

# *Основы Измерений СВЧ на подложках*

*Д-р Андрей Румянцев  
Директор по СВЧ технологиям*

# Содержание

---

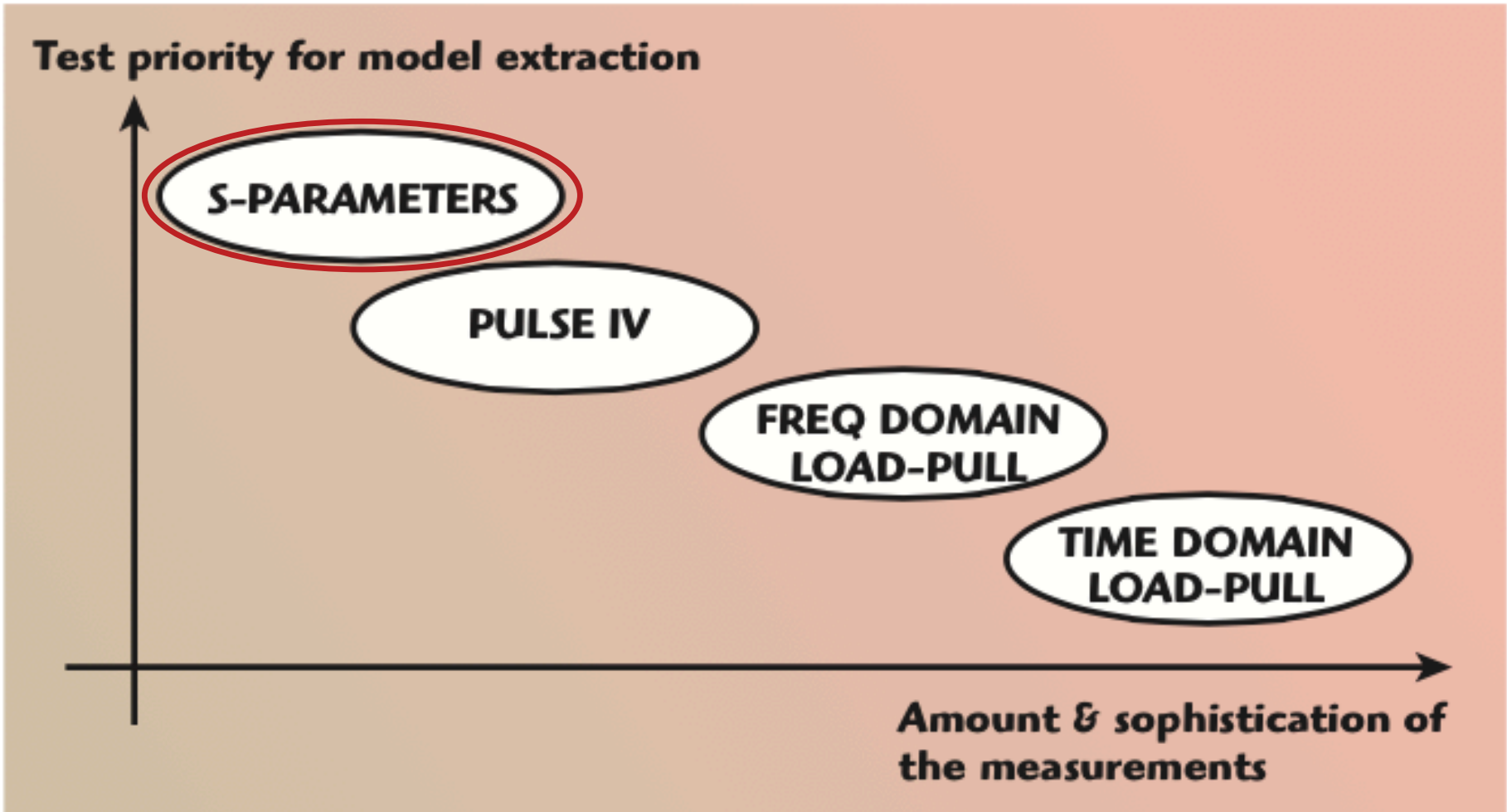
- Немного основных понятий
- Принцип ВЧ калибровки ВАЦ
- Зондовые головки
- О калибровочных стандартах
- Важные мелочи

# Содержание

---

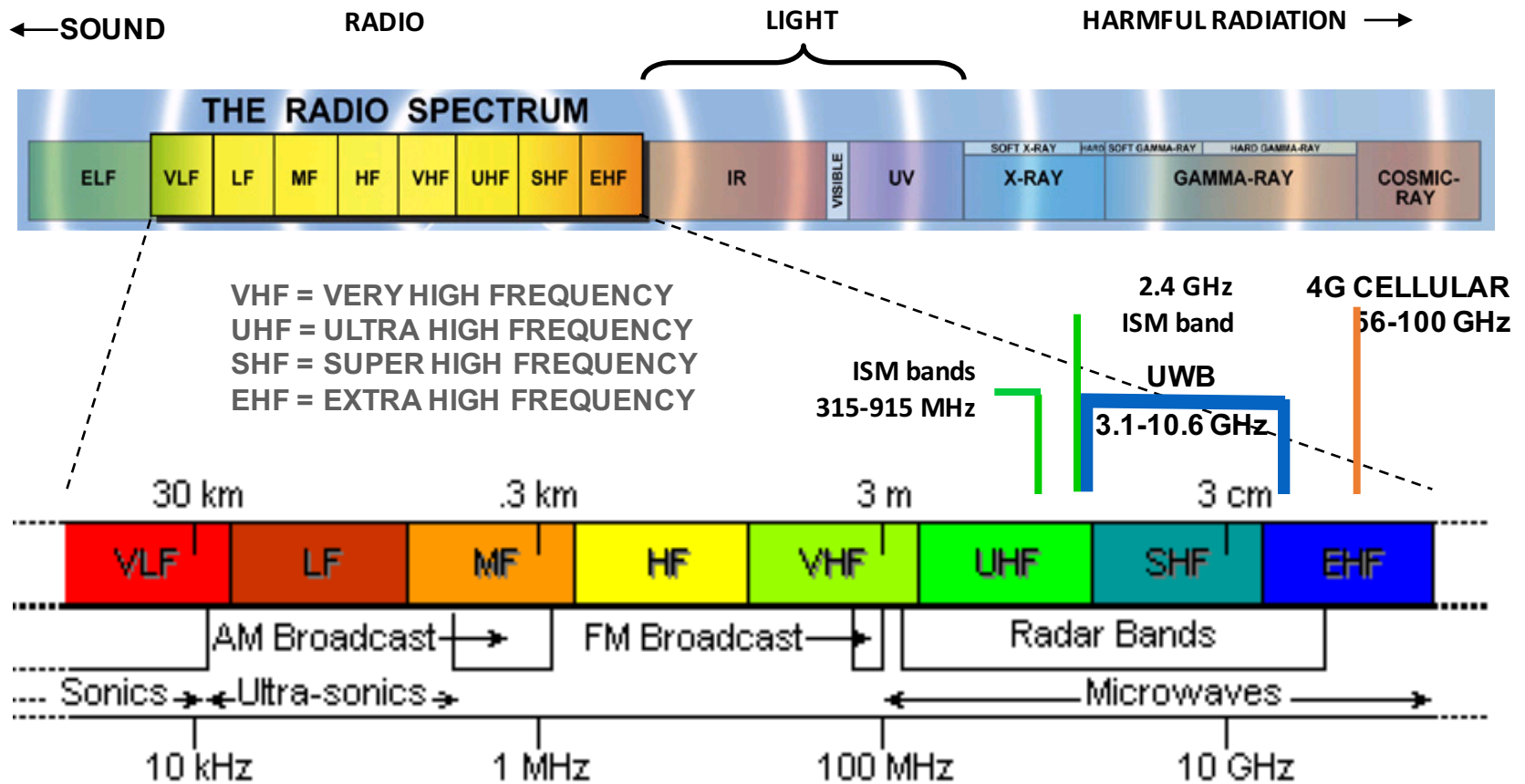
- Немного основных понятий
- Принцип ВЧ калибровки ВАЦ
- Зондовые головки
- О калибровочных стандартах
- Важные мелочи

# Место S-параметров в моделировании



T. Gasseling , MW Journal, 03-2012

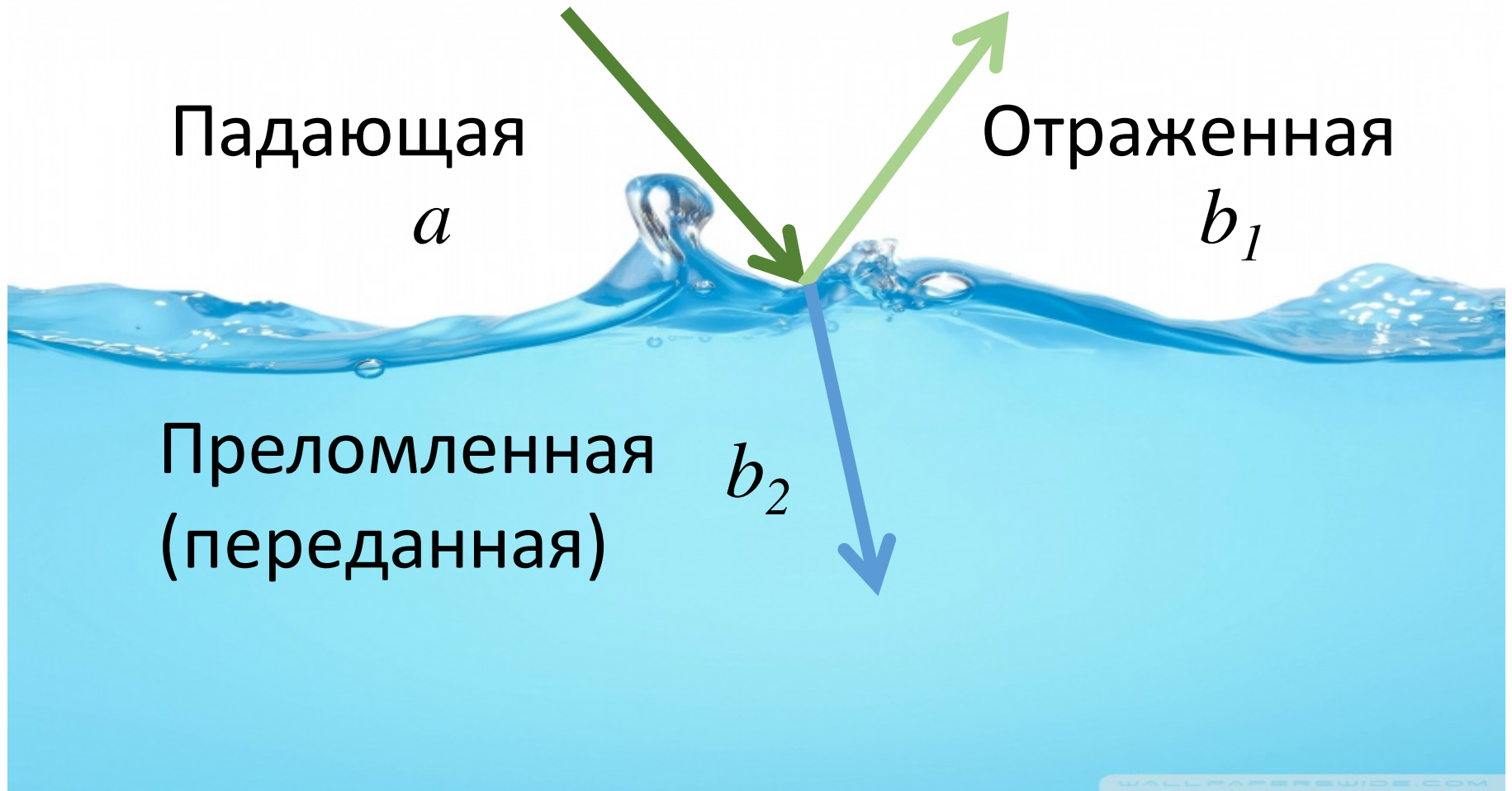
# Где начитается спектр СВЧ?



Source: [JSC.MIL](http://JSC.MIL)

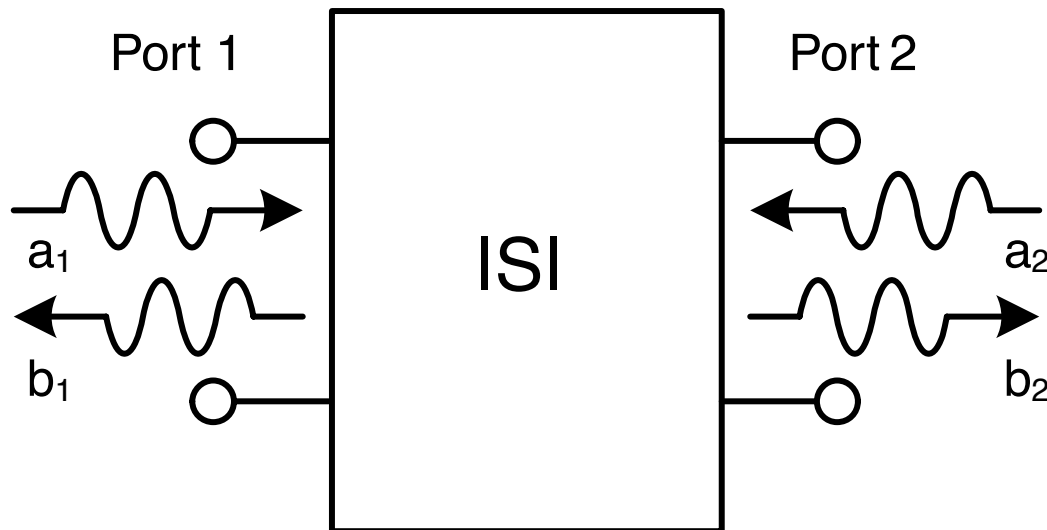
10 ГГц – длина волны ~ 3 см

# ... все те же волны...



## ... и через S-параметры

- Определяется отношением:
  - Падающей (a) волны к отраженной/переданной (b) волны на портах объекта



# Почему S-параметры, а не другие величины?

- Параметры волн проще измерить
- Легко конвертируются в параметры цепей, например:  $Z$ -,  $Y$ -,  $H$ - и иные

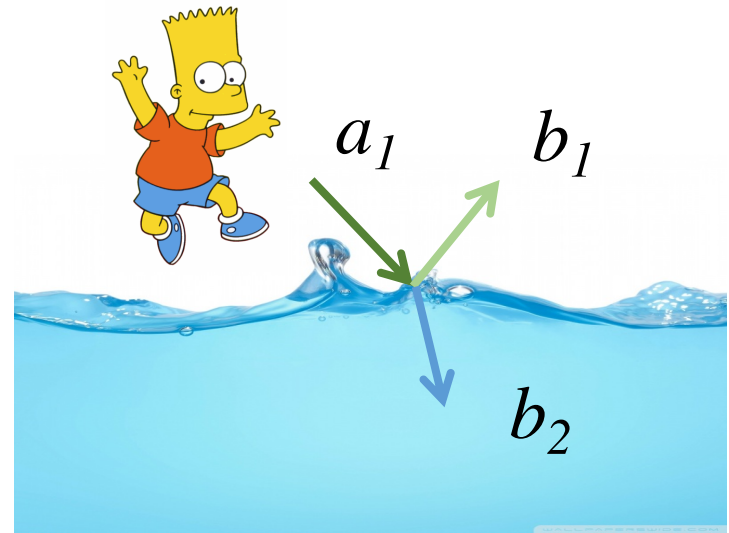
$$S_{ii} = \frac{b_i}{a_i} = \frac{Z_{DUT} - Z_{REF}}{Z_{DUT} + Z_{REF}}$$



# Как получается матрица С-параметров

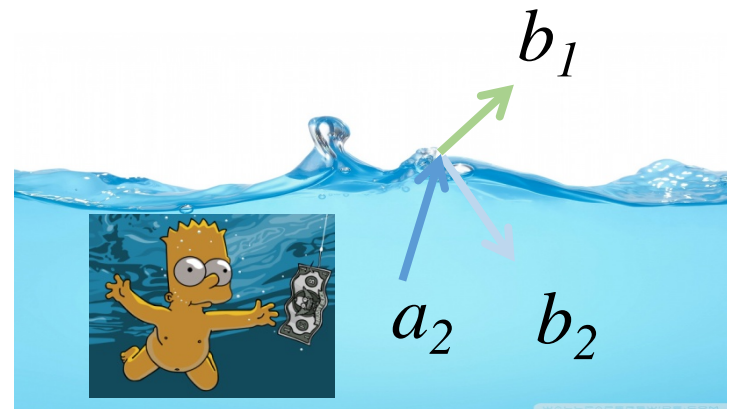
## ■ Прямое направление

$$S_{11} = b_1/a_1 \quad S_{21} = b_2/a_1$$



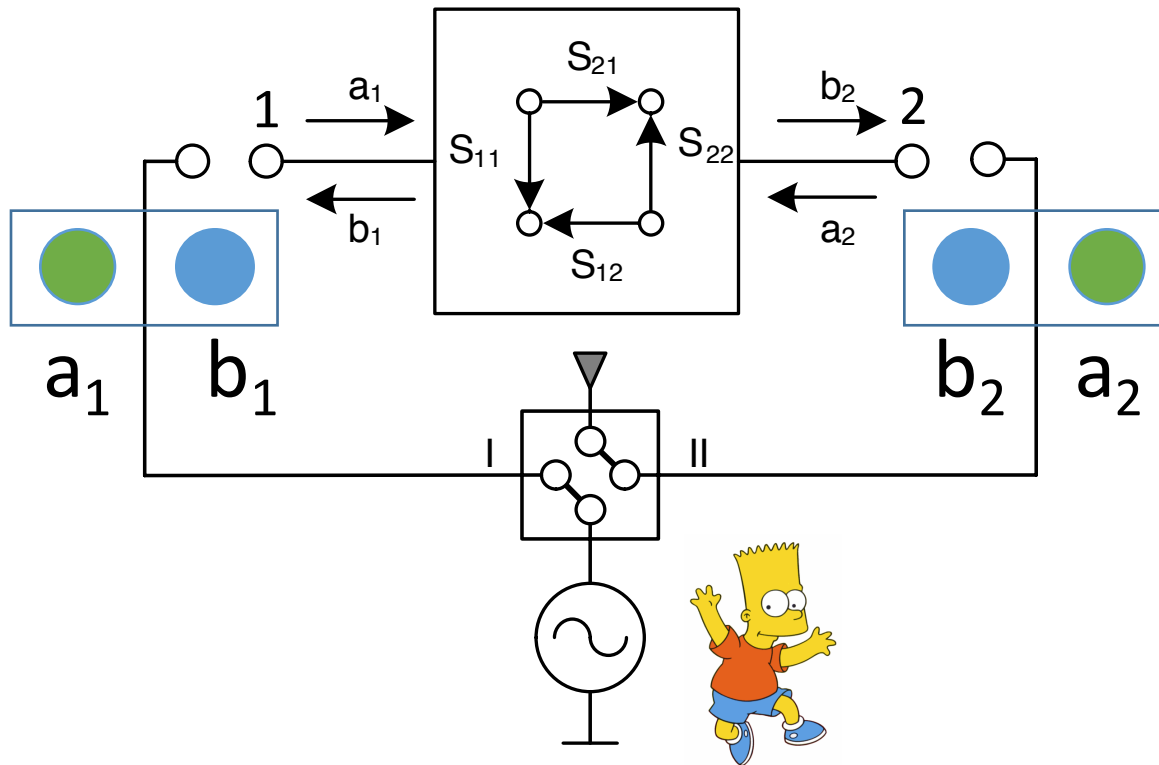
## ■ Обратное направление

$$S_{22} = b_2/a_2 \quad S_{12} = b_1/a_2$$



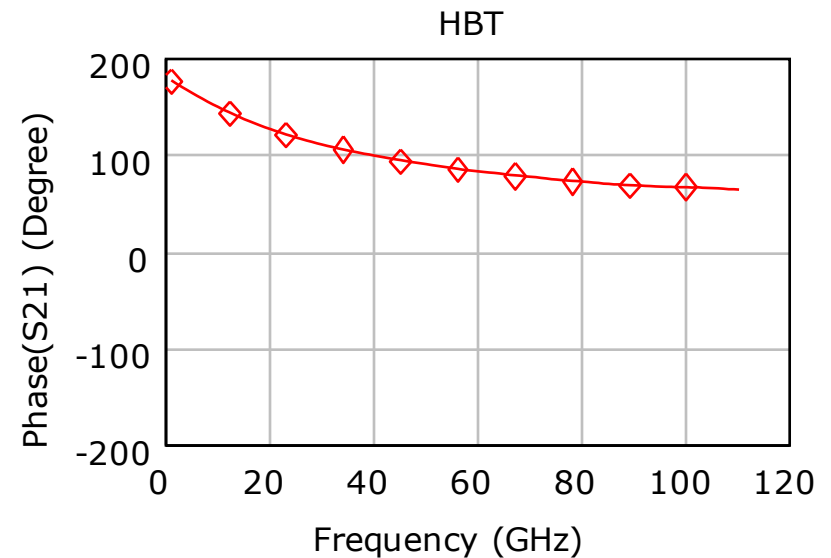
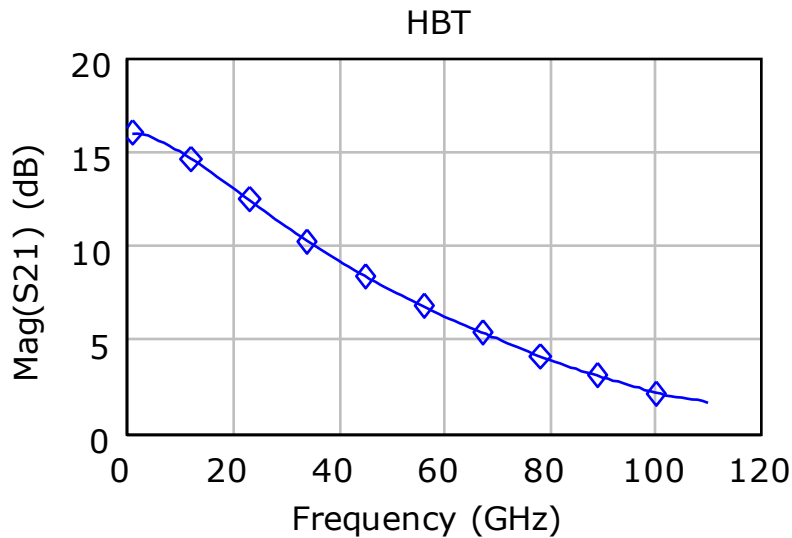
# S-parameters are measured with a VNA

## Vector Network Analyzer (VNA)

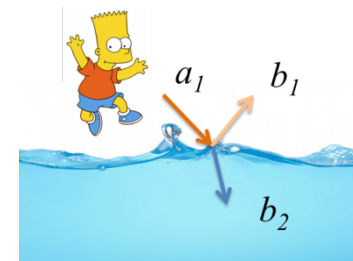
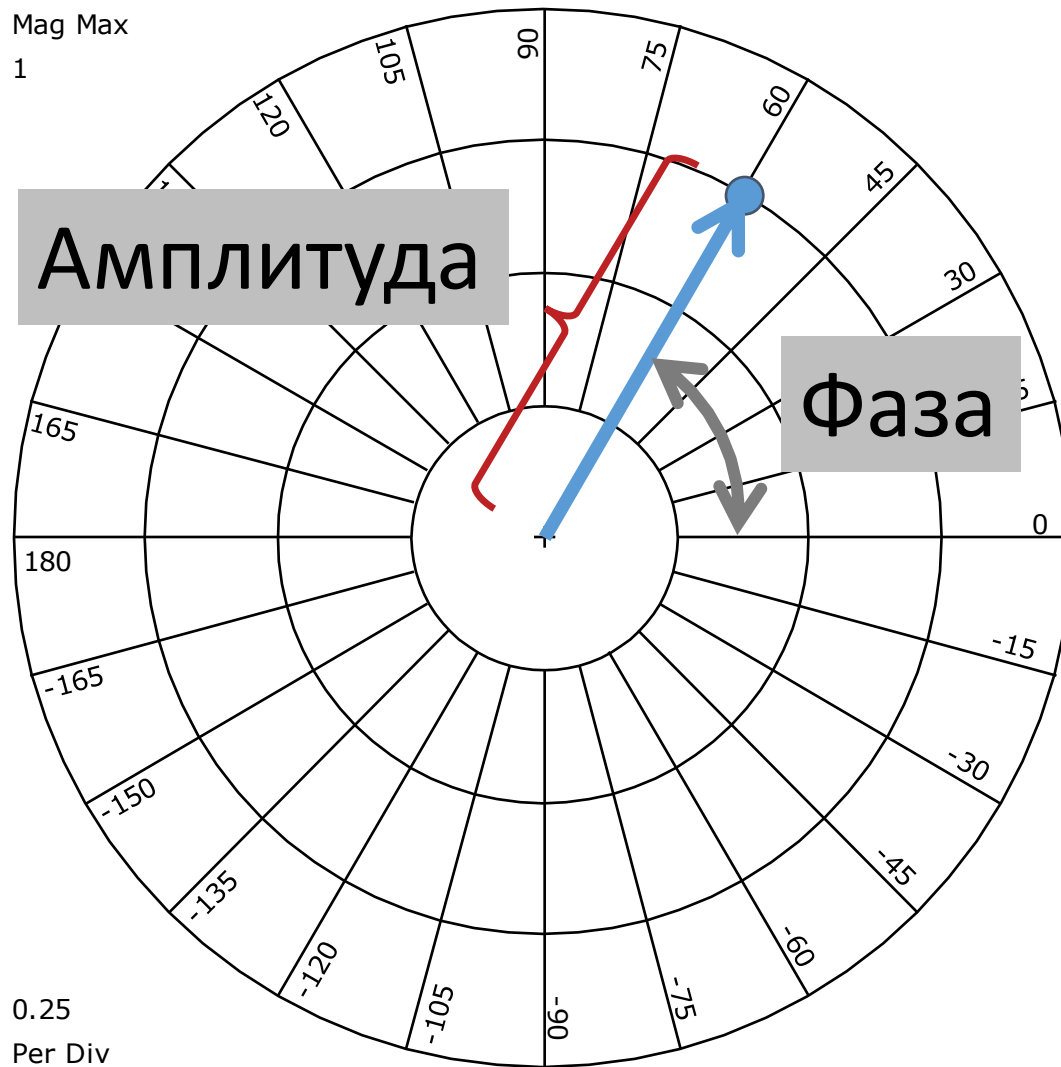


# Почему “Векторный”?

- С-параметры являются комплексными величинами:
  - Амплитудное значение
  - Фаза



# Вектор в полярной системе координат



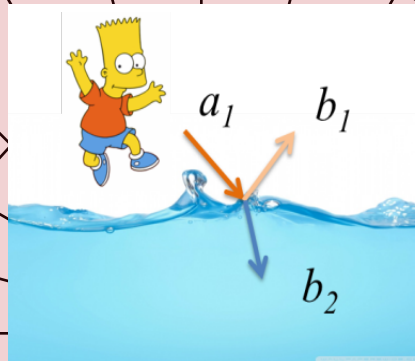
# Граница амплитуды для пассивных компонентов

Mag Max 1

1.0

$$\text{Mag}(b/a) < 1$$

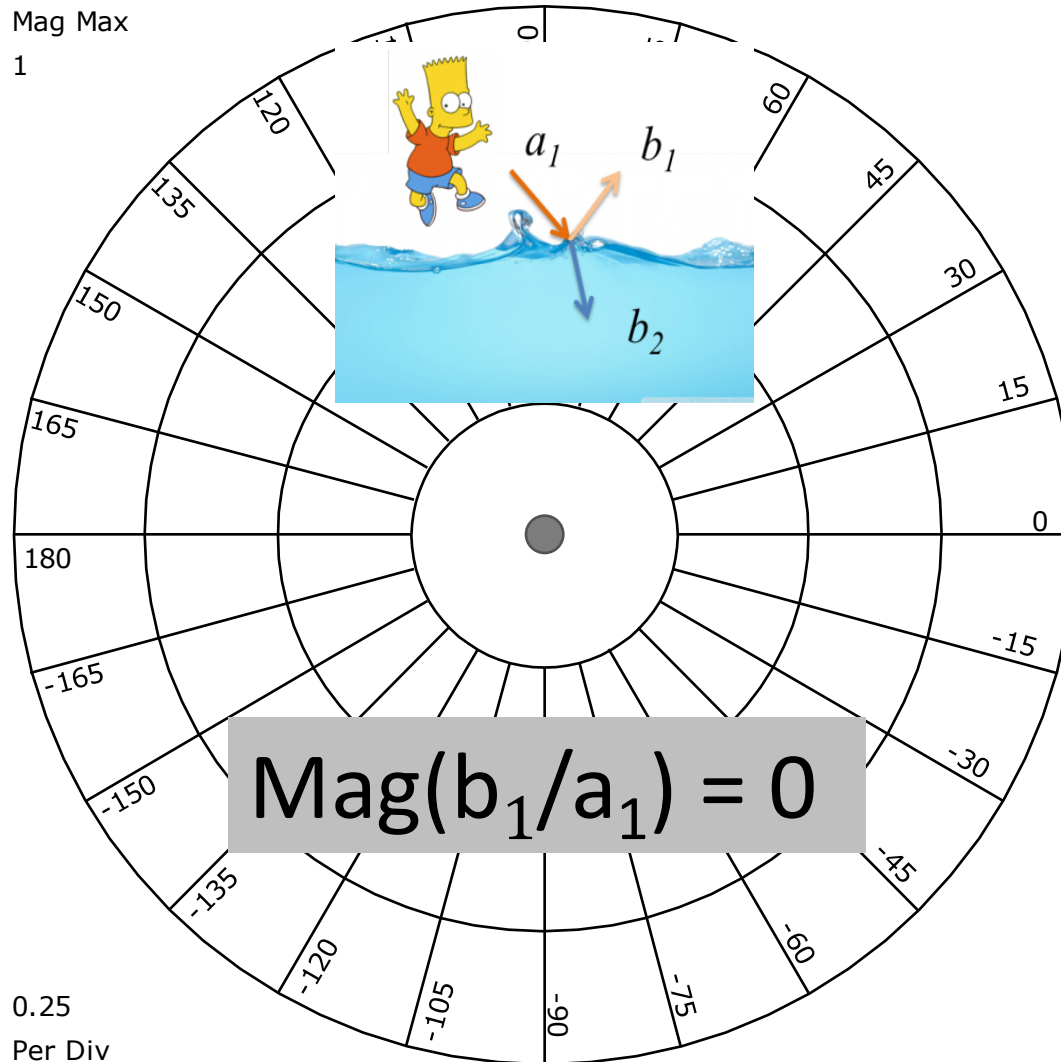
0.25 Per Div



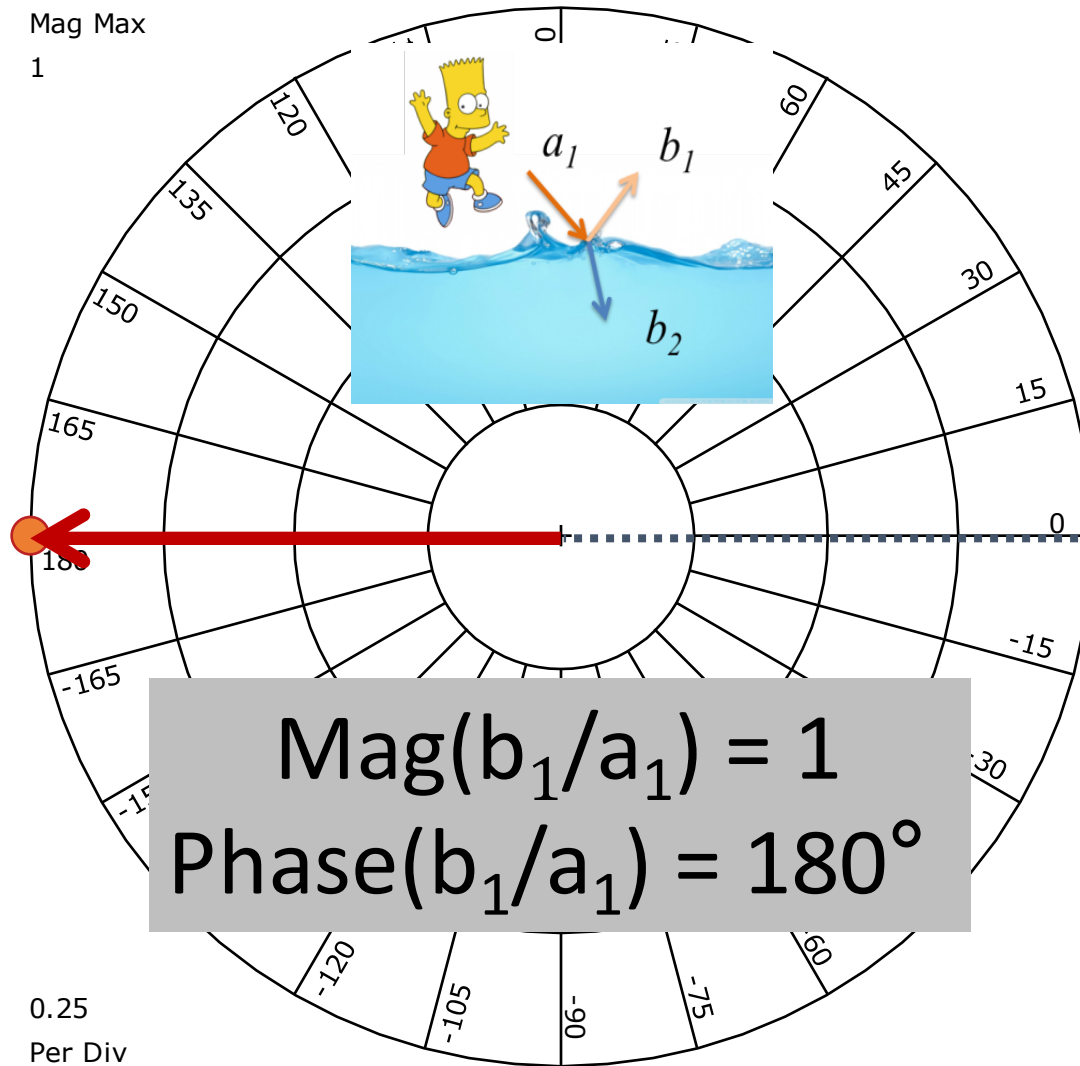
# Согласованная нагрузка

Mag Max

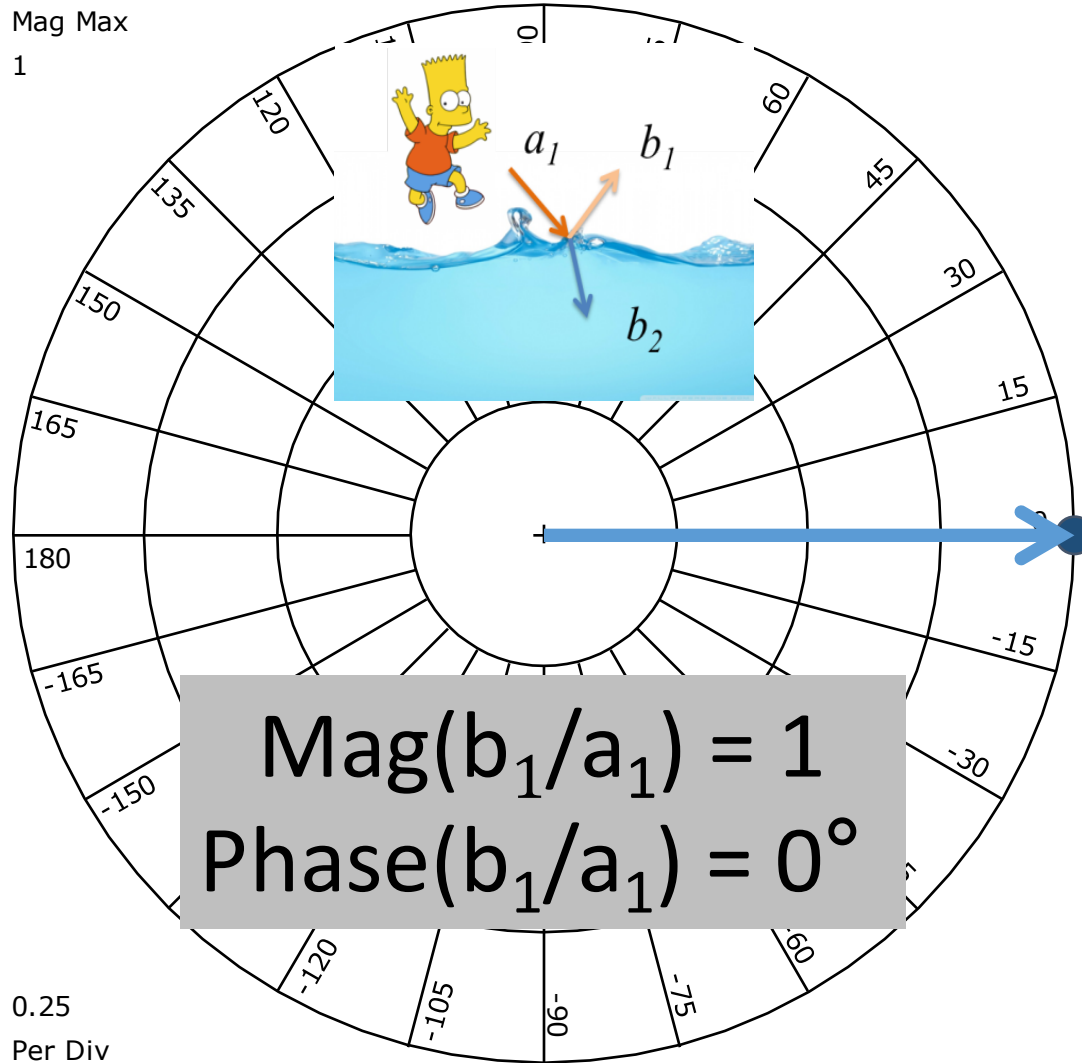
1



# Короткое замыкание



# Холостой ход

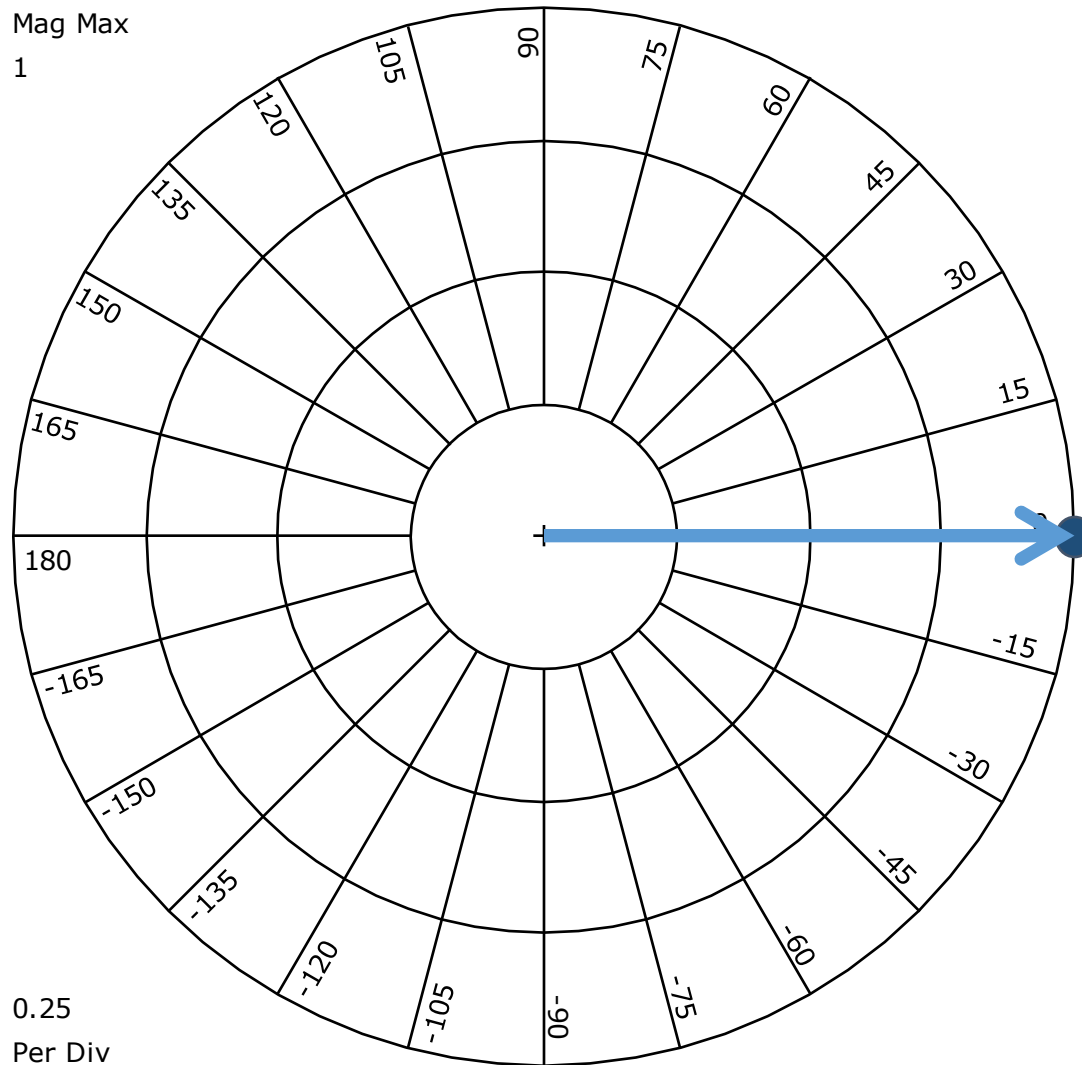




# Развертка по частоте

Mag Max

1

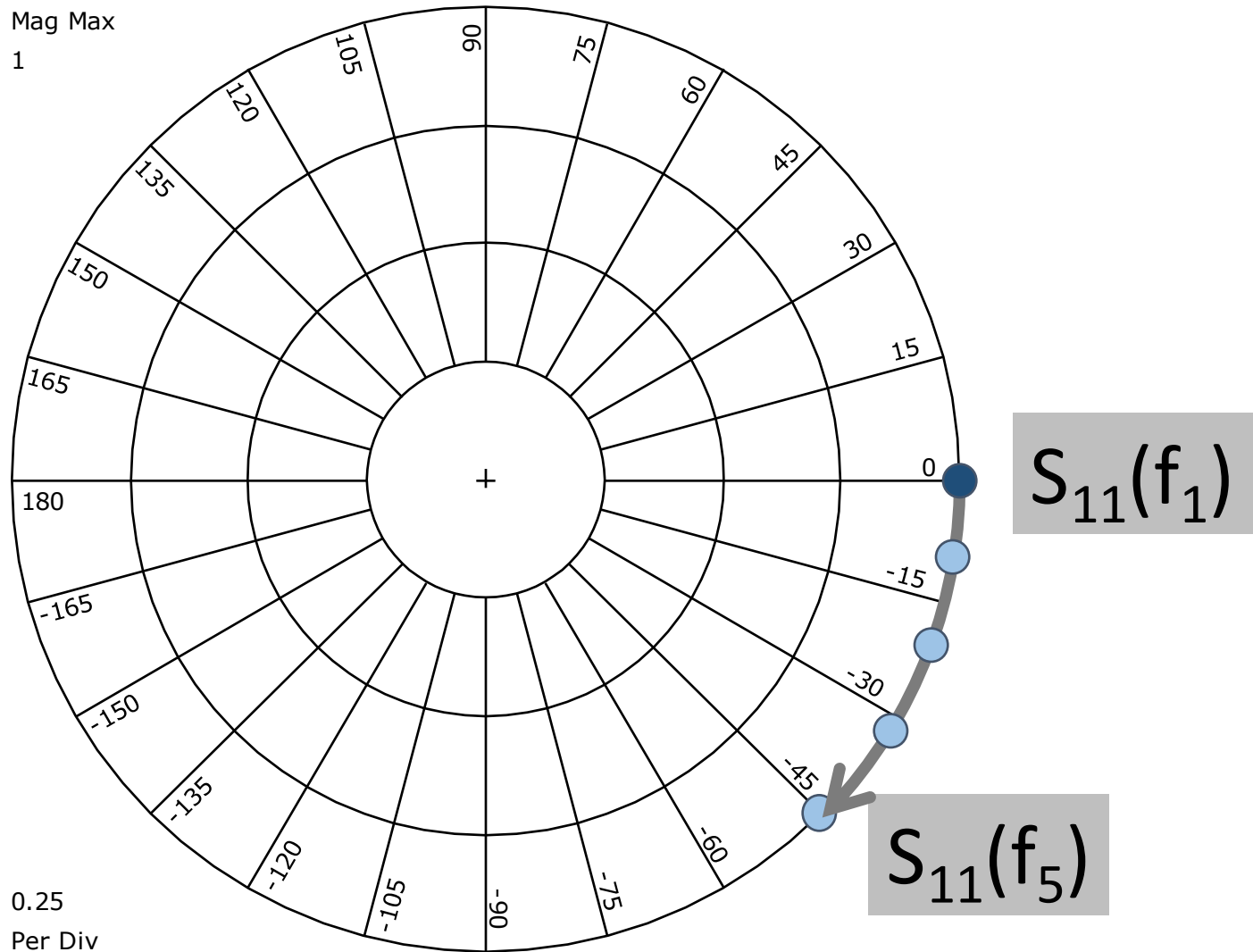


$S_{11}(f_1)$

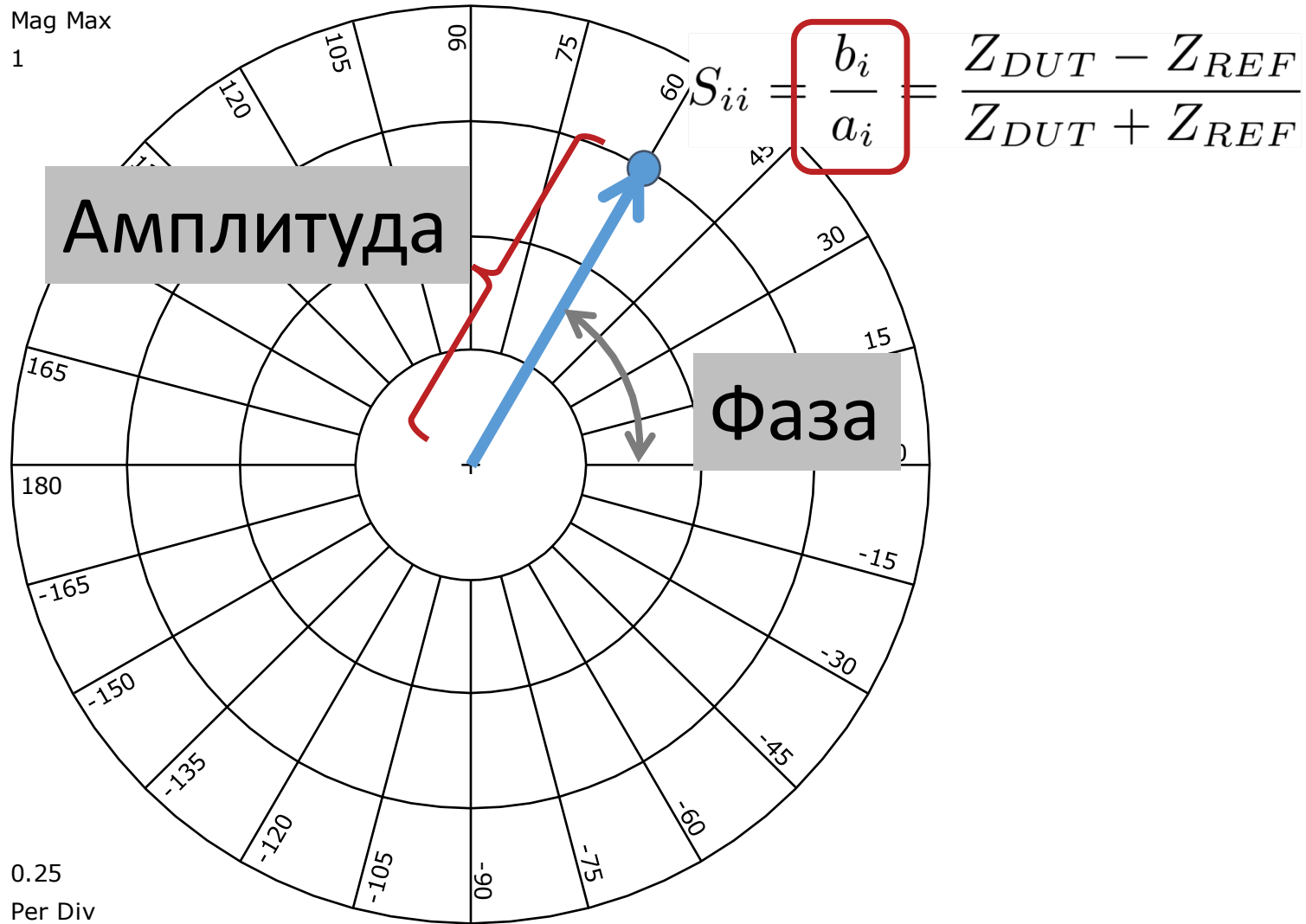
0.25

Per Div

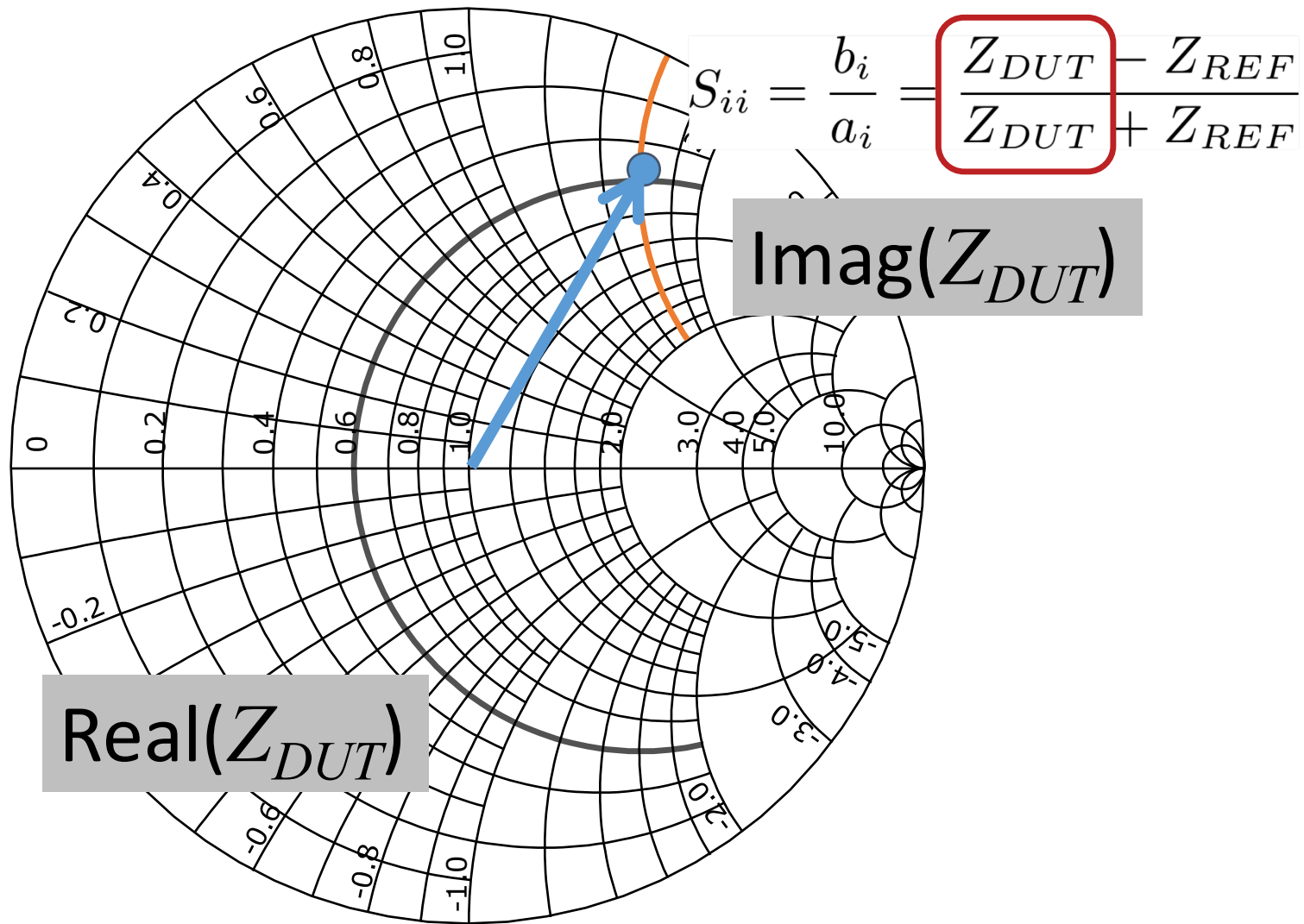
# Развертка по частоте



# Полярная диаграмма и диаграмма Смита



# Полярная диаграмма и диаграмма Смита



# Полярная диаграмма и диаграмма Смита

Диаграмма Смита – это **полярная** диаграмма коэффициента отражения с нанесенной на нее сеткой для удобного чтения действительной и мнимой составляющих импеданса объекта измерения

Real( $Z_{DUT}$ )

Imag( $Z_{DUT}$ )

$$S_{ii} = \frac{b_i}{a_i} = \frac{Z_{DUT} - Z_{REF}}{Z_{DUT} + Z_{REF}}$$

# Согласование = «прозрачность»

$Z_0$  (AIR)



$Z_0$  (WATER)

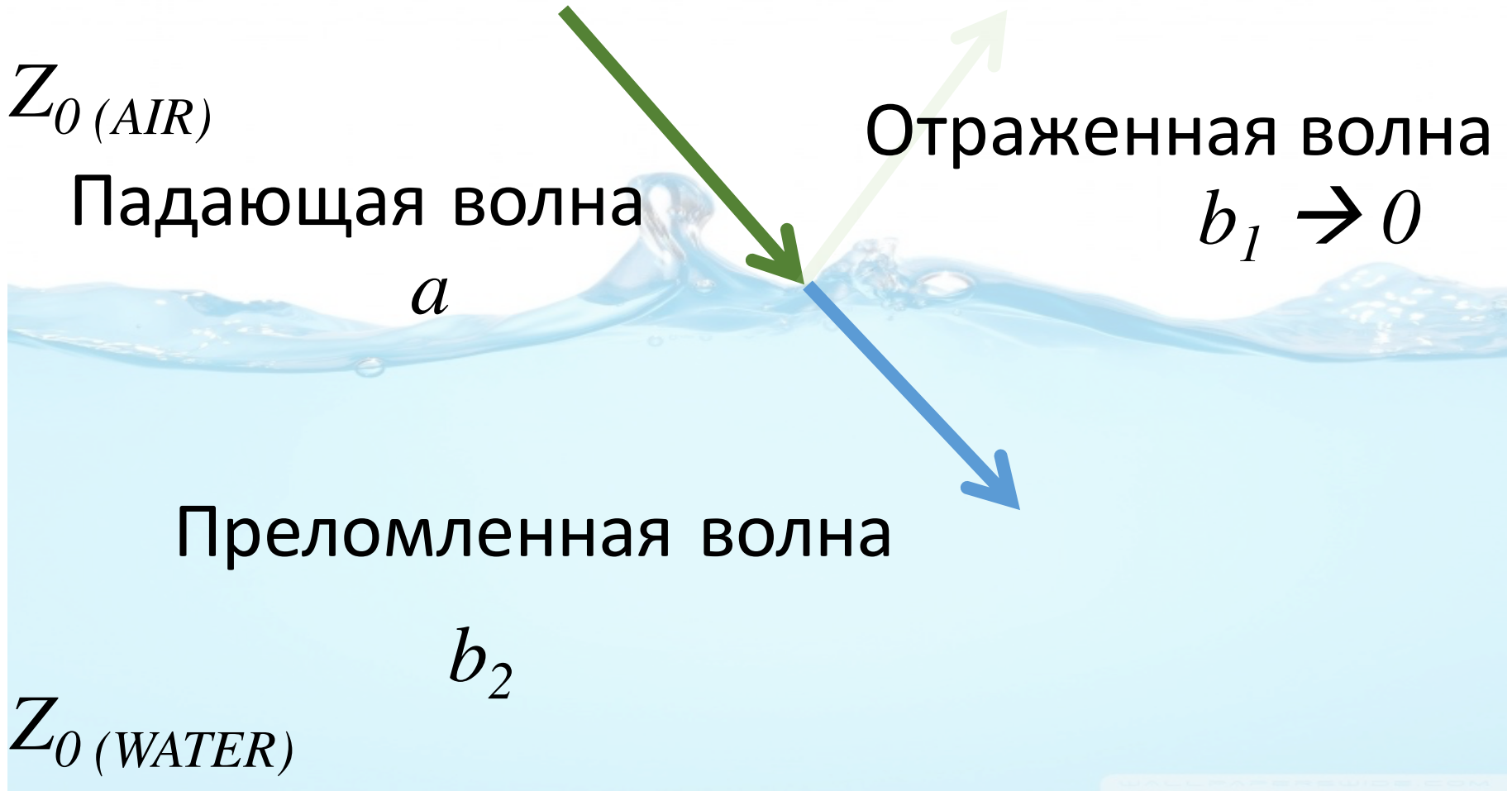
# Согласование = «прозрачность»

$Z_0$  (AIR)



$Z_0$  (WATER)

# Согласование = «прозрачность»





# Условия согласования

$$S_{ii} = \frac{b_i}{a_i} = \frac{Z_{DUT} - Z_{REF}}{Z_{DUT} + Z_{REF}}$$

$$b_i \rightarrow 0 \quad Z_{DUT} = Z_{REF} \quad S_{ii} \rightarrow 0$$

$$Z_{REF} = 50 \, \Omega$$

# Содержание

---

- Немного основных понятий
- Принцип ВЧ калибровки ВАЦ
- Зондовые головки
- О калибровочных стандартах
- Важные мелочи

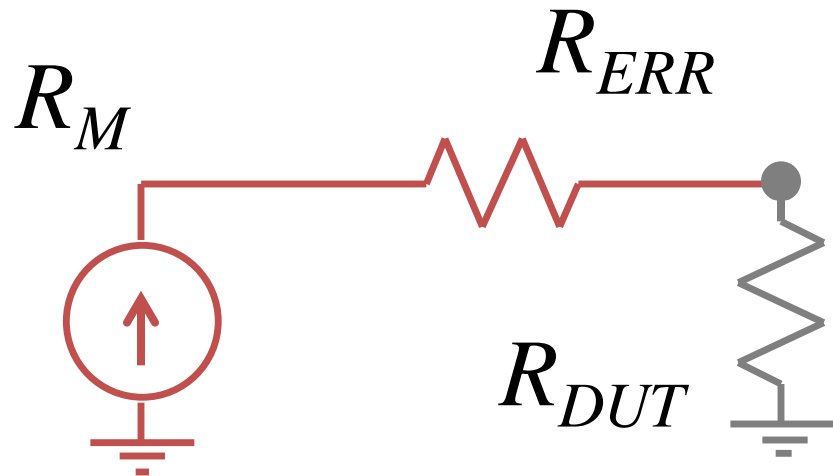
# Ошибки измерения

- Систематические
  - Кабели, переходники ...
  - Другие повторяемые
- Дрейф во времени
- Шум
- Нелинейность приемников, и т.п. ...
- Повторяемость контакта

Убираются  
калибровкой

# Основной принцип калибровки

- Систематические ошибки на примере двухточечного измерения сопротивления



$$R_M = R_{DUT} + R_{ERR}$$

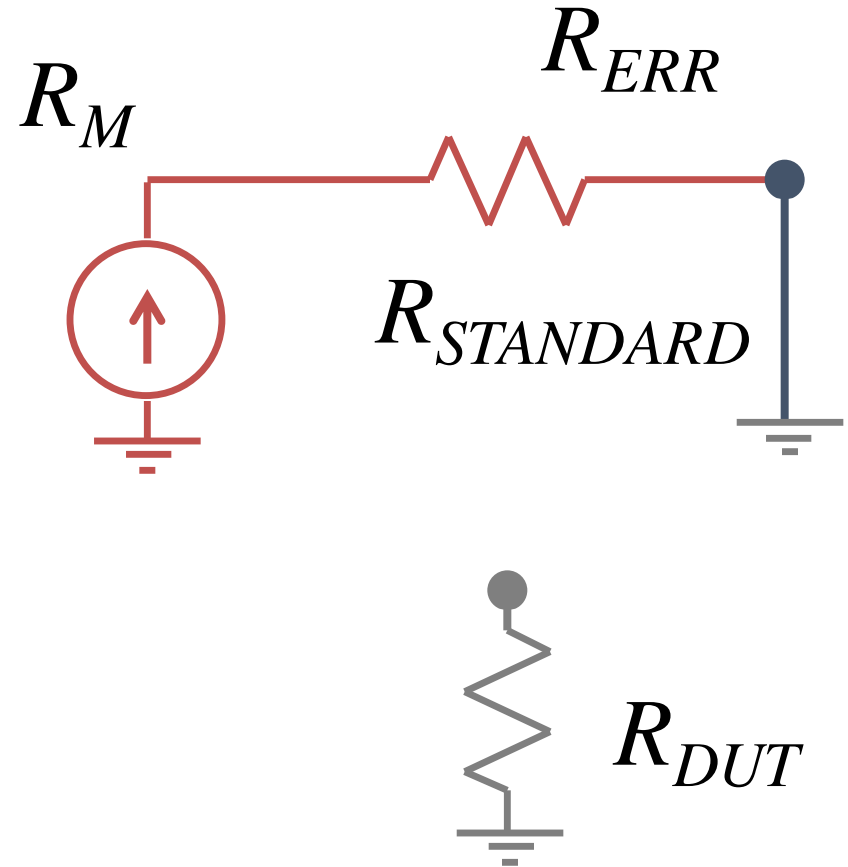
# Калибровка и коррекция ошибок

## ■ Этап калибровки

$$R_M = R_{ERR}$$

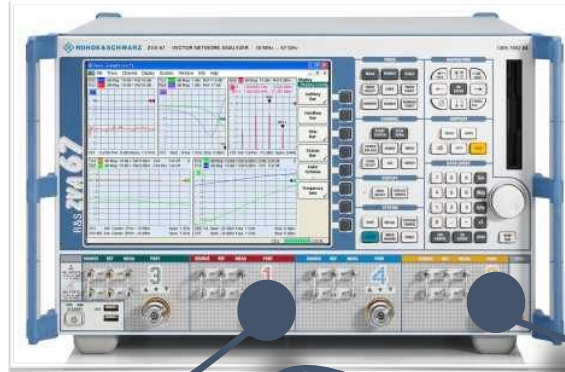
## ■ Коррекция ошибок

$$R_{DUT} = R_M - R_{ERR}$$

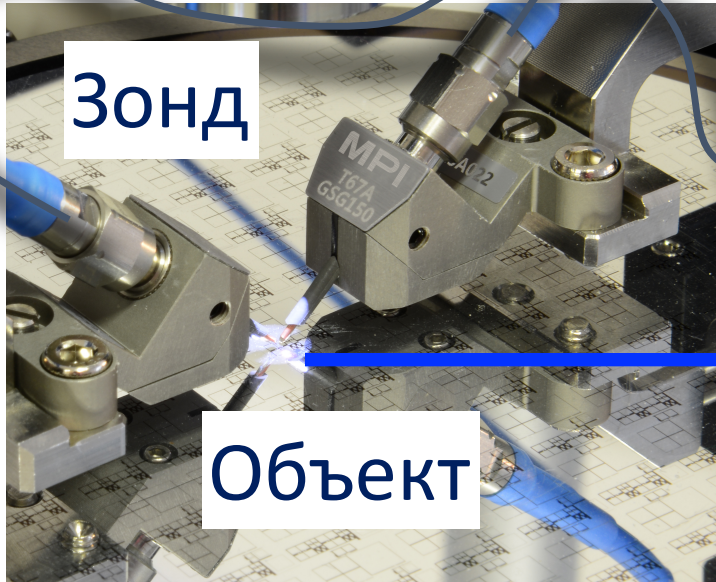


# Пример влияния ошибок измерения

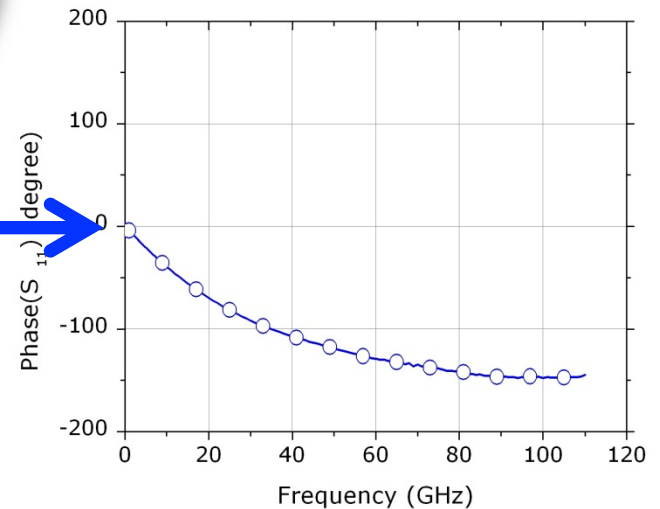
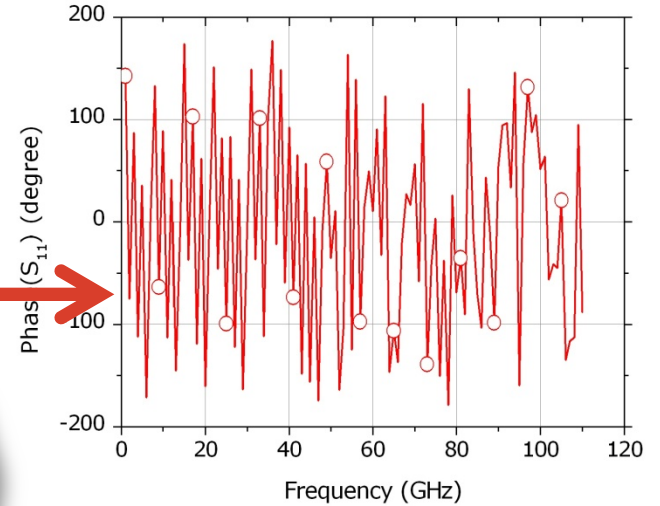
ВАЦ



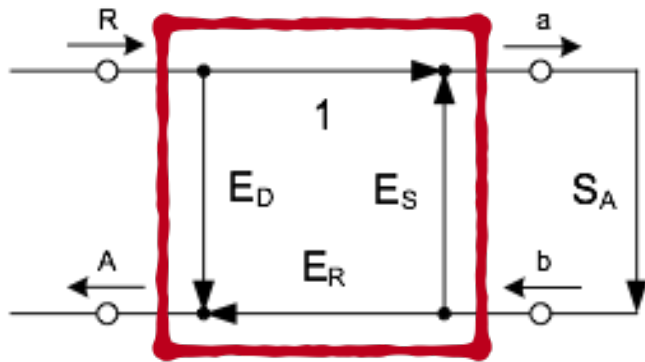
Зонд



Объект



# Результат калибровки



Модель ошибок  
системы

Объект  
измерения

- Убирает систематические погрешности, или:
  - Перемещает опорную плоскость измерения в точку измерения
  - Определяет значения опорного импеданса  $Z_{REF}$  в точке измерения

$$S_{ii} = \frac{b_i}{a_i} = \frac{Z_{DUT} - Z_{REF}}{Z_{DUT} + Z_{REF}}$$

# Методы калибровки

- Однопортовые
  - Sort-Open-Load (SOL)
- Двухпортовые общего назначения
  - Short-Open-Load-Thru (SOLT) = Thru-Open-Short-Math (TOSM)
- Двухпортовые специализированные
  - Thru-Reflect-Line (TRL)
  - Line-Reflect-Match (TRM) = Thru-Match-Reflect (TRM)
  - Line-Reflect-Reflect-Match (LRRM)
  - ....



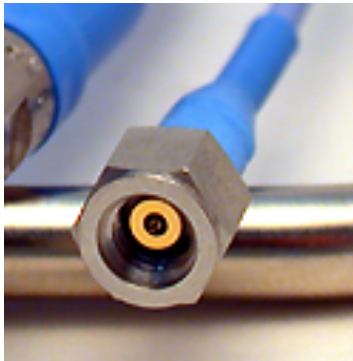
# Содержание

---

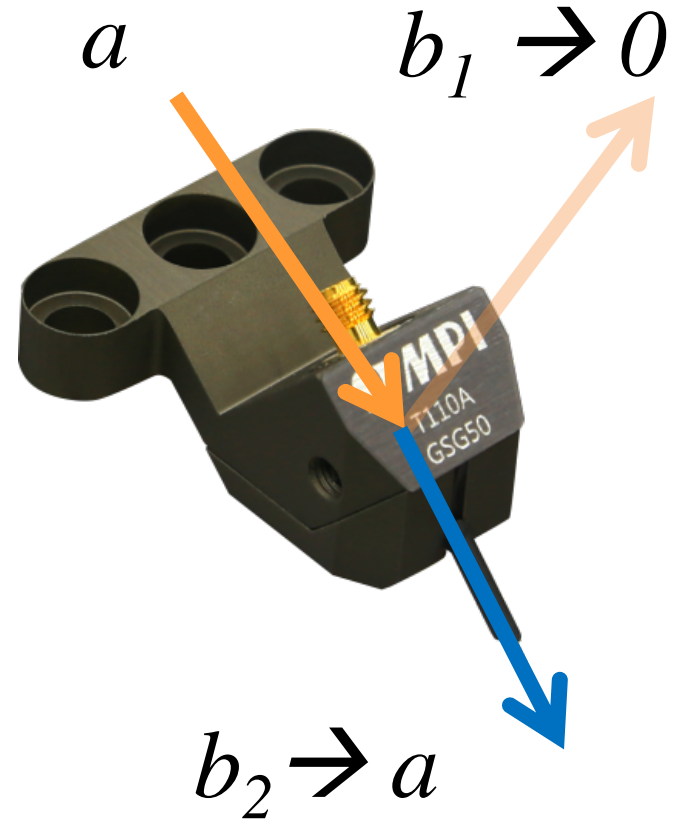
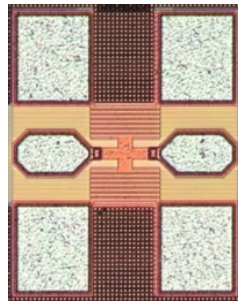
- Немного основных понятий
- Принцип ВЧ калибровки ВАЦ
- **Зондовые головки**
- О калибровочных стандартах
- Важные мелочи

# Согласование двух сред распределения

Коаксиальная среда



Копланарный волновод



# Копланарные контактные площадки

Ground

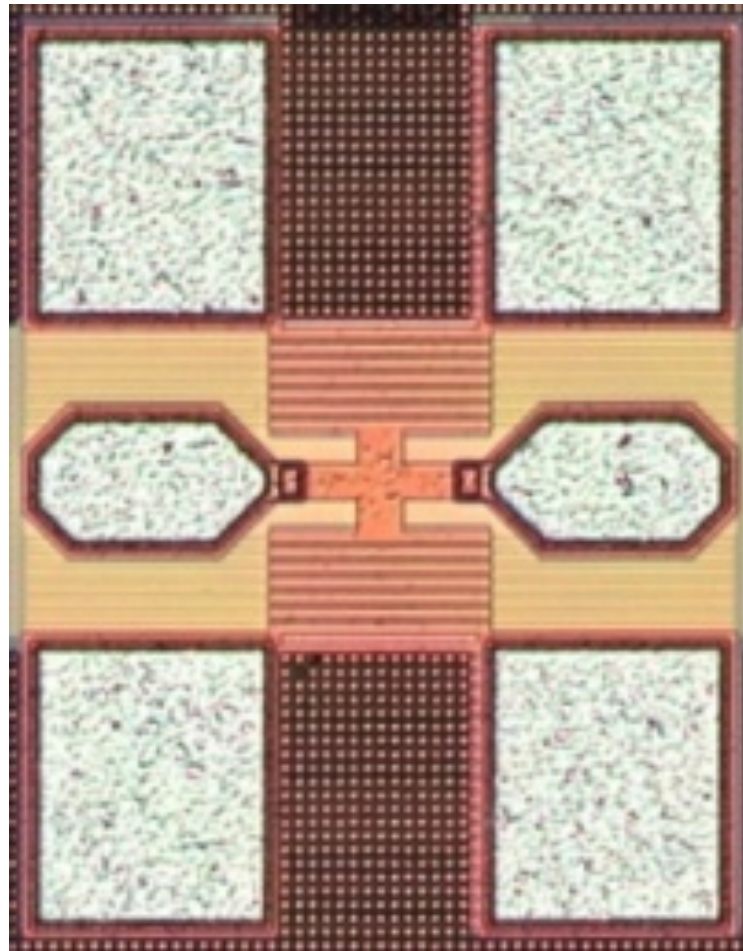
Ground

Signal

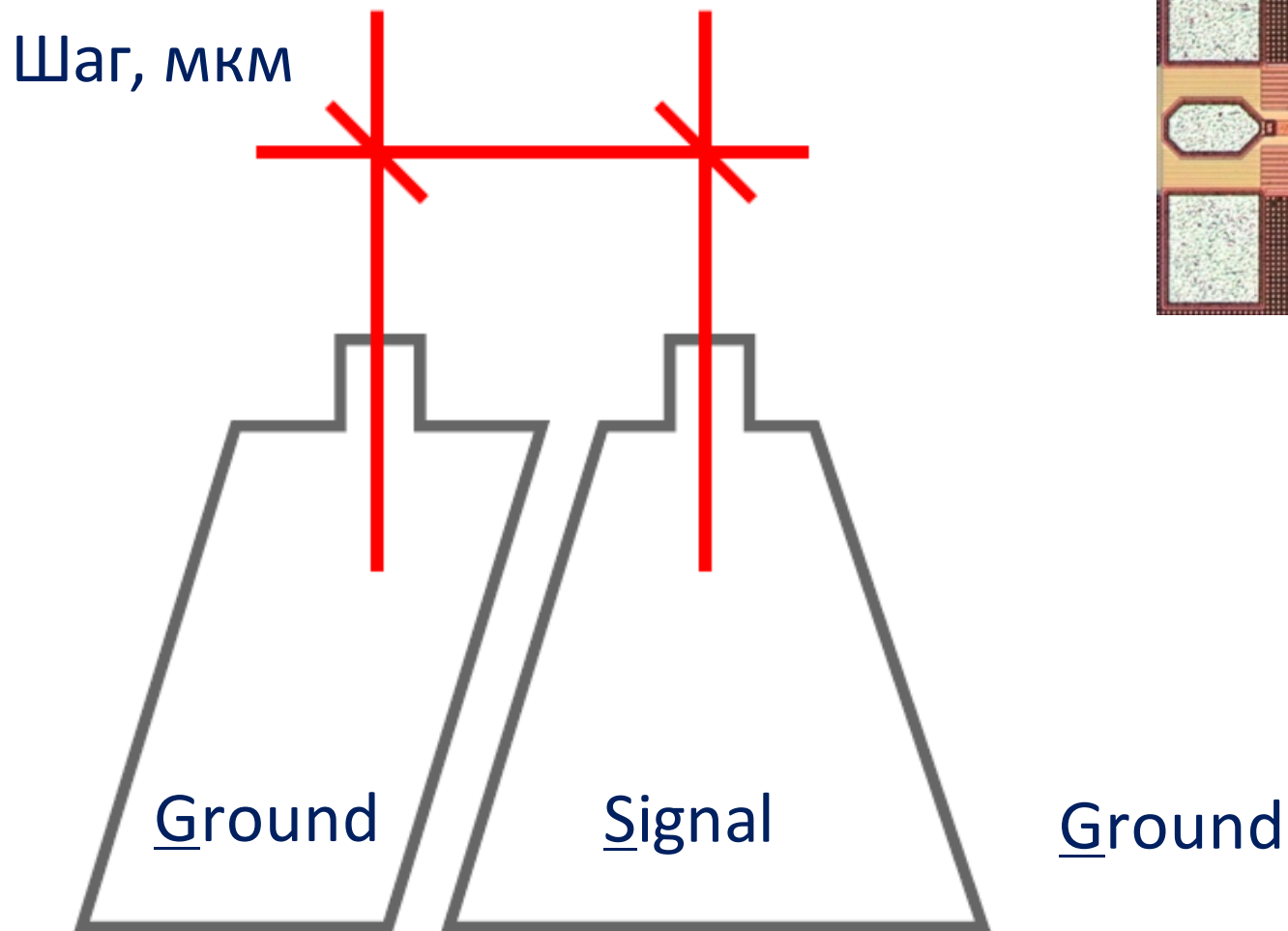
Signal

Ground

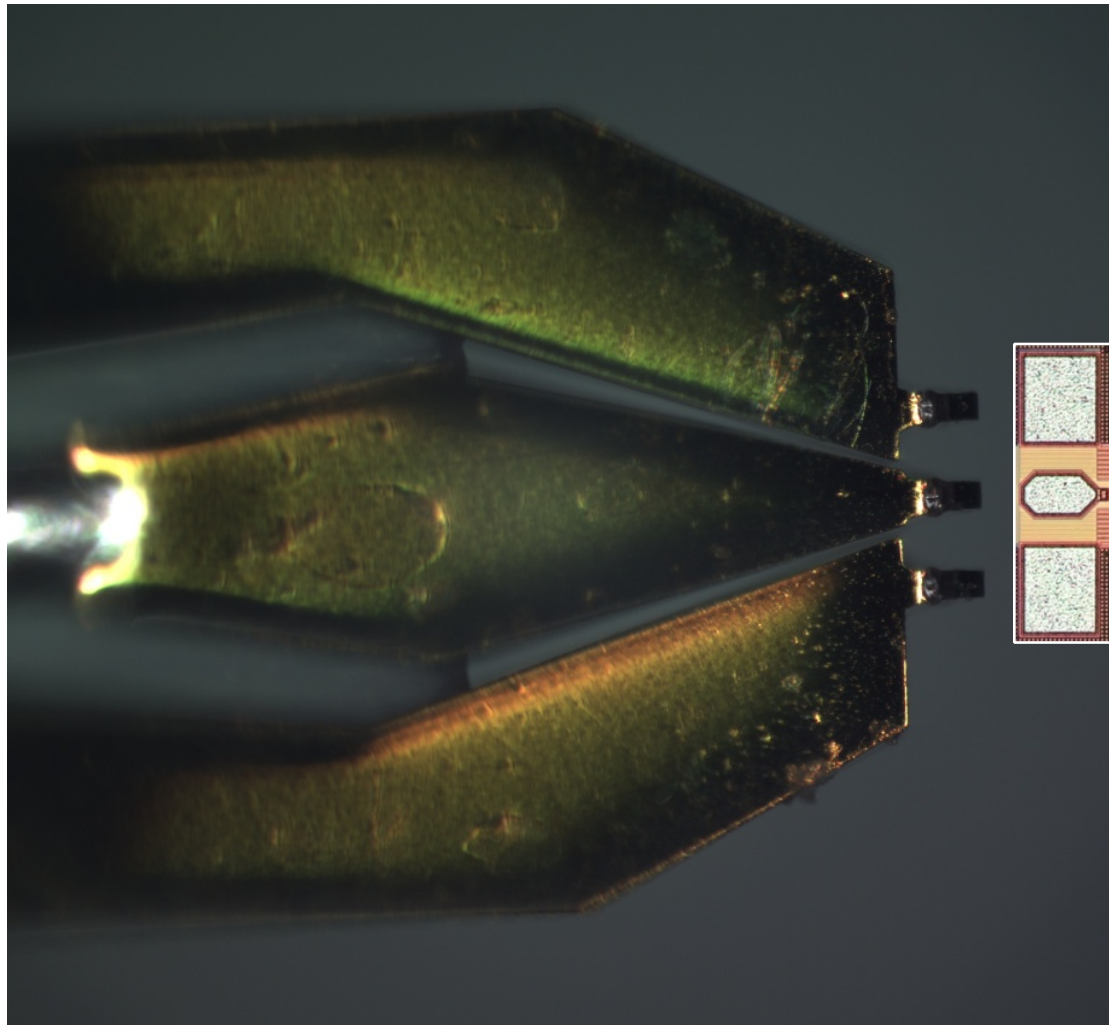
Ground



# Конфигурация и шаг зондовой головки



# Конфигурация и шаг зондовой головки



# Уникальный дизайн наконечника ТИТАН головки



US007977960B2

(12) **United States Patent**  
**Liu**

(10) **Patent No.:** **US 7,977,960 B2**  
(45) **Date of Patent:** **Jul. 12, 2011**

(54) **CANTILEVER TYPE PROBE HEAD HAVING INTRODUCING PORTION WITH END FACE HAVING A TAPERED PORTION AND AN EXTENDED RECTANGULAR PORTION**

(75) Inventor: **Shih-Ming Liu**, Taipei (TW)

(73) Assignee: **ALLSTRON Inc.**, Taipei (TW)

(\* ) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 61 days.

(21) Appl. No.: **12/423,525**

(22) Filed: **Apr. 14, 2009**

(65) **Prior Publication Data**

US 2010/0259290 A1 Oct. 14, 2010

(51) **Int. Cl.**  
**G01R 31/00** (2006.01)

(52) **U.S. Cl.** ..... **324/755.07; 324/755.01; 324/755.11**

(58) **Field of Classification Search** ..... None  
See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

6,633,176 B2\* 10/2003 Takemoto et al. .... 324/754  
6,842,023 B2\* 1/2005 Yoshida et al. .... 324/754  
7,148,709 B2\* 12/2006 Kister ..... 324/754  
2006/0171425 A1\* 8/2006 Lee et al. .... 372/1  
\* cited by examiner

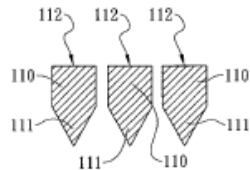
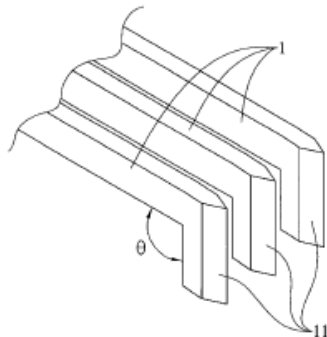
*Primary Examiner* — Minh N Tang

(74) *Attorney, Agent, or Firm* — Muncy, Geissler, Olds & Lowe, PLLC

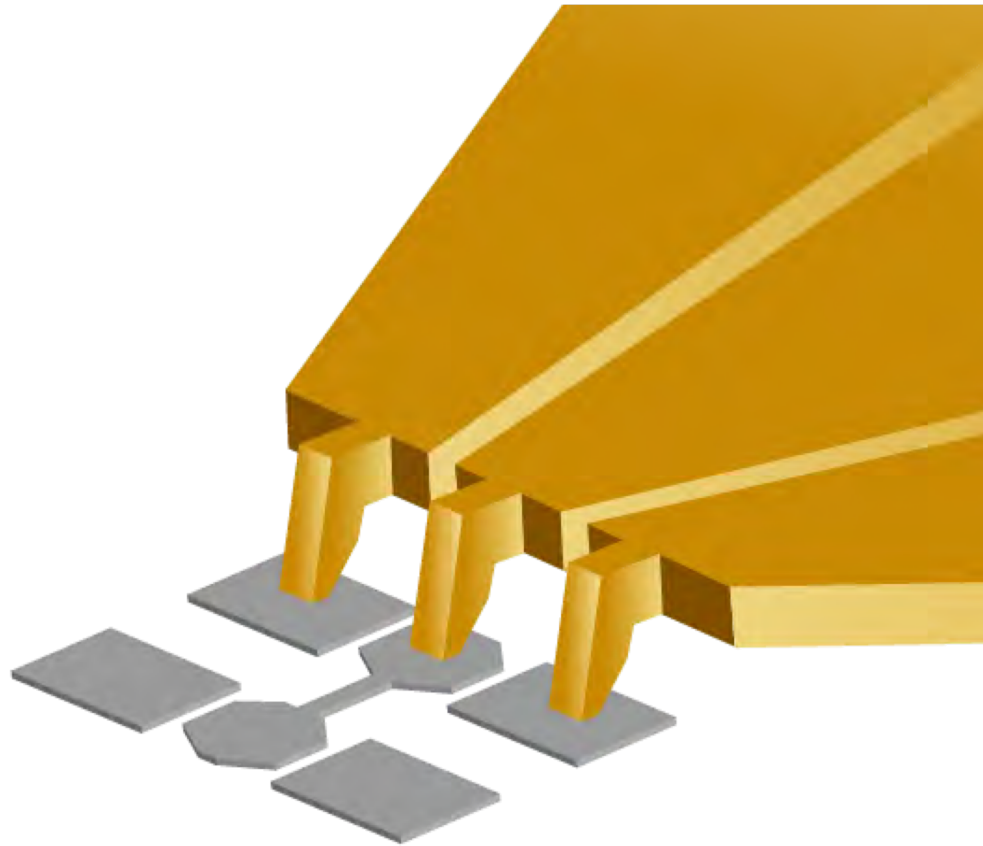
(57) **ABSTRACT**

A cantilever type probe head, the head at least includes a probe having an introducing portion for contacting a pad of a member to be probed, the introducing portion is a conical column with its end face having a tapered portion and an extended rectangular portion, the tapered portion and the extended rectangular portion are provided in a coplanar position at the end face on the introducing portion.

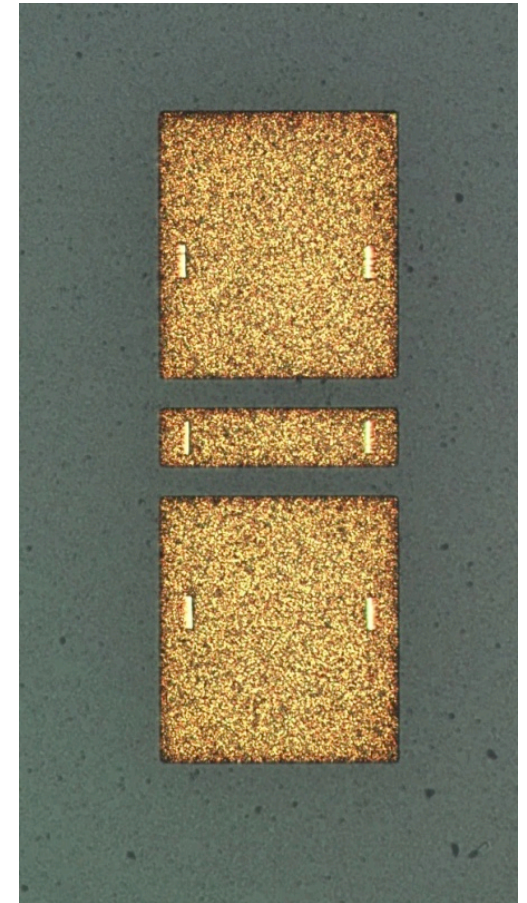
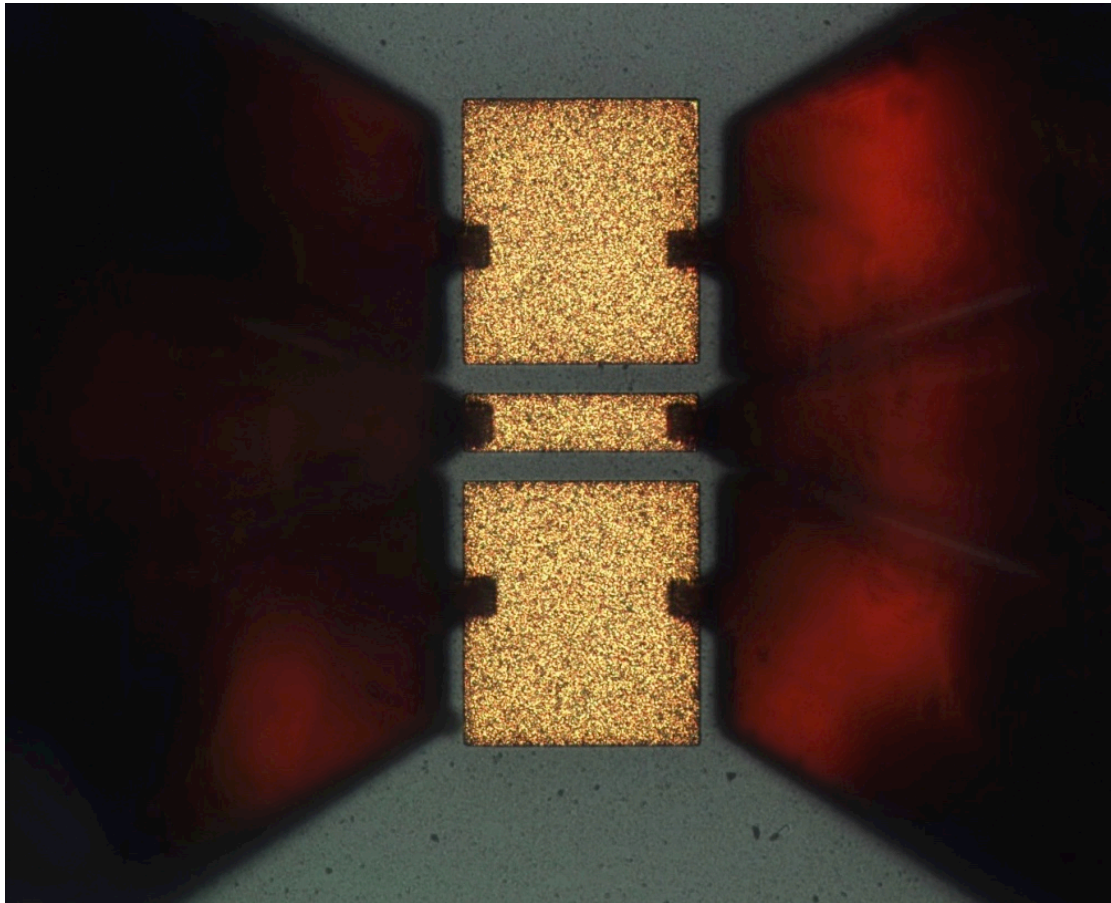
**11 Claims, 6 Drawing Sheets**



# Принцип контактирования как у обычной иглы

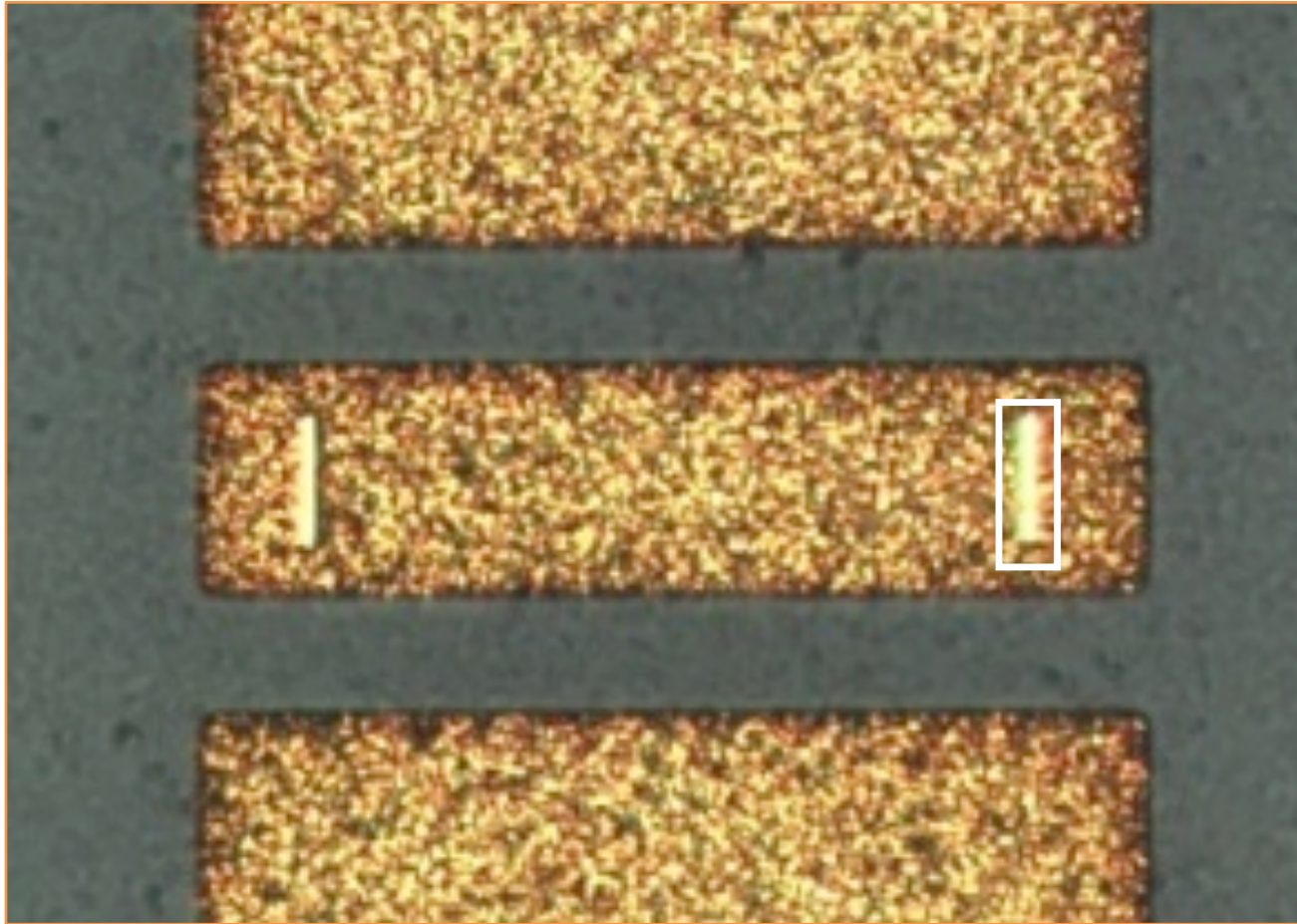


# Вы видите точку электрического контакта





# Контактный отпечаток наконечника ТИТАН



5x30 мкм

# Содержание

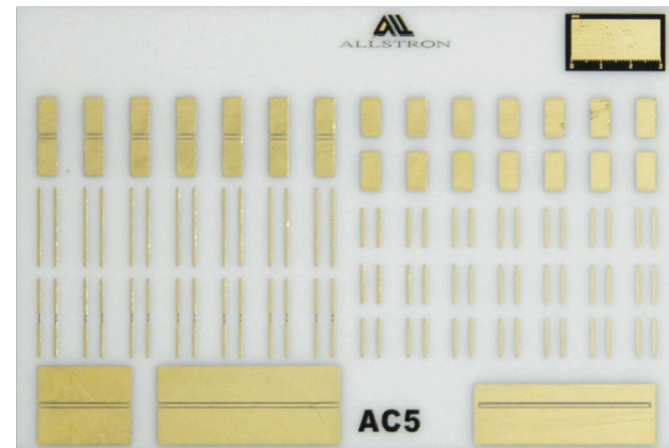
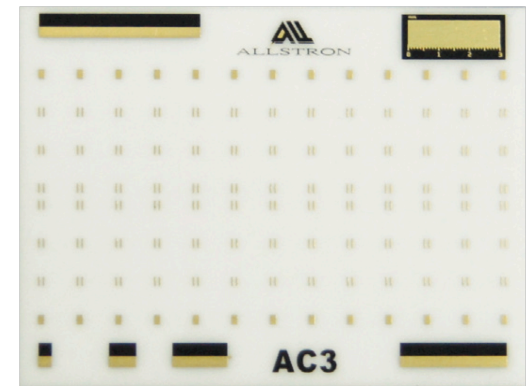
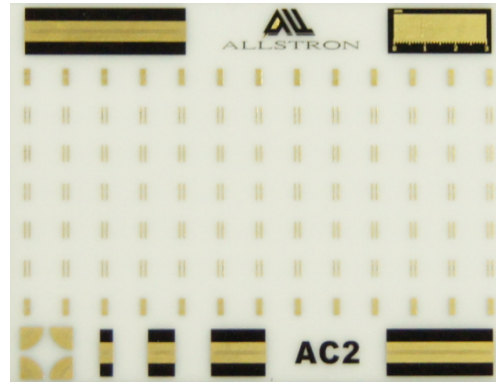
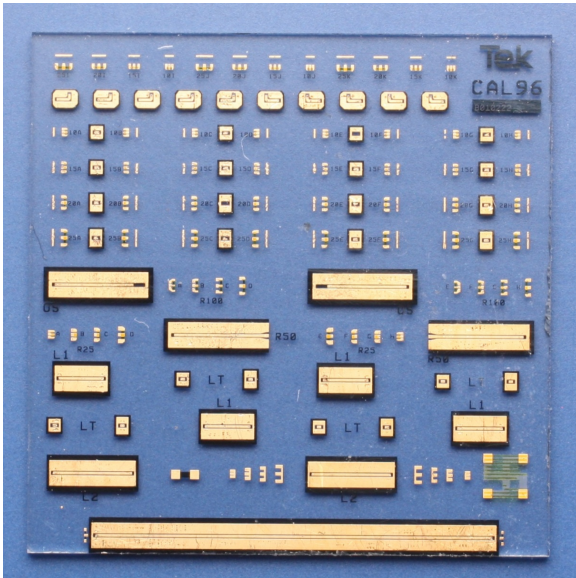
---

- Немного основных понятий
- Принцип ВЧ калибровки ВАЦ
- Зондовые головки
- О калибровочных стандартах
- Важные мелочи

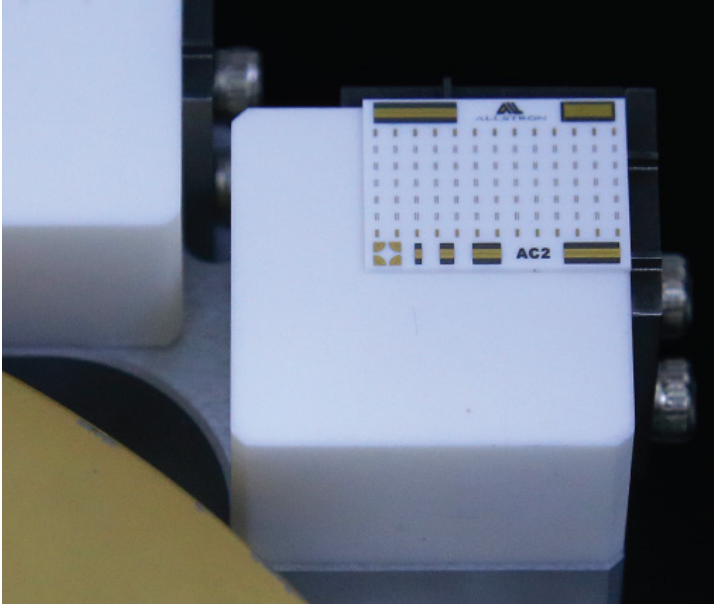
# Калибровочные стандарты



# Калибровочные стандарты на подложках



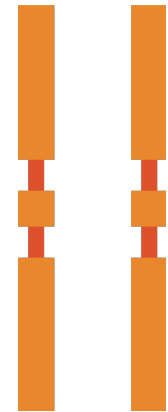
# Калибровочные стандарты на подложках



Холостой ход



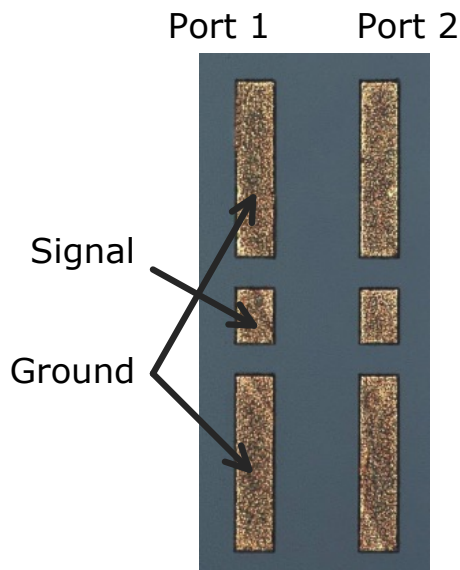
Согласованная нагрузка



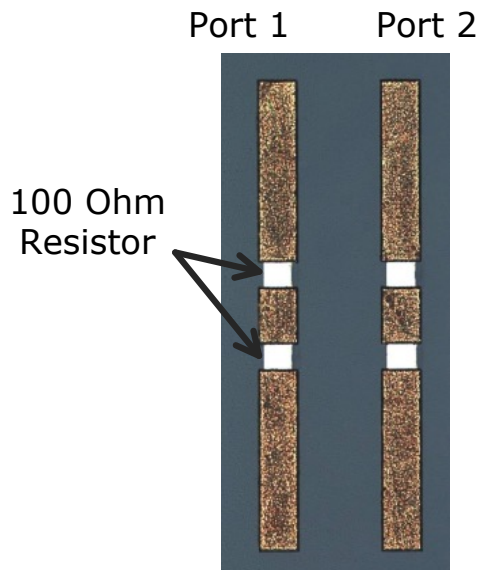
- Электрические характеристики известны (рассчитаны/измерены производителем)
- Применяются для смещения плоскости измерения к концу зондовых головок

# Пример стандартов GSG конфигурации

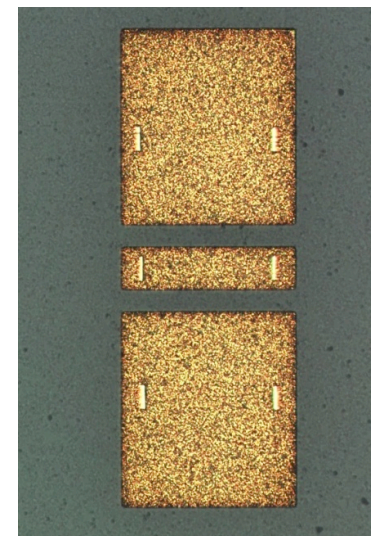
Холостой  
ход



Согласованная  
нагрузка

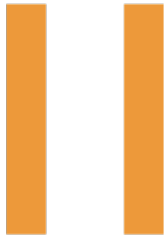


Проход  
(линия)



# Пример конфигурации GS и SG

## SG-GS Elements



Short



Open

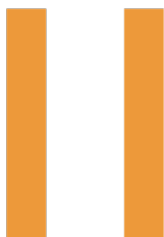


Load



Thru

## GS-SG Elements



Short



Open



Load



Thru

# Копланарные калибровочные подложки

- Стандарты оптимизированные под конкретную технологию головки
  - Головки и стандарты одного производителя
- Конфигурации должны совпадать
  - T40A-GSG-125 с AC-2 подложкой
- Обычно один стандарт поддерживает несколько головок с разным шагом



# Характеризованные стандарты MPI...

Nominal capacitance per unit length, pF/cm 1.492

Nominal characteristic impedance @20 GHz 50  $\Omega$

Effective dielectric constant @20 GHz, real part 4.94

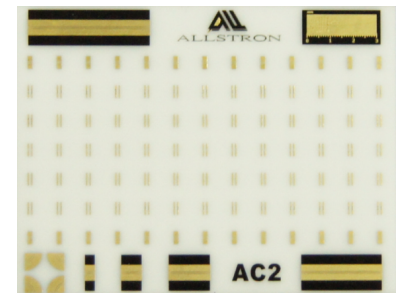
Effective velocity factor @20 GHz 0.45

Parameters of the simplified model of line losses

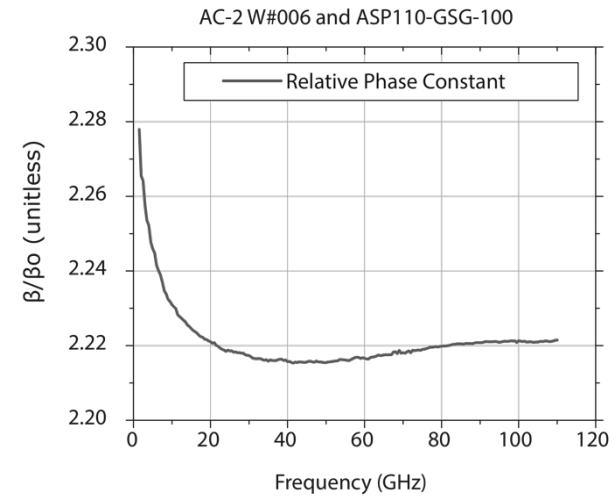
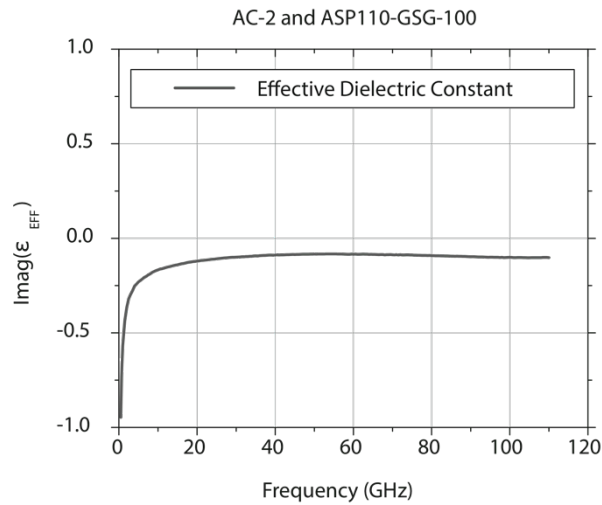
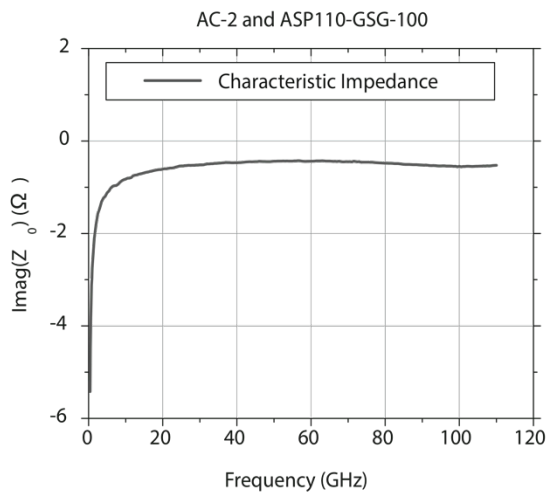
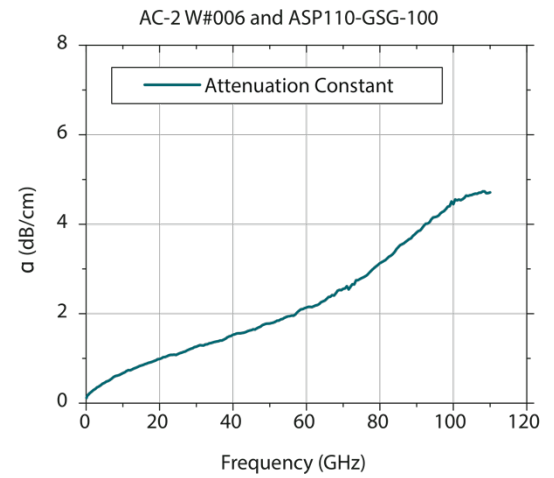
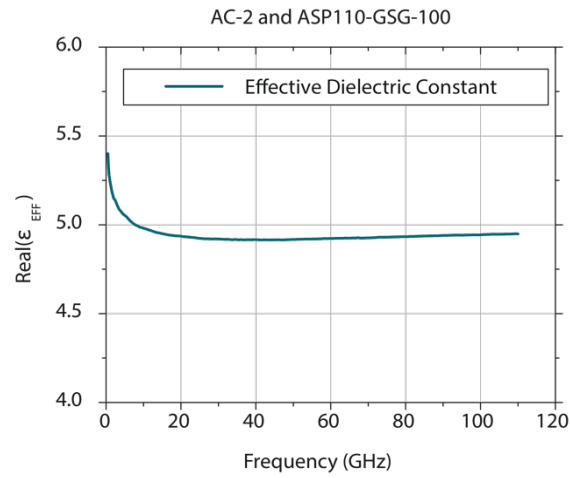
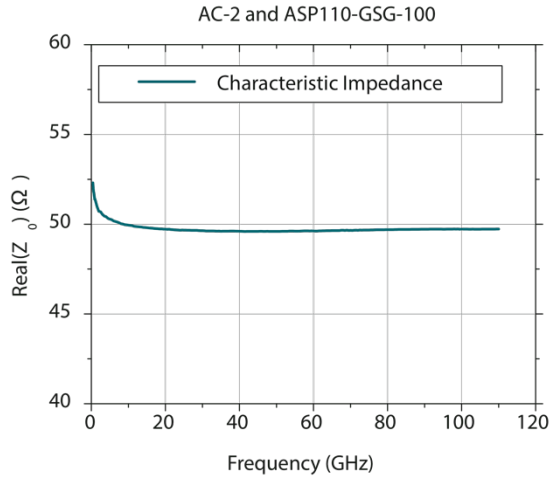
Reference loss, dB 0.34

Reference delay, ps 25.5

Reference frequency, GHz 20



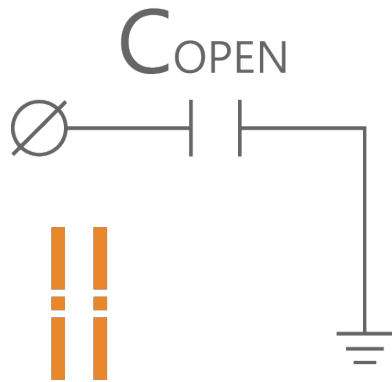
# ... по методике NIST



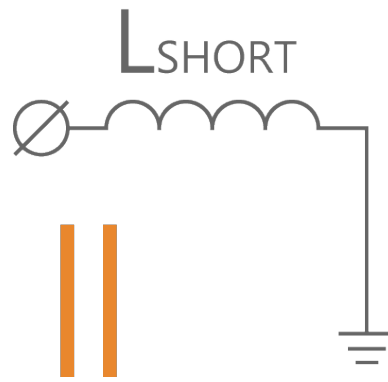
# Электрические модели стандартов

- Часто называют “Корректировочными коэффициентами зондовых головок”

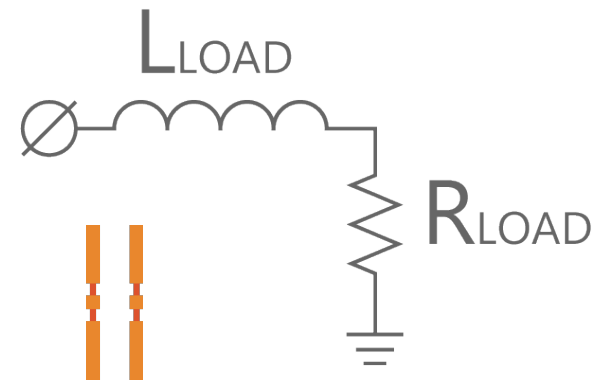
Холостой  
ход



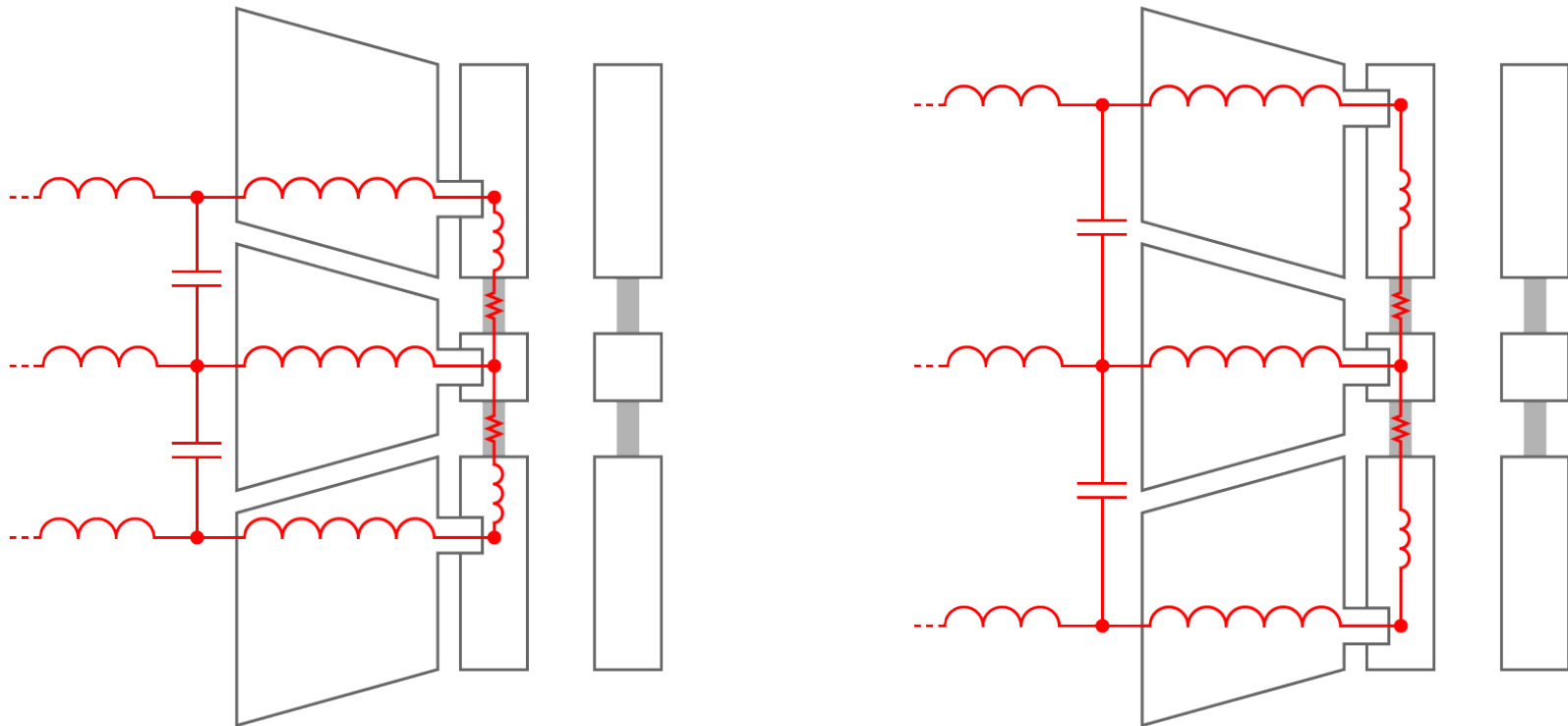
Короткое  
Замыкание



Согласованная  
нагрузка

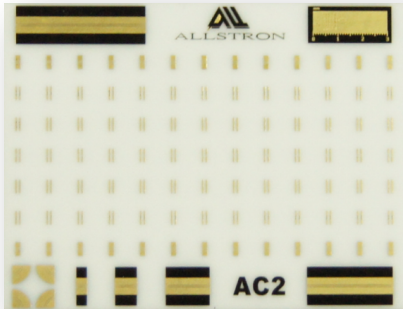


# Электрические модели стандартов



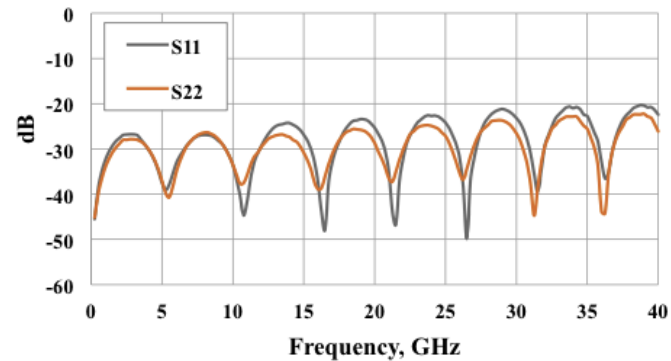
- Определяются **только** в паре стандарт-головка

# Электрические модели стандартов



S/N:	14Z999	
P/N:	T40A-GSG100	
Probe Type:	A (45°)	<i>Calibration Coefficients for AC-2</i> C - Open, fF : 5,2 L - Short, pH : 6,3 L - Load , pH : -2,5
Configuration:	GSG	
Pitch (um):	100	
Connector type:	2.92 mm	
Max. Freq. (GHz):	40	

## TEST REPORT



- Зависят от конфигурации и типа головки

# Электрические модели стандартов

## ■ Проход и длинные линии

### Electrical Characteristics of CPW Line Standards

Nominal capacitance per unit length, pF/cm	1.492
Nominal characteristic impedance @20 GHz	50 $\Omega$
Effective dielectric constant @20 GHz, real part	4.94
Effective velocity factor @20 GHz	0.45
Parameters of the simplified model of line losses	
Reference loss, dB	0.34
Reference delay, ps	25.5
Reference frequency, GHz	20
Electrical length of line, ps	
Thru	1.10
Line 1 (0309)	3.00
Line 2 (0509)	6.50
Line 3 (0709)	13.00
Line 4 (1309)	25.50
Line 5 (0101)	38.50



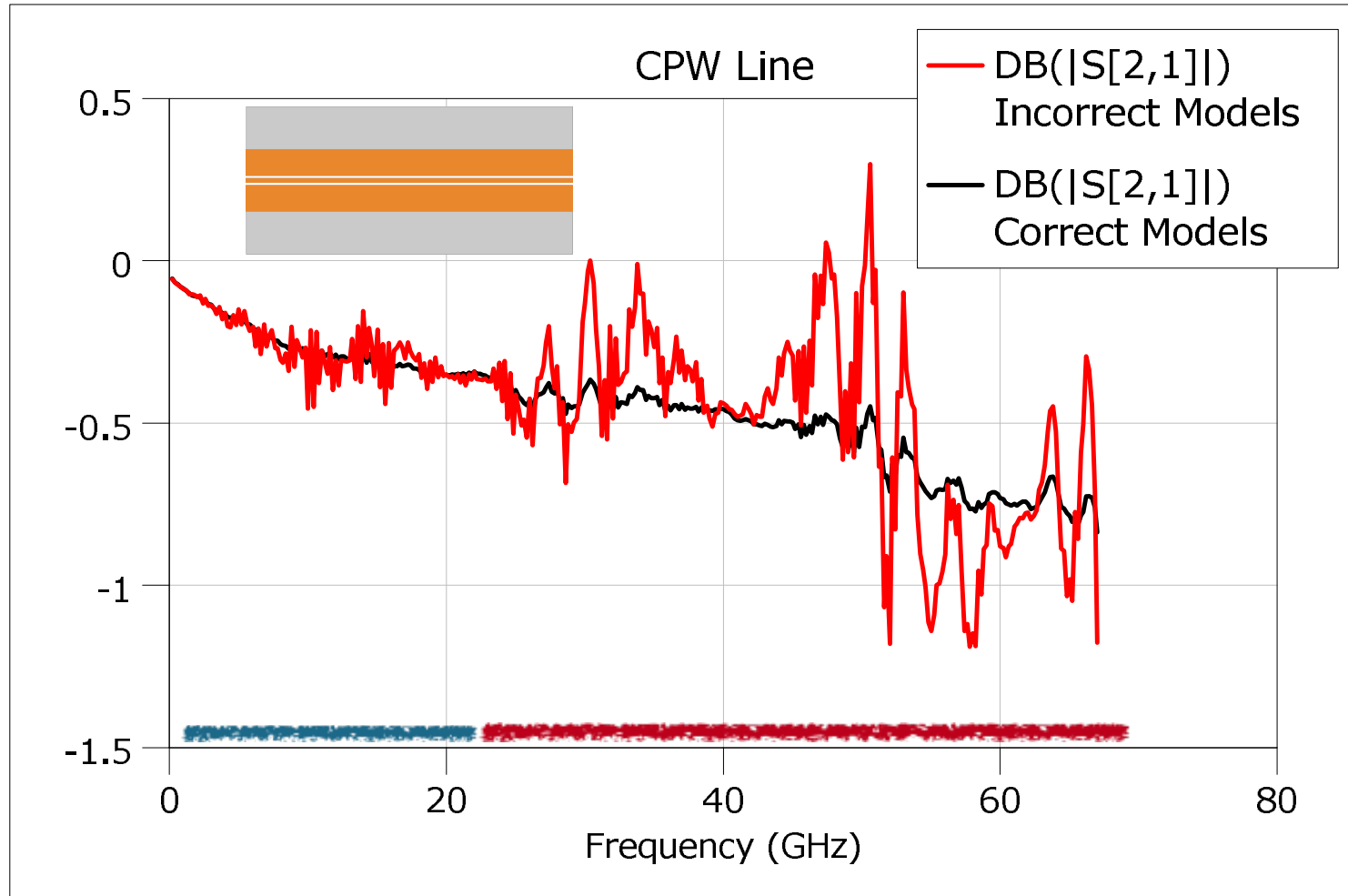
Обратитесь к руководству  
по калибровочной  
подложке

# SOLT калибровка общего применения

Стандарт	Требования к параметрам	Пример определения
K3 (Short)	Полностью известен	$R=0$ ; $L=6.3\text{pH}$
XX (Open)	Полностью известен	$R=\text{inf}$ ; $C=5.2\text{fF}$
CH (Load)	Полностью известен	$R=50$ ; $L=-2.5\text{pH}$
Проход (Thru)	Полностью известен	$Z_0=50\Omega$ $\alpha=0$ , $\tau=1.1\text{pS}$

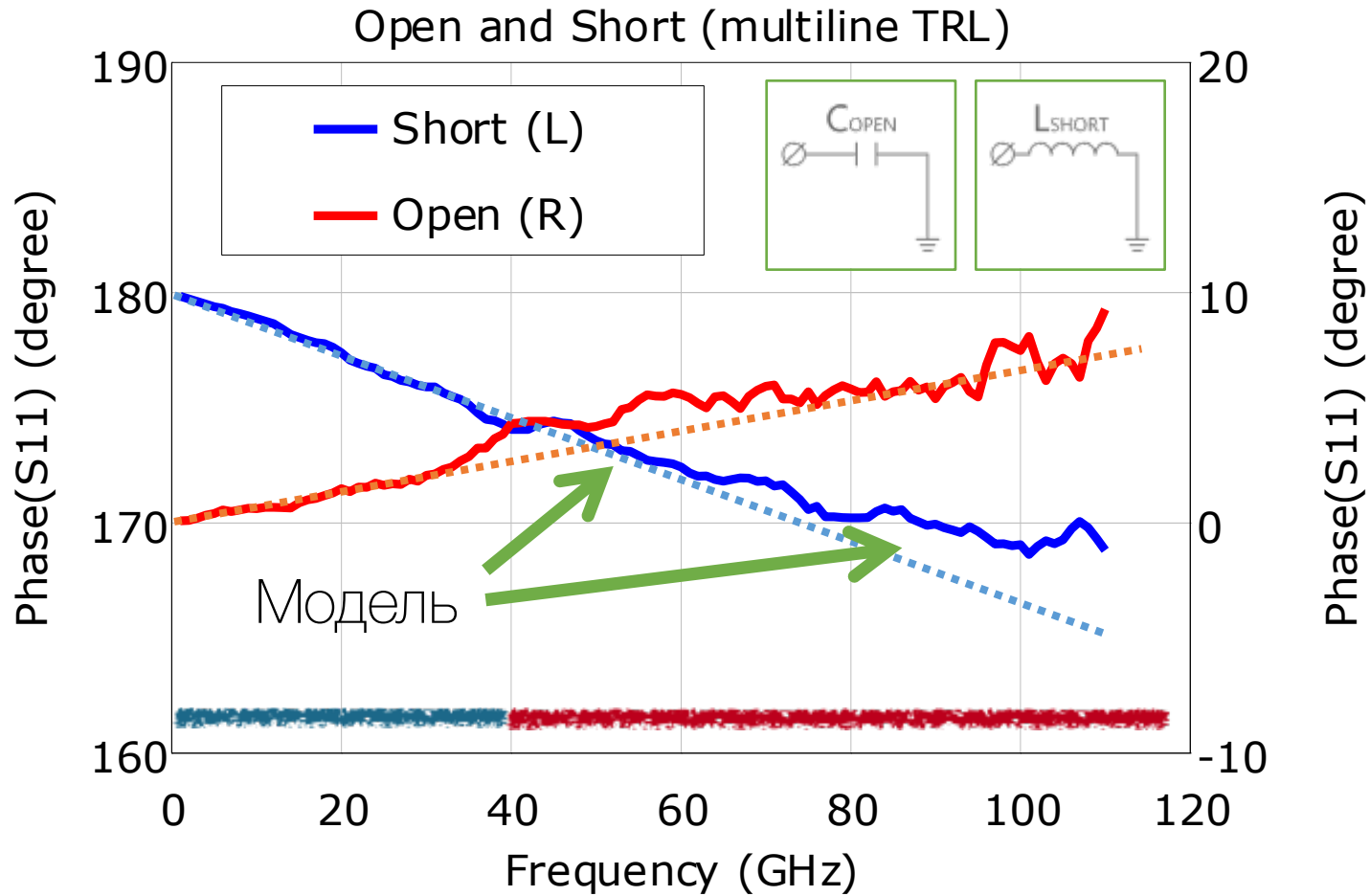
W. Kruppa and K. F. Sodomsky, "An explicit solution for the scattering parameters of a linear two-port measured with an imperfect test set," Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, vol. MTT-19, pp. 122-123, 1971.

# Влияние моделей стандартов на точность SOLT





# Специализированные методы > 40 ГГц

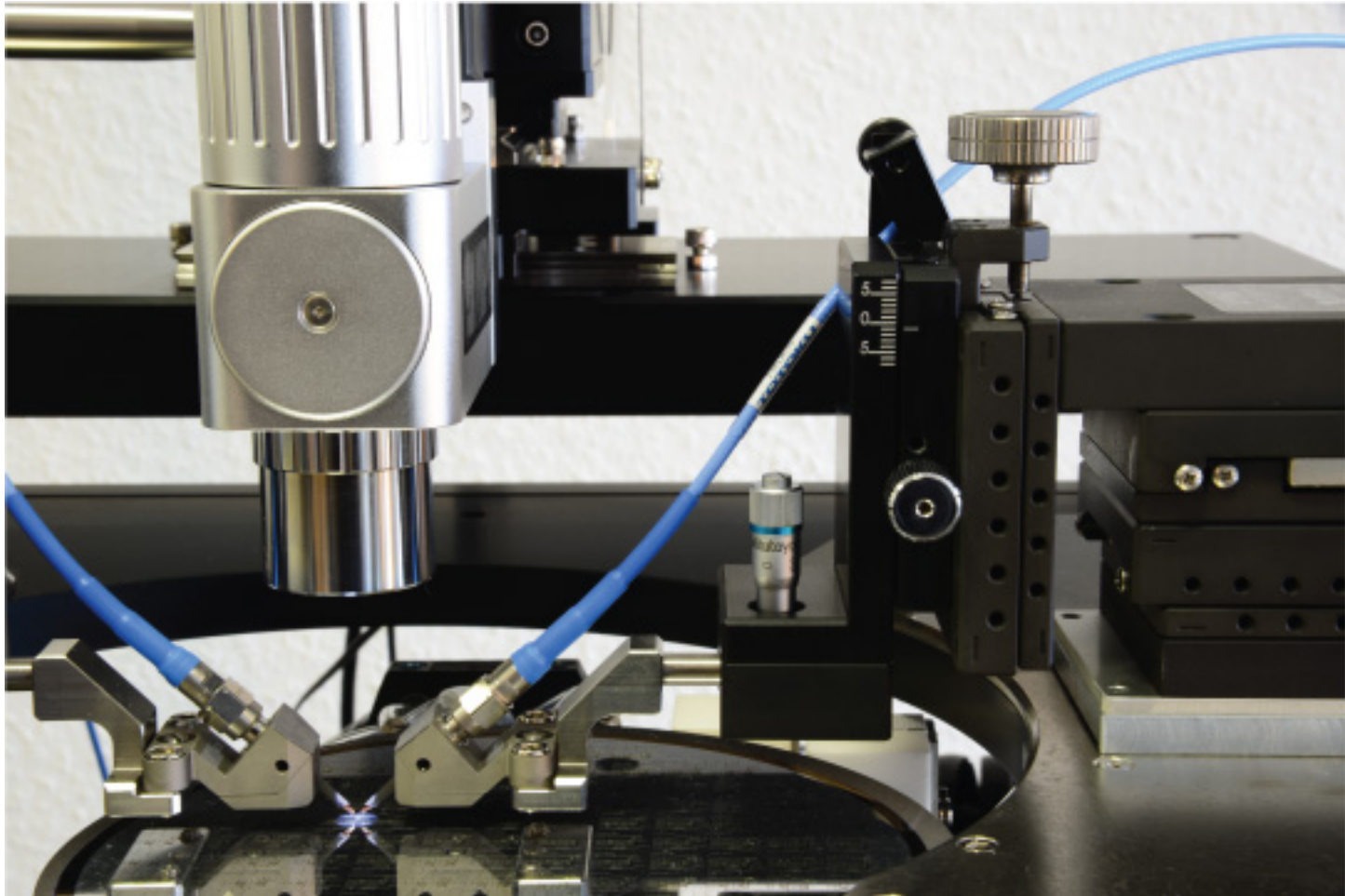


# Содержание

---

- Немного основных понятий
- Принцип ВЧ калибровки ВАЦ
- Зондовые головки
- О калибровочных стандартах
- Важные мелочи

# ВЧ кабели для зондовых станций

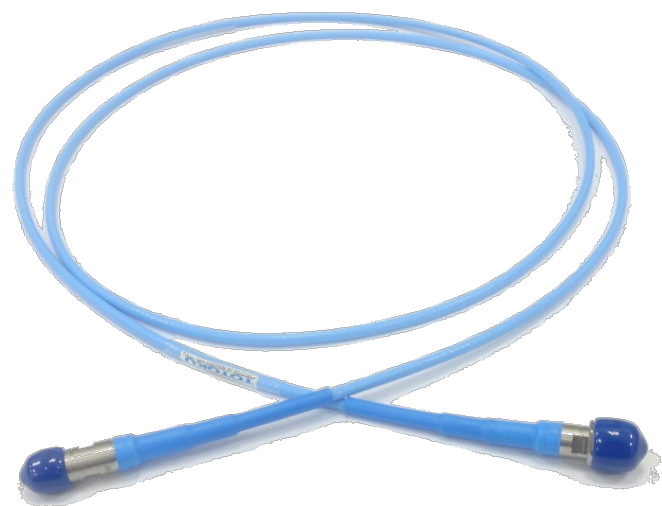


# ВЧ кабели: в чем разница?

Для ВАЦ

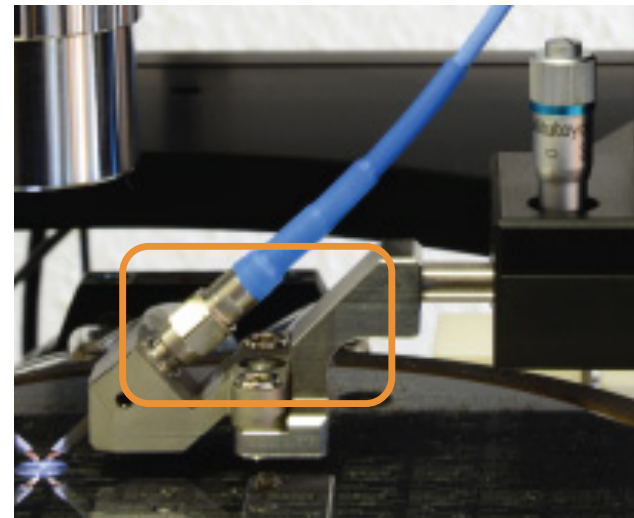
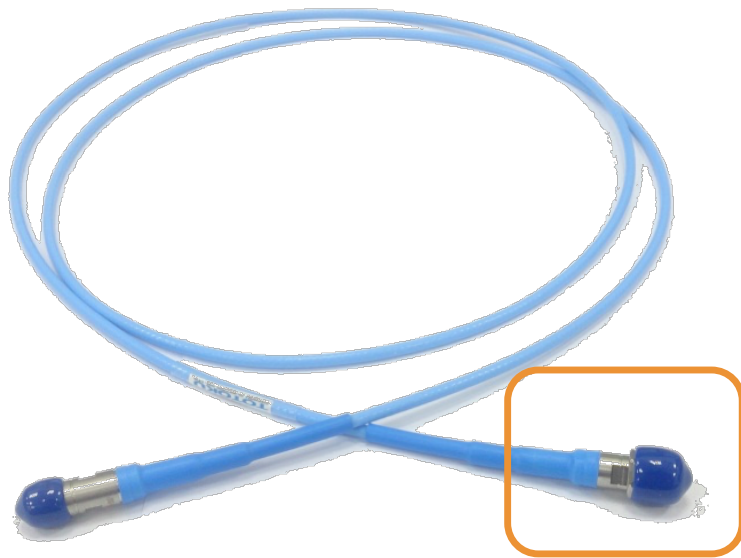


Для зондовых станций

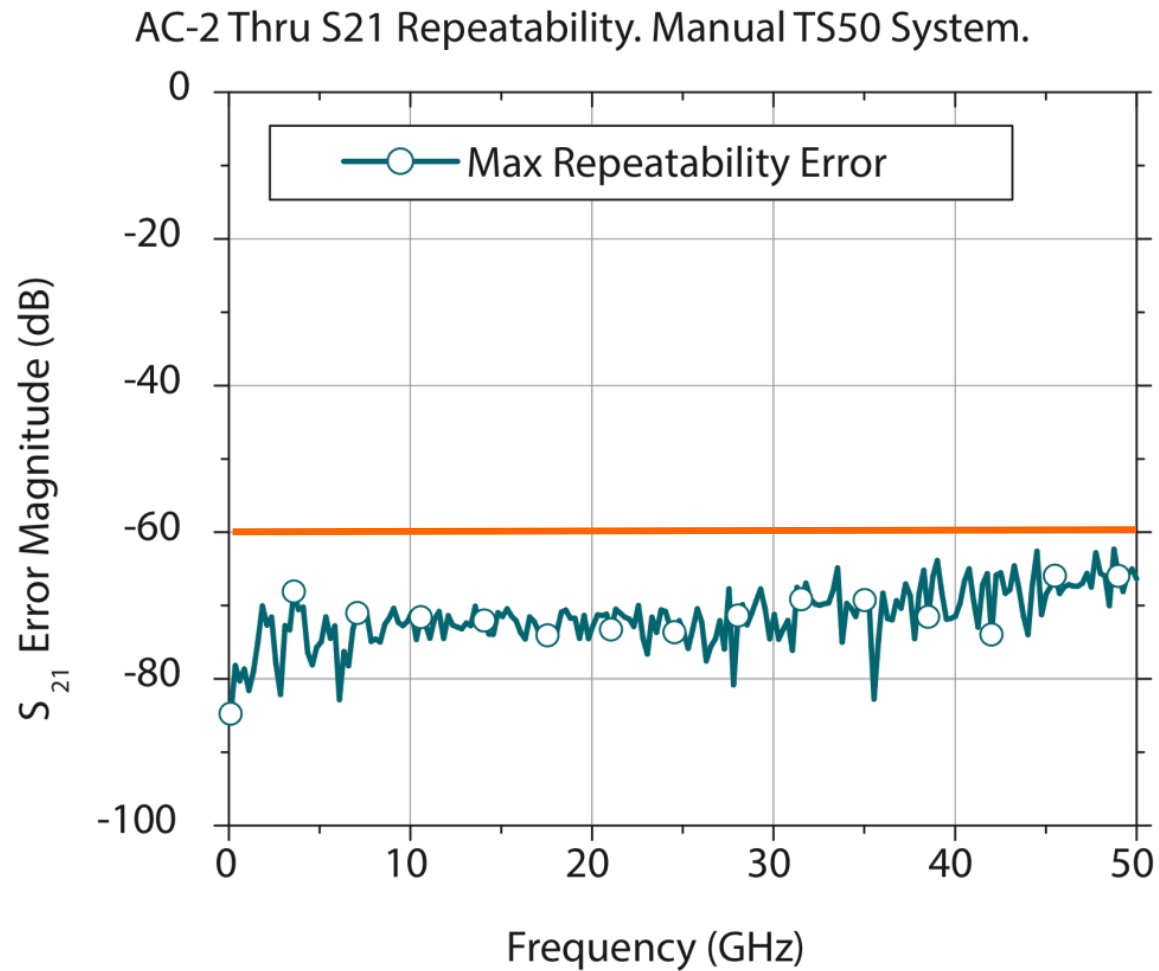


# Кабели для зондовых станций

- Планаризация головок, контактирование
  - Минимальных механический стресс
- Конструкция ВЧ рук манипулятора
  - Компактный штекер



# Типичная повторяемость контакта на ручной станции

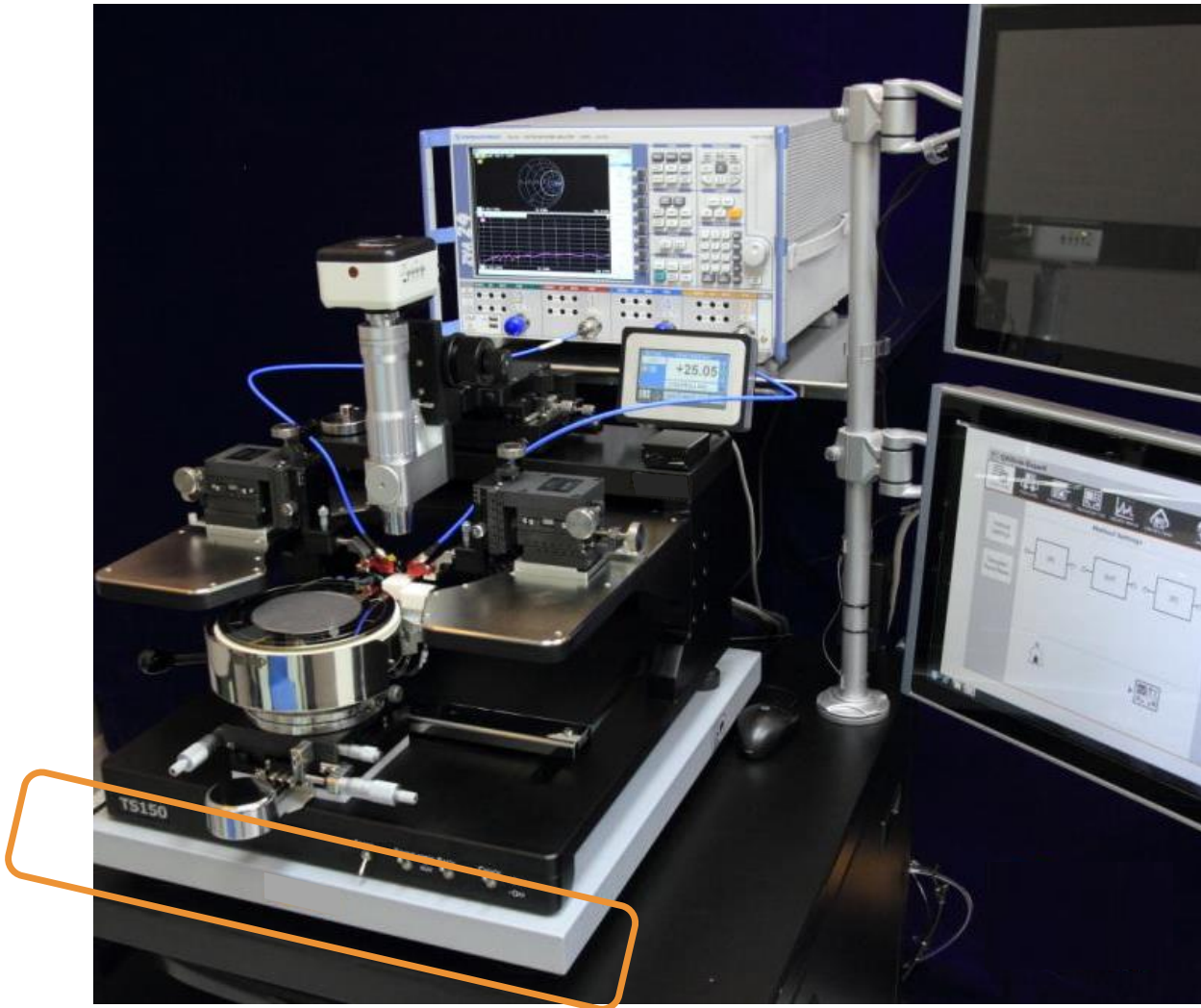


# Качество контактирования

---

- Повторяемость
  - Калибровка
  - Измерения
- Стабильность
  - Длительные измерения

# Контактирование: изоляция от внешних вибраций





# Контактирование: дизайн повышенной жесткости



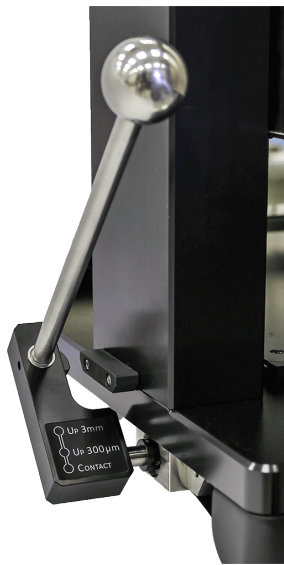
# Динамометрические ключи



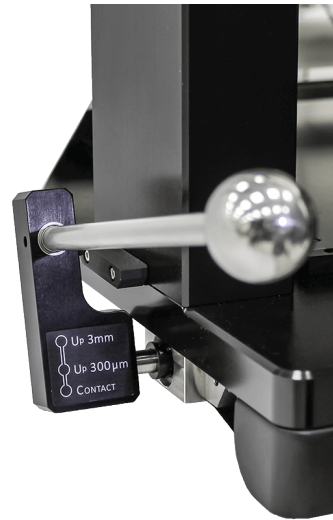
- для улучшения повторяемости коаксиальных соединений

# Контактирование: уникальный привод зондового стола

## Три фиксированные позиции



Загрузка  
3 мм



Перемещение  
300 мкм



Контакт

# MPI: Функция автоматического контакта

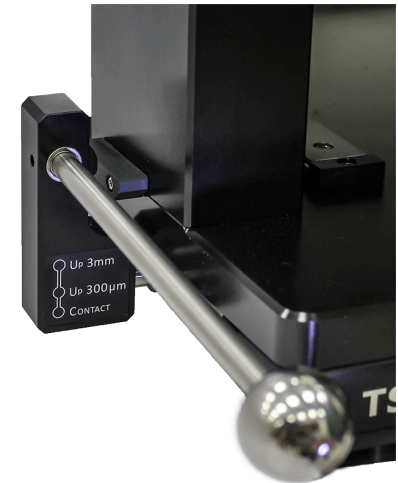
Подъем



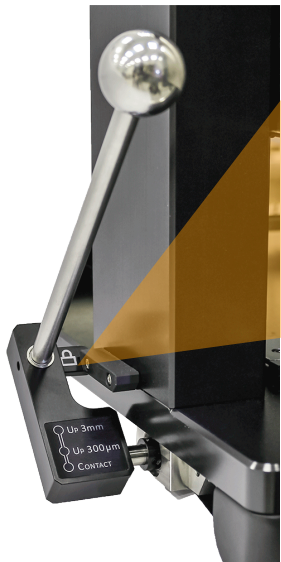
Контакт

1 мкм повторяемость

независимо от оператора



# Блокиратор позиции в режиме загрузки

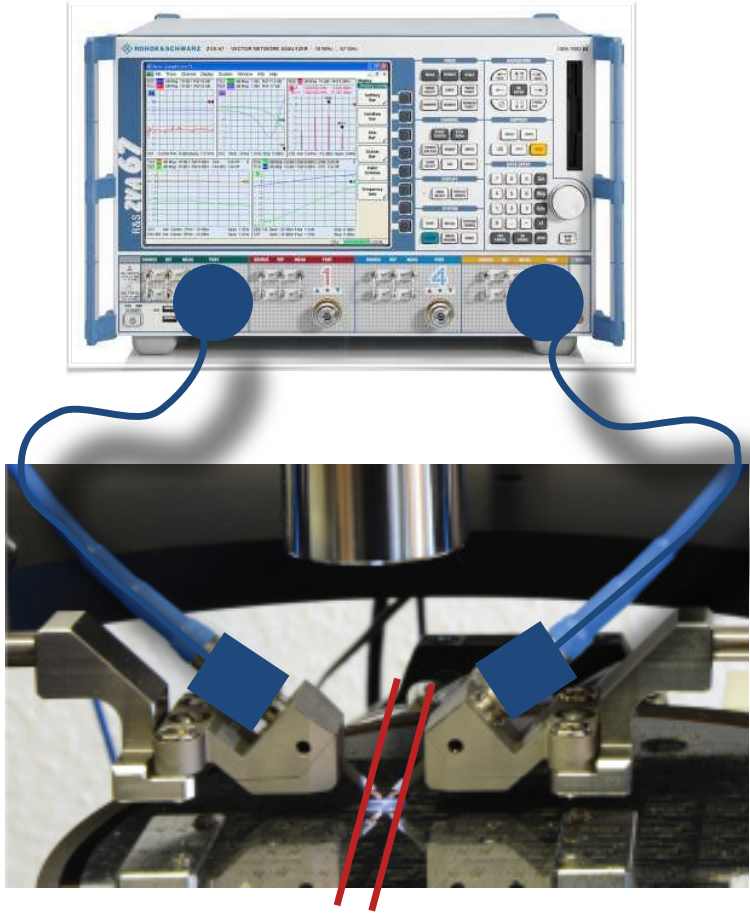


Заблокировано

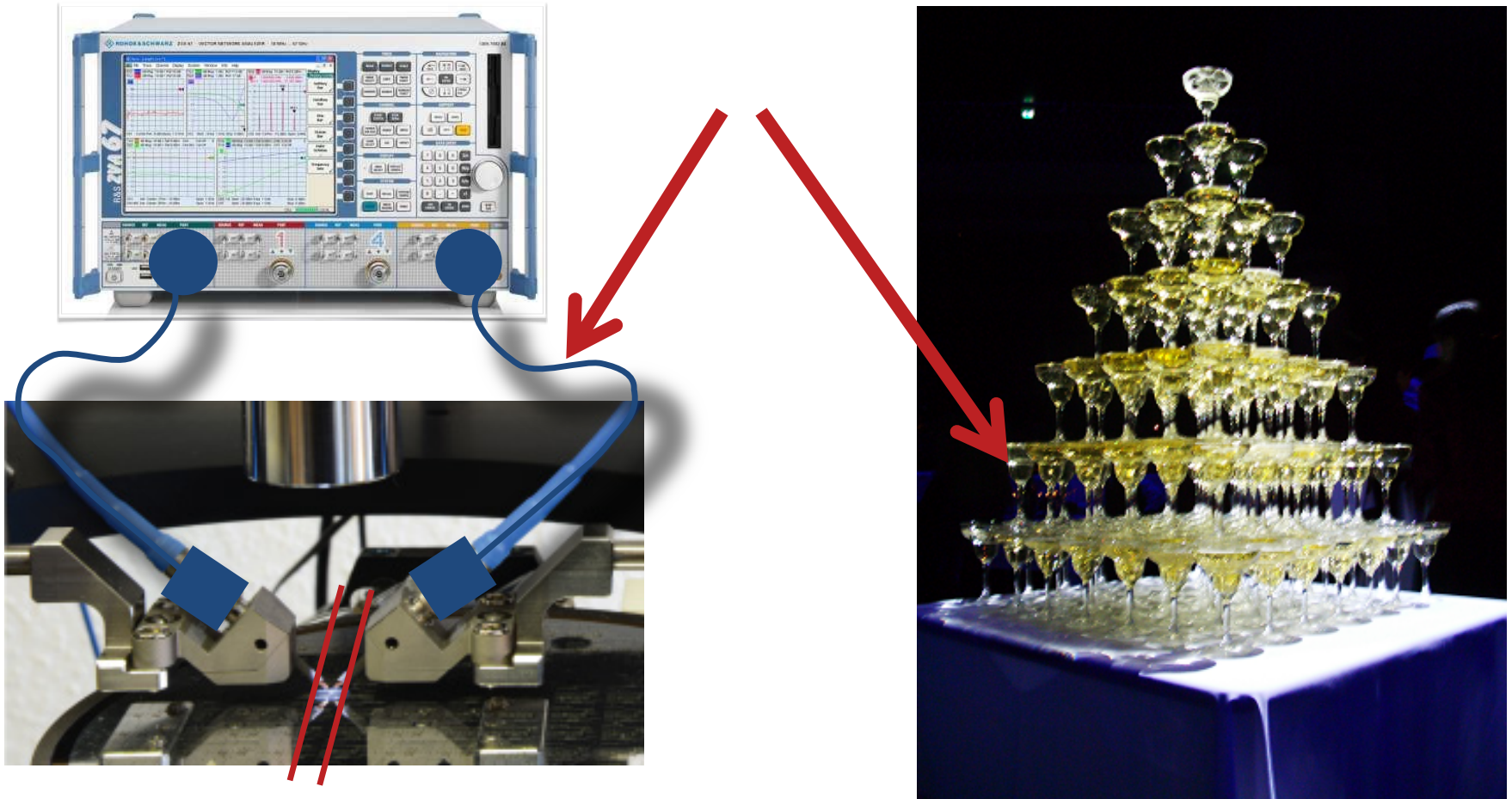


Разблокировано

# Откалиброванная ВЧ система



# Если Вы подвигаете ВЧ кабель



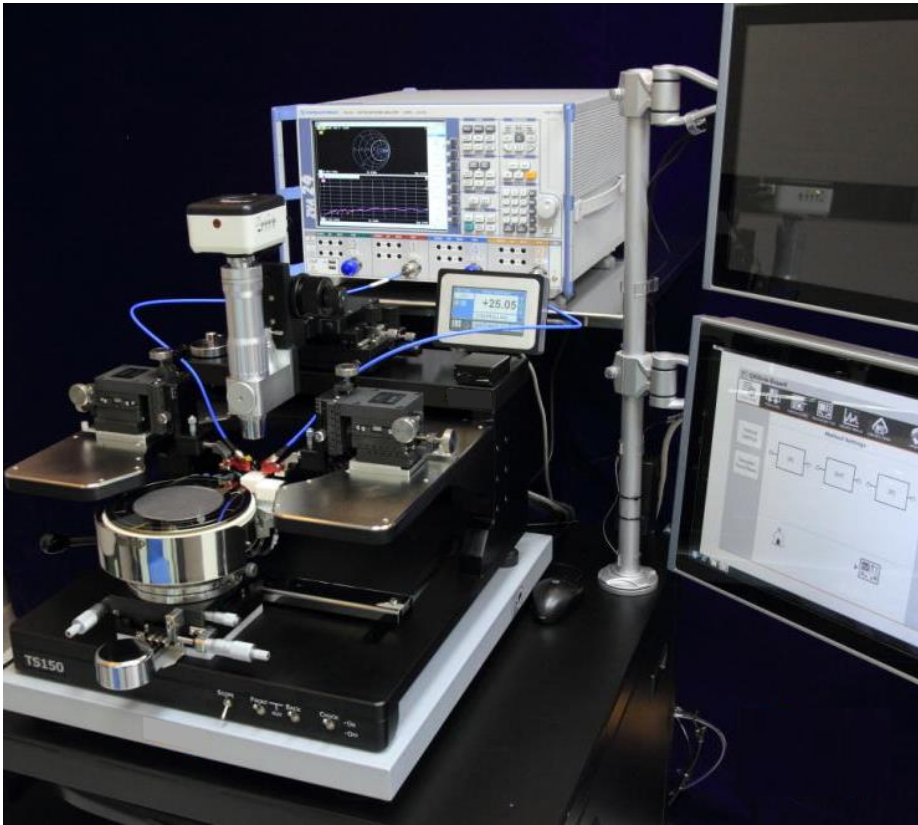
# Есть лучшая позиция для ВАЦ!



Picture source: Cascade Microtech, Inc.

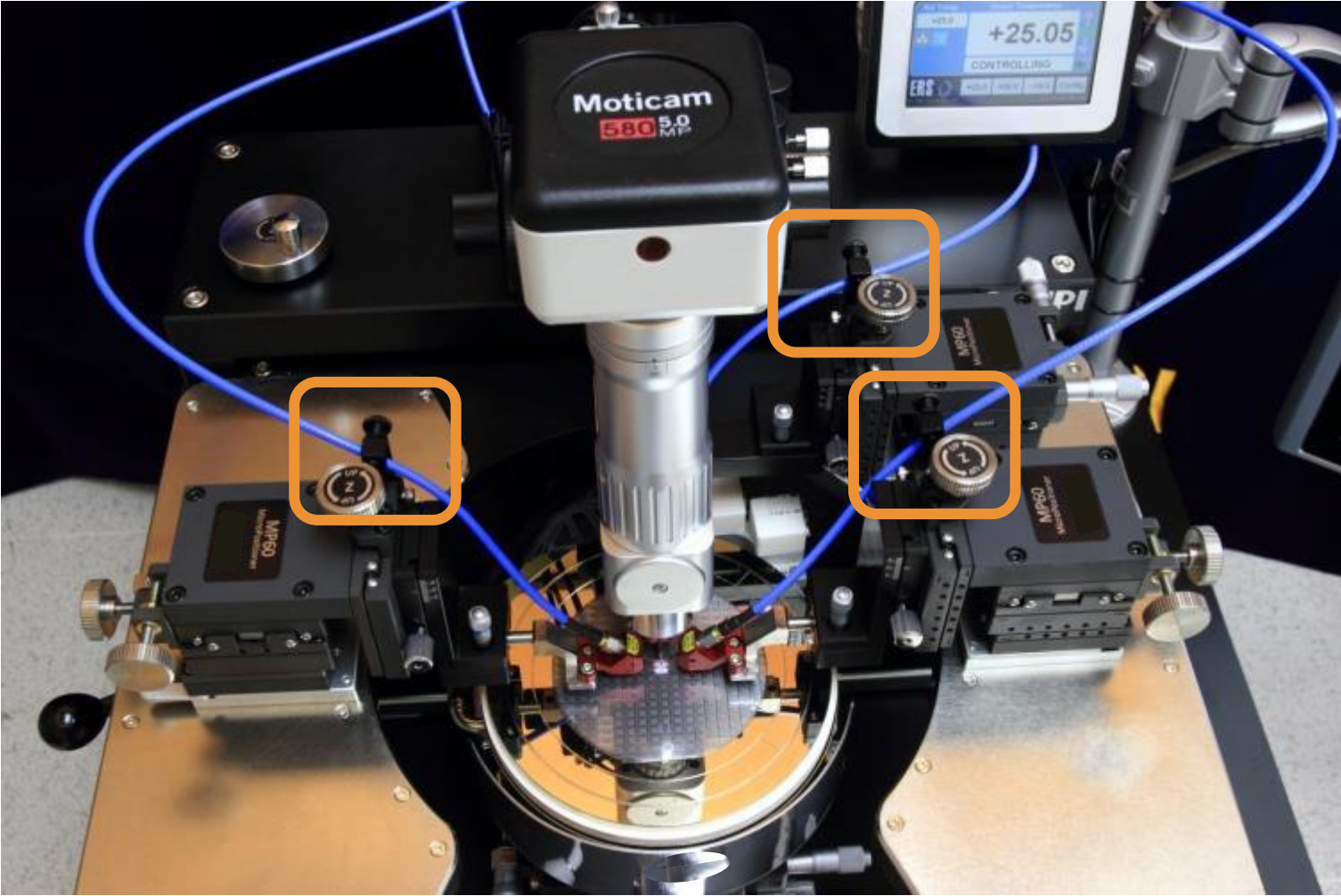


# Система MPI интегрированная с ВАЦ

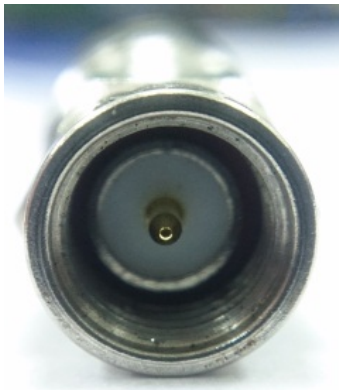


- За станцией
- На специальном инструментальном столе
- Оптимизированная длина кабелей (80 см)

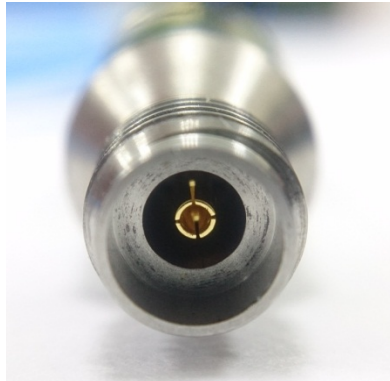
# Фиксация ВЧ кабелей на манипуляторах



# Пример ВЧ разъемов



SMA



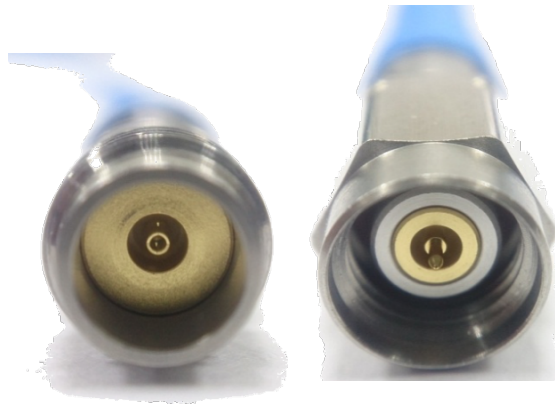
K (2.92 мм)



Q (2.4 мм)



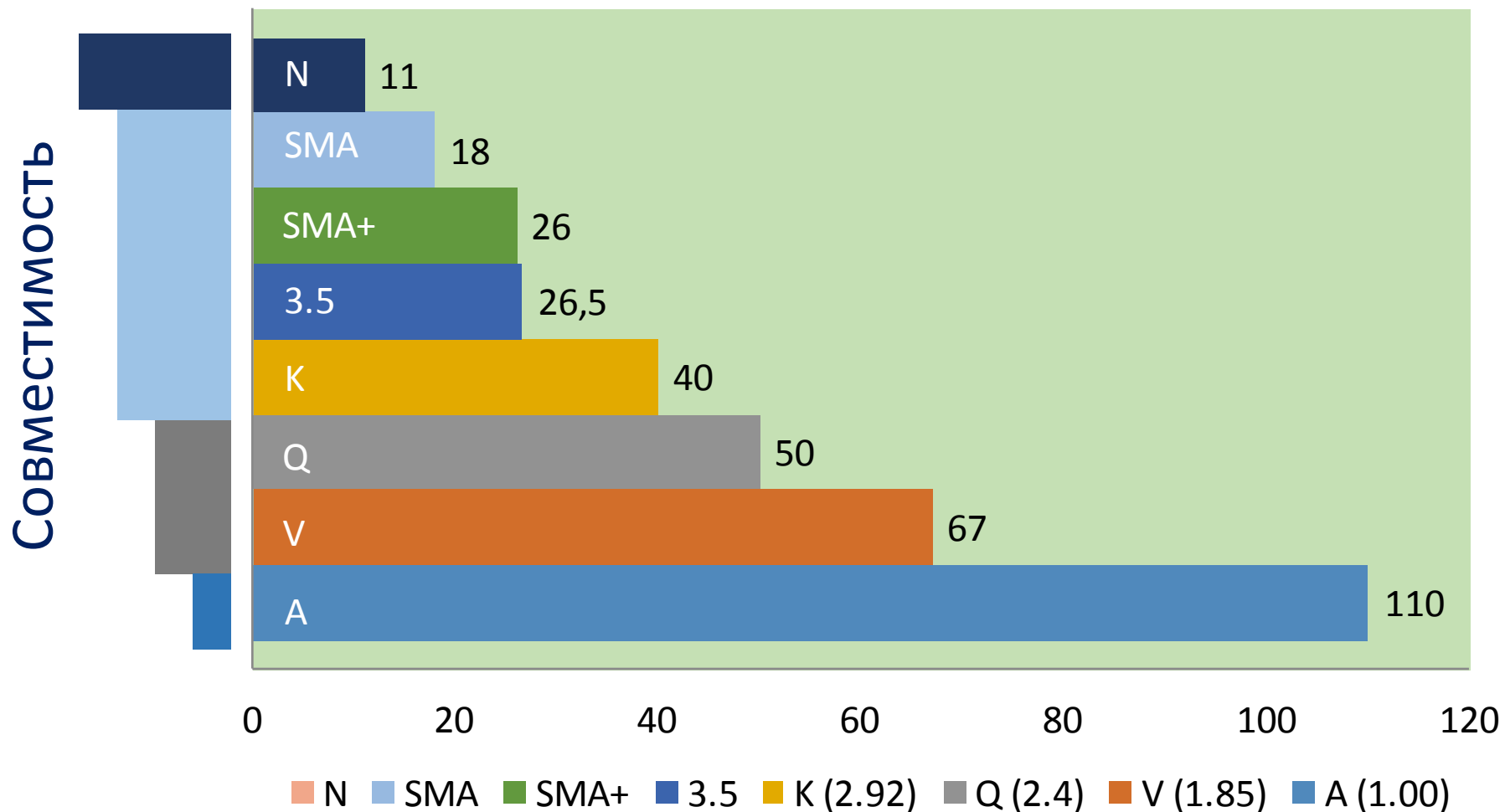
V (1.85 мм)



A (1.00 мм)



# Частотный диапазон и механическая совместимость



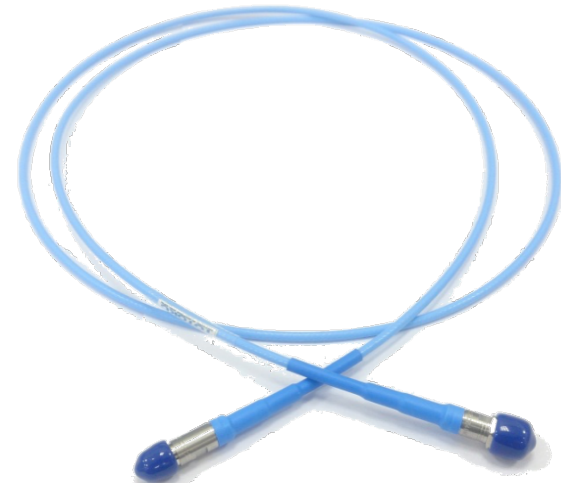
# Пример ВЧ кабелей поставляемых MPI



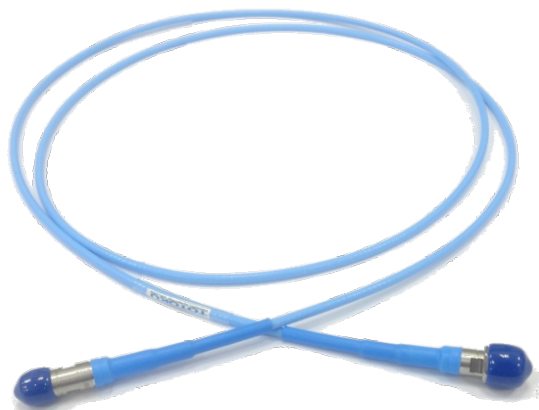
26 ГГц



40 ГГц



50 ГГц



67 GHz



110 ГГц

**Спасибо за внимание!**

**MPI** CORPORATION

**Посетите наш веб-ресурс для дополнительной  
информации:**

**[www.mpi-corporation.com](http://www.mpi-corporation.com)**