КСВн – обратные потери

КСВ	Обр. пот., дБ
1	-inf
1.1	-26.4
1.2	-20.8
1.3	-17.7
1.4	-15.6
1.5	-14.0
1.6	-12.7
1.7	-11.7
1.8	-10.9
1.9	-10.2
2	-9.5
2.1	-9.0
2.2	-8.5
2.3	-8.1
2.4	-7.7
2.5	-7.4
2.6	-7.0
2.7	-6.8
2.8	-6.5
2.9	-6.2
3	-6.0

$S_{11}$  – коэффициент отражения ( $\Gamma$ )

$$КСВн = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$$

# Децибелы

$$x = 10 \cdot \lg\left(\frac{P}{P_0}\right) = 10 \cdot \lg\left(\frac{U^2}{U_0^2} \frac{R_0}{R}\right)$$

$$x = 20 \cdot \lg\left(\frac{U}{U_0}\right)$$

$$\frac{P}{P_0} = 10^{\frac{x}{10}}$$

Частный случай при  $R_0=R$

$$\frac{U}{U_0} = 10^{\frac{x}{20}}$$

	1000	100	≈ 64	≈ 32	≈ 16	10	≈ 8	≈ 4	≈ 2	≈ 1.26	1
L, дБ	30	20	18	15	12	10	9	6	3	1	0
$P/P_0$	0.001	0.01	≈ 0.016	≈ 0.031	≈ 0.056	0.1	≈ 0.125	≈ 0.25	≈ 0.5	≈ 0.79	1
L, дБ	-30	-20	-18	-15	-12	-10	-9	-6	-3	-1	0

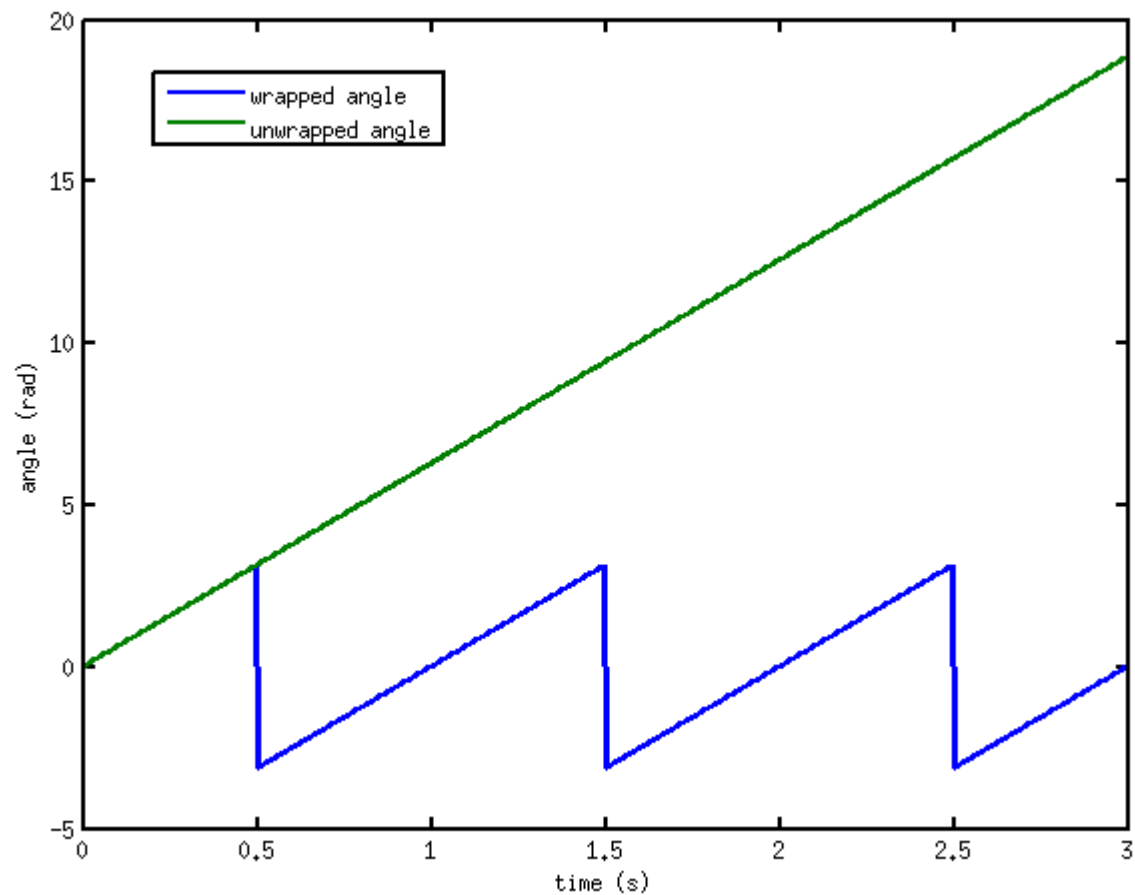
# Размерные величины в дБ

- dВm – децибел к милливатту (0 dВm=1 мВт);
- dVi – децибел к изотропному источнику;
- dVc – децибел к несущей.

$$10\text{дБм} + 13\text{дБ} = 23\text{дБм}$$

$$10\text{ мВт} \times 20 = 200\text{ мВт}$$

# Фазовый набег



# Типовые нагрузки

- Холостой ход (ХХ):  $Z_H = \infty$ ;  $\Gamma = 1$ .
- Короткое замыкание (КЗ):  $Z_H = 0$ ;  $\Gamma = -1$ .
- Согласованная нагрузка (СН):  $Z_H = Z_B$ ;  $\Gamma = 0$ .



# Аттенюаторы



Маломощные  
аттенюаторы



Мощный  
аттенюатор