

Основы Измерений СВЧ на подложках

*Д-р Андрей Румянцев
Директор по СВЧ технологиям*

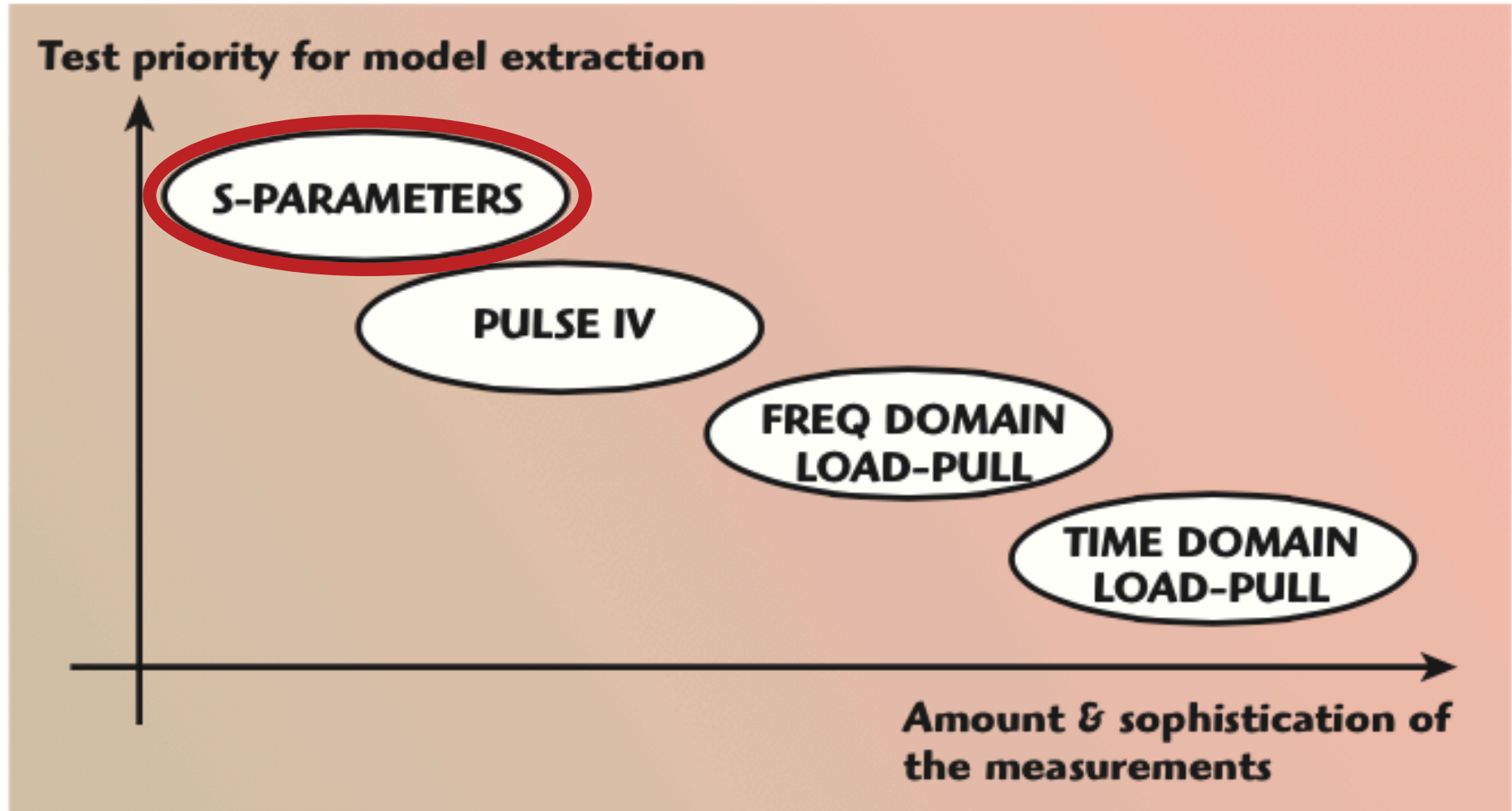
Содержание

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

Содержание

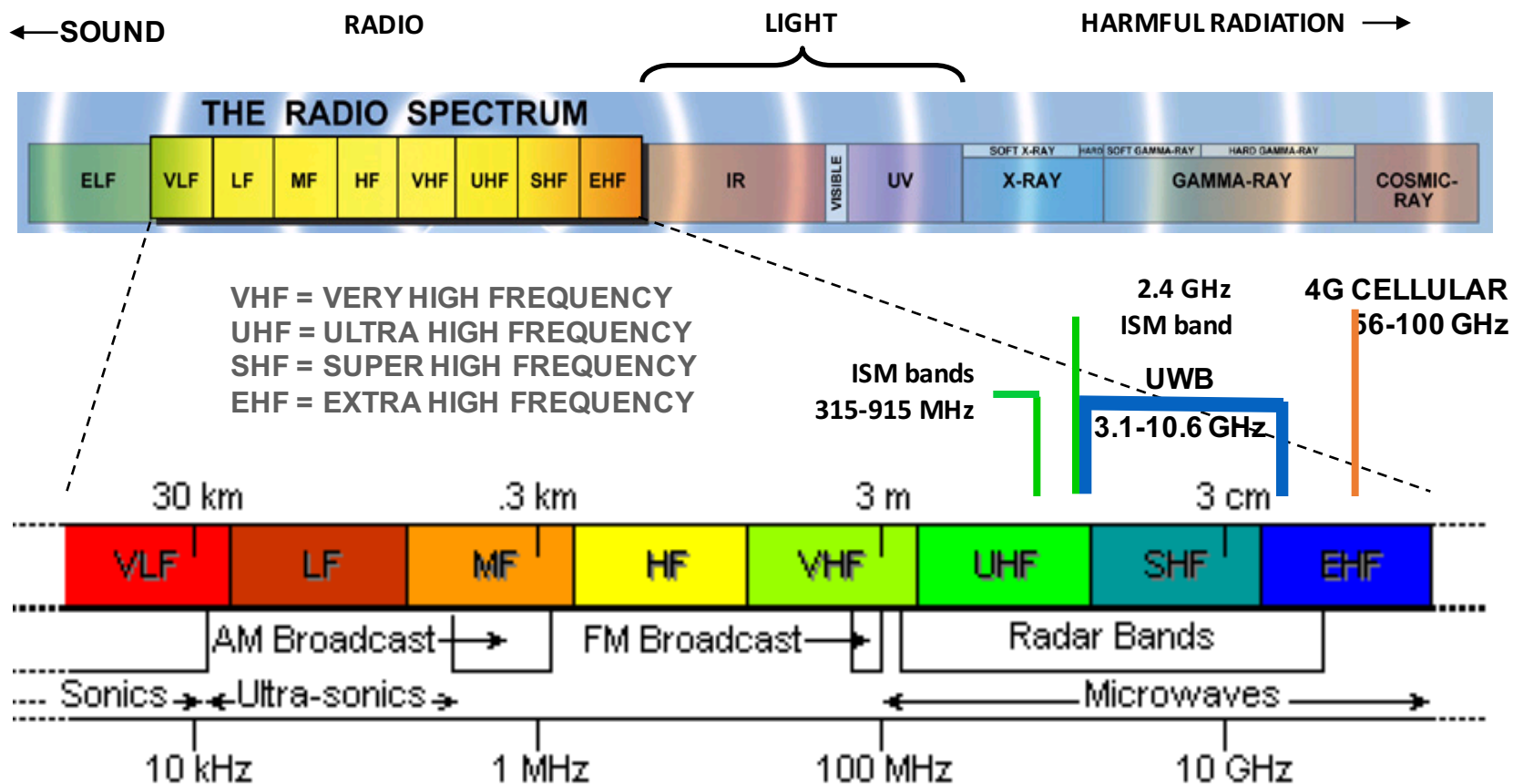
- Немного основных понятий
- Принцип ВЧ калибровки ВАЦ
- Зондовые головки
- О калибровочных стандартах
- Важные мелочи

Место С-параметров в моделировании



T. Gasseling, MW Journal, 03-2012

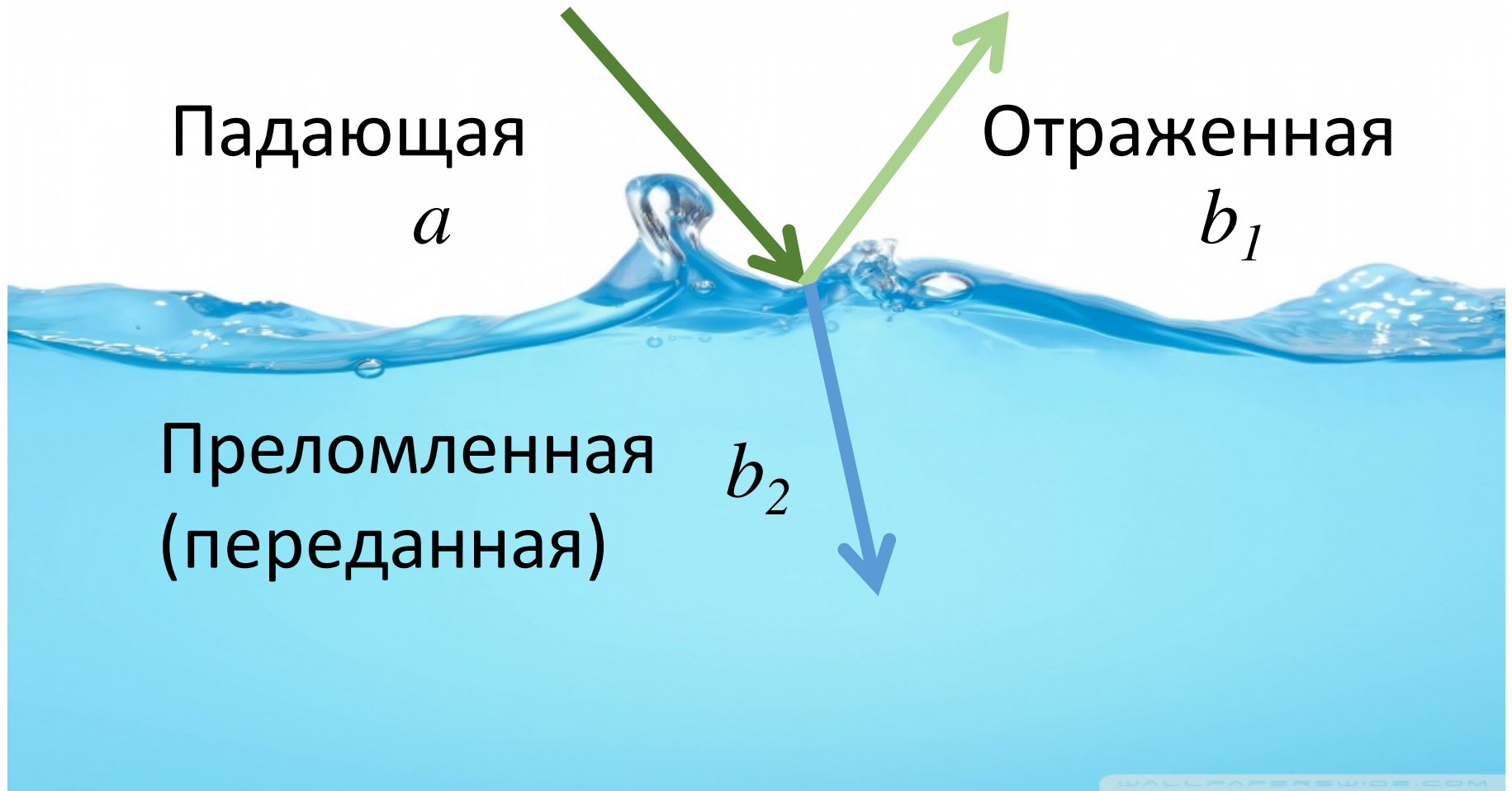
Где находится спектр СВЧ?



Source: JSC.MIL

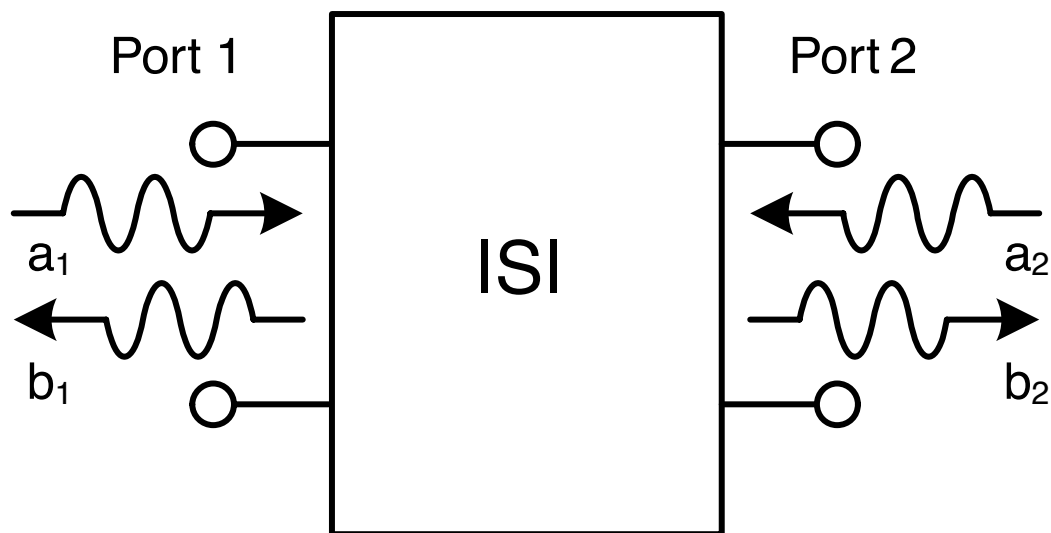
10 ГГц – длина волны ~ 3 см

... 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?

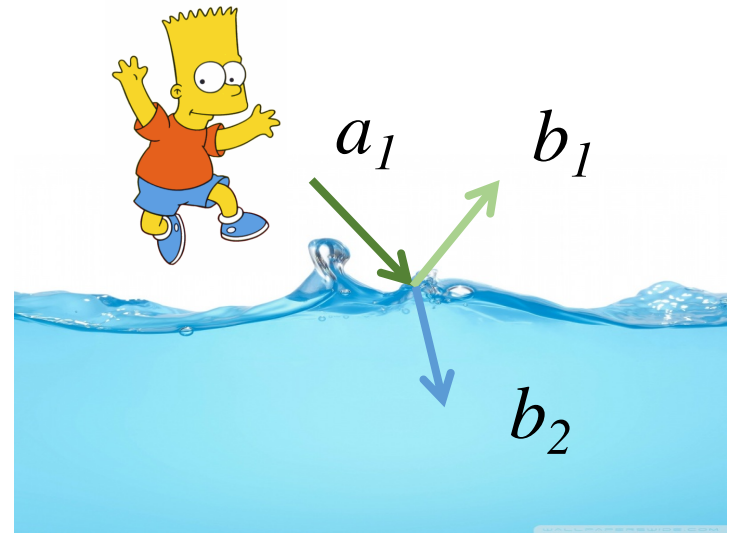
- Параметры волн проще измерить
- Легко конвертируются в параметры цепей, например: Z -, Y -, H - и иные

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

Как получается матрица С-параметров

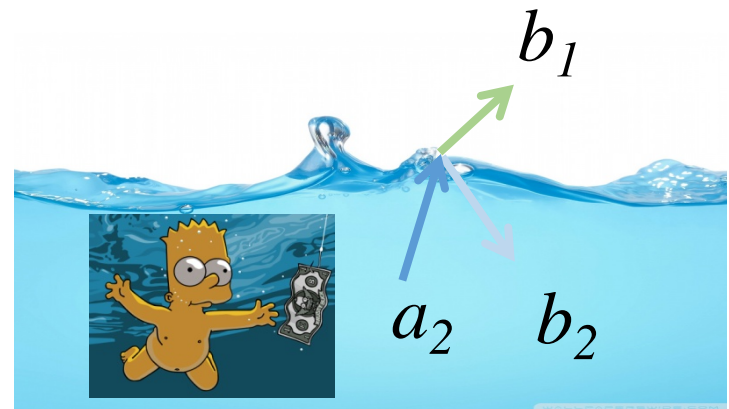
■ Прямое направление

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



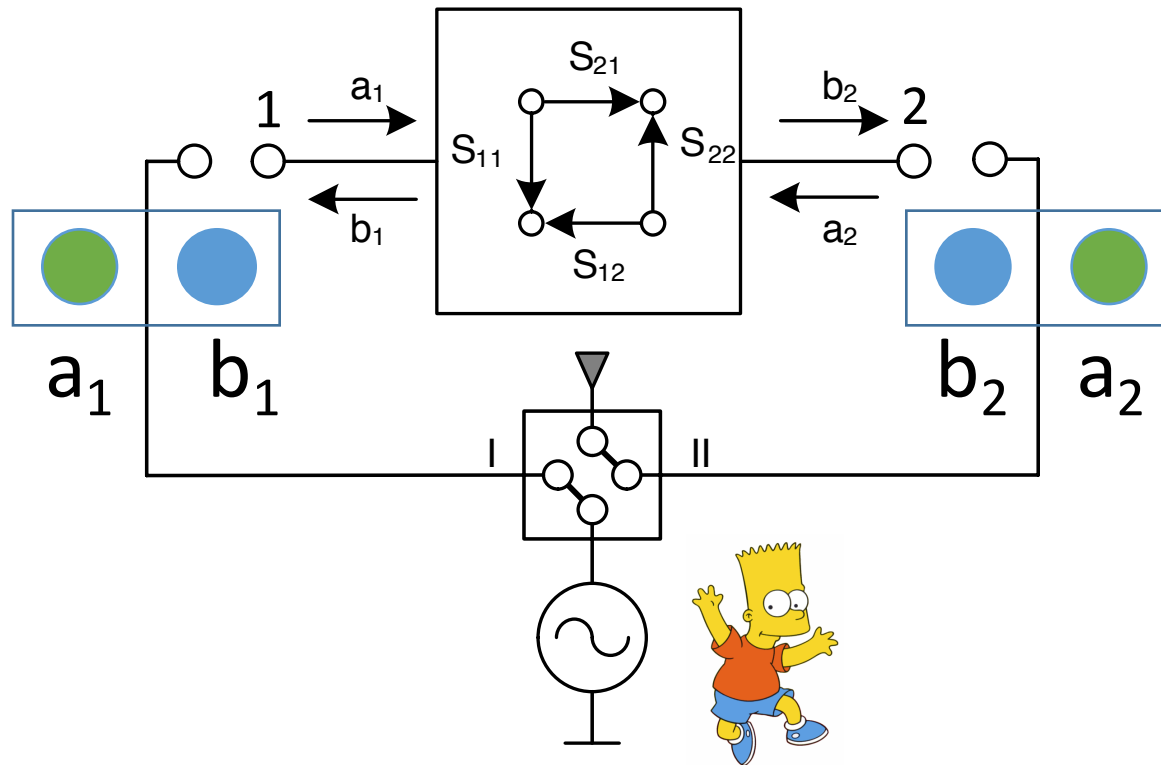
■ Обратное направление

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



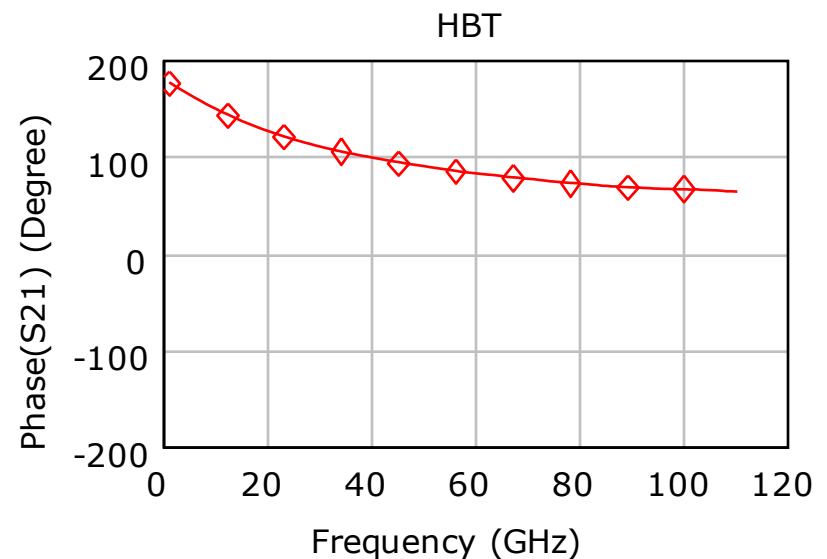
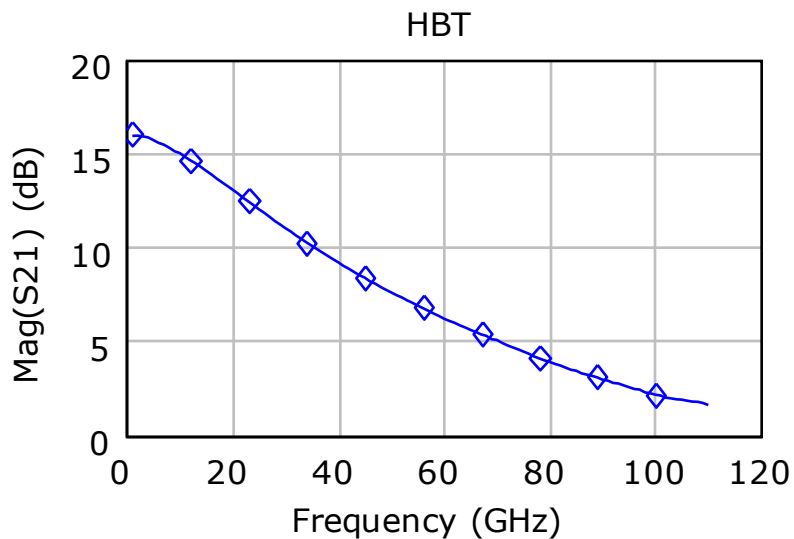
С-параметры измеряют ВАЦом

■ Векторный анализатор цепей (ВАЦ)

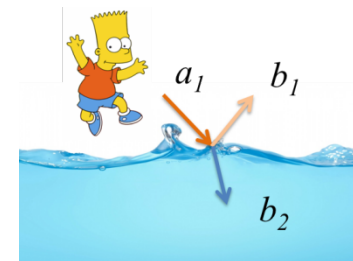
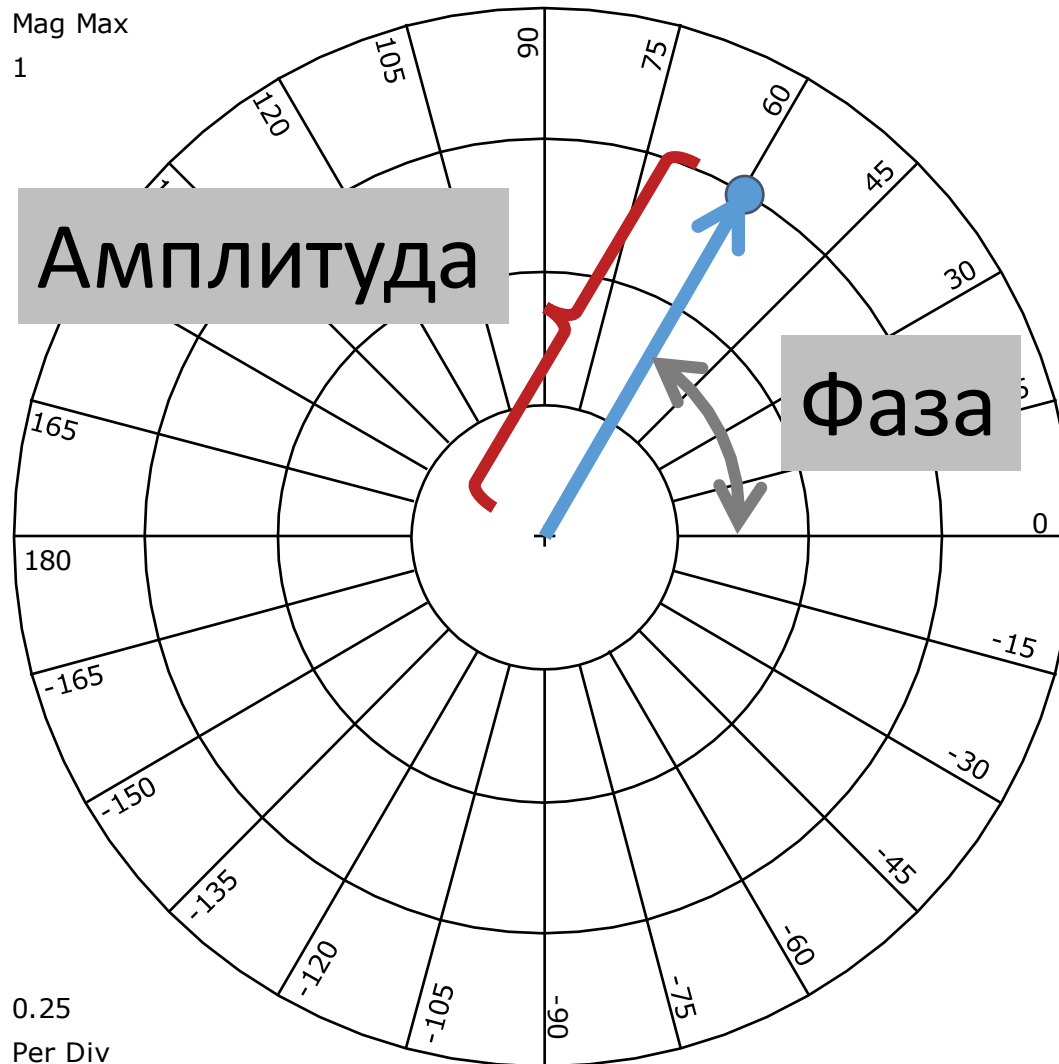


Почему “Векторный”?

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



Вектор в полярной системе координат



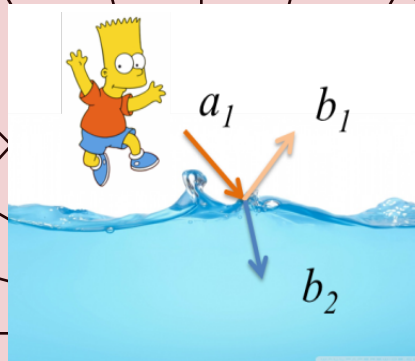
Граница амплитуды для пассивных компонентов

Mag Max 1

1.0

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

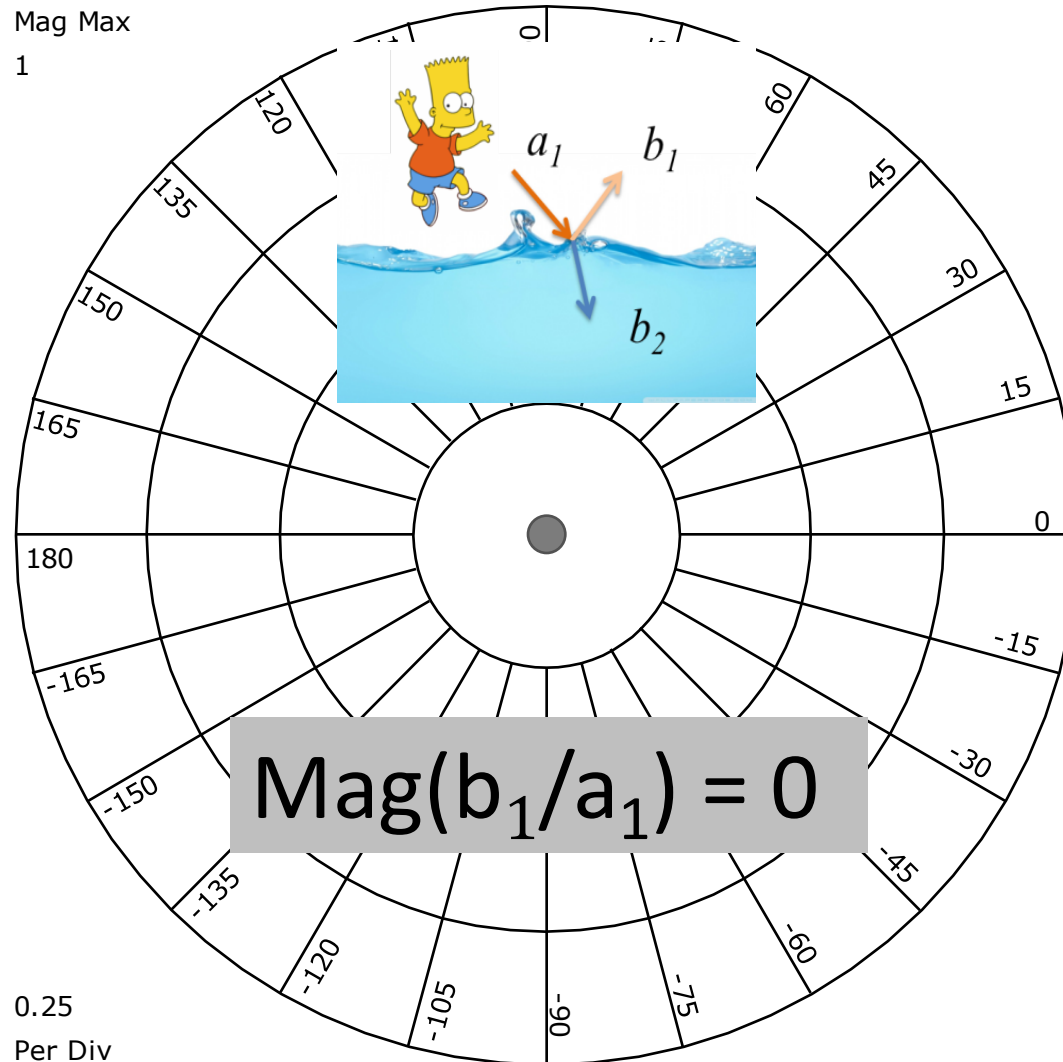
0.25 Per Div



Согласованная нагрузка

Mag Max

1

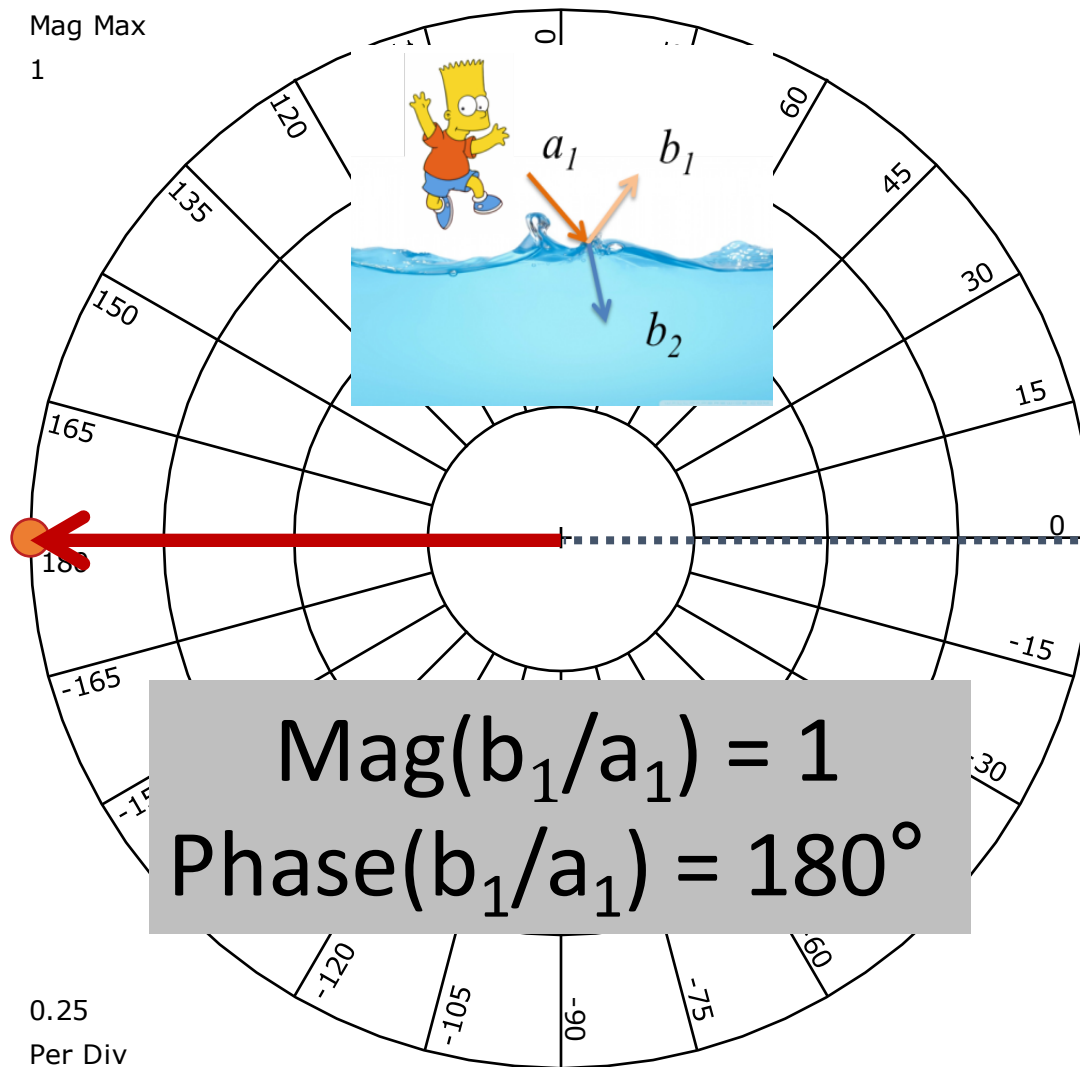


0.25

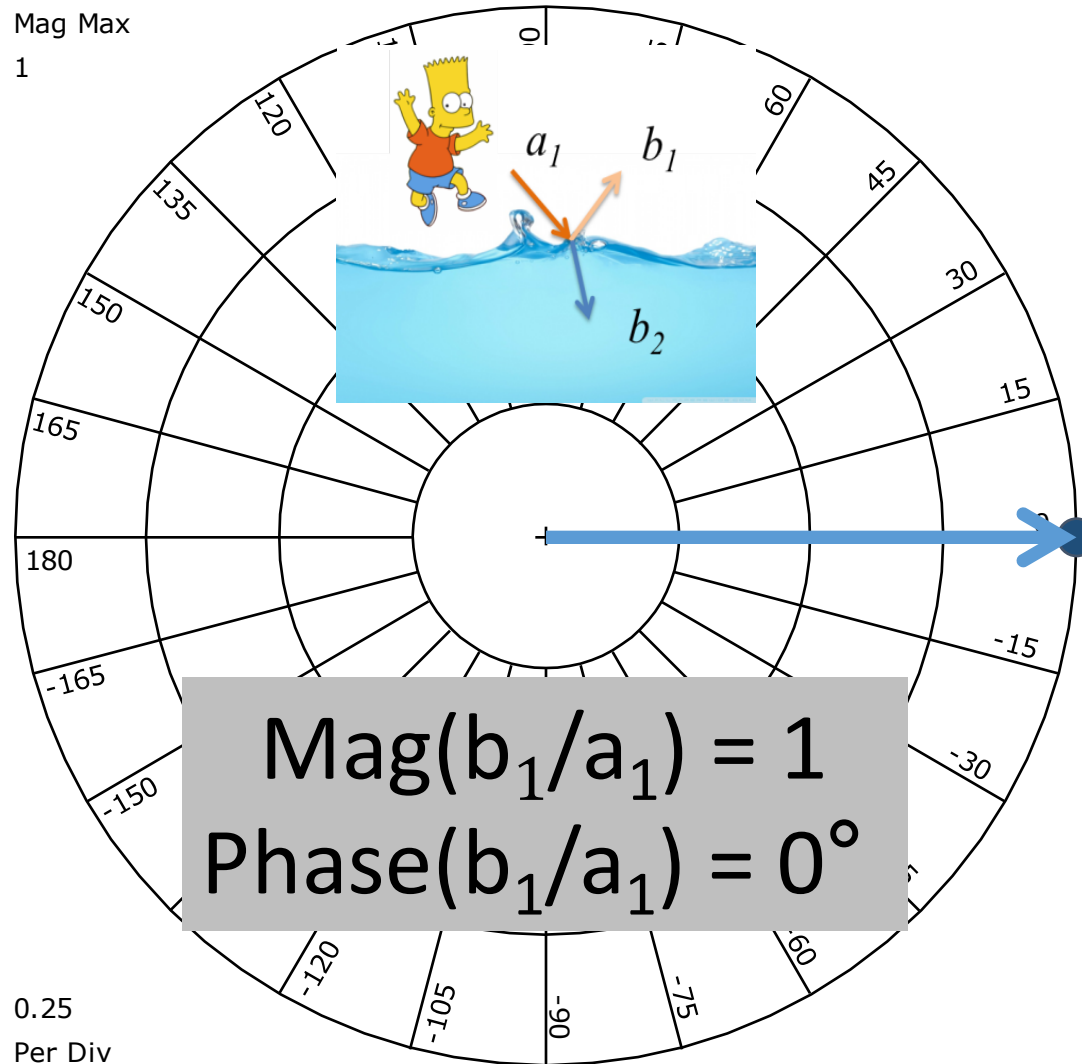
Per Div

$$\text{Mag}(b_1/a_1) = 0$$

Короткое замыкание



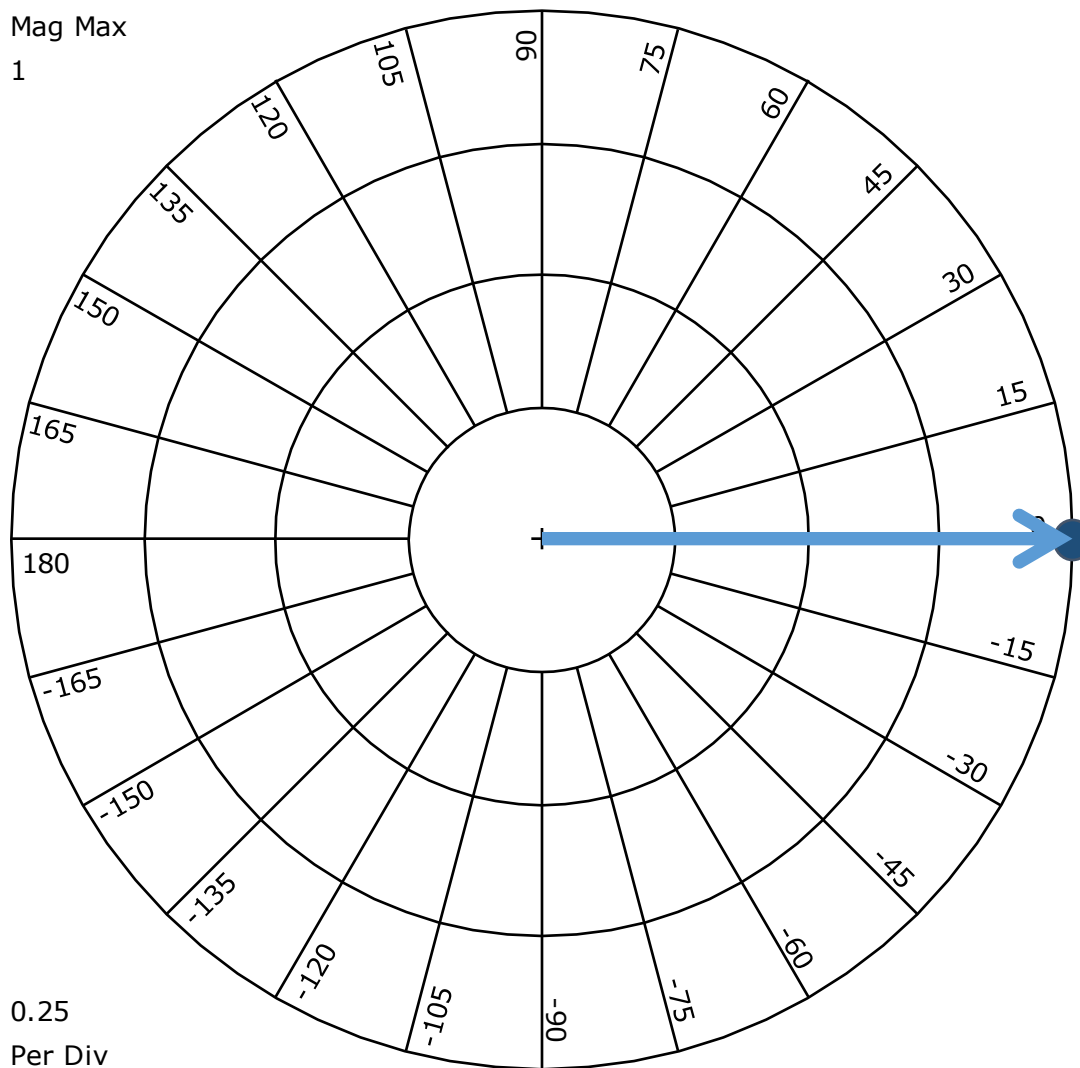
Холостой ход



Развертка по частоте

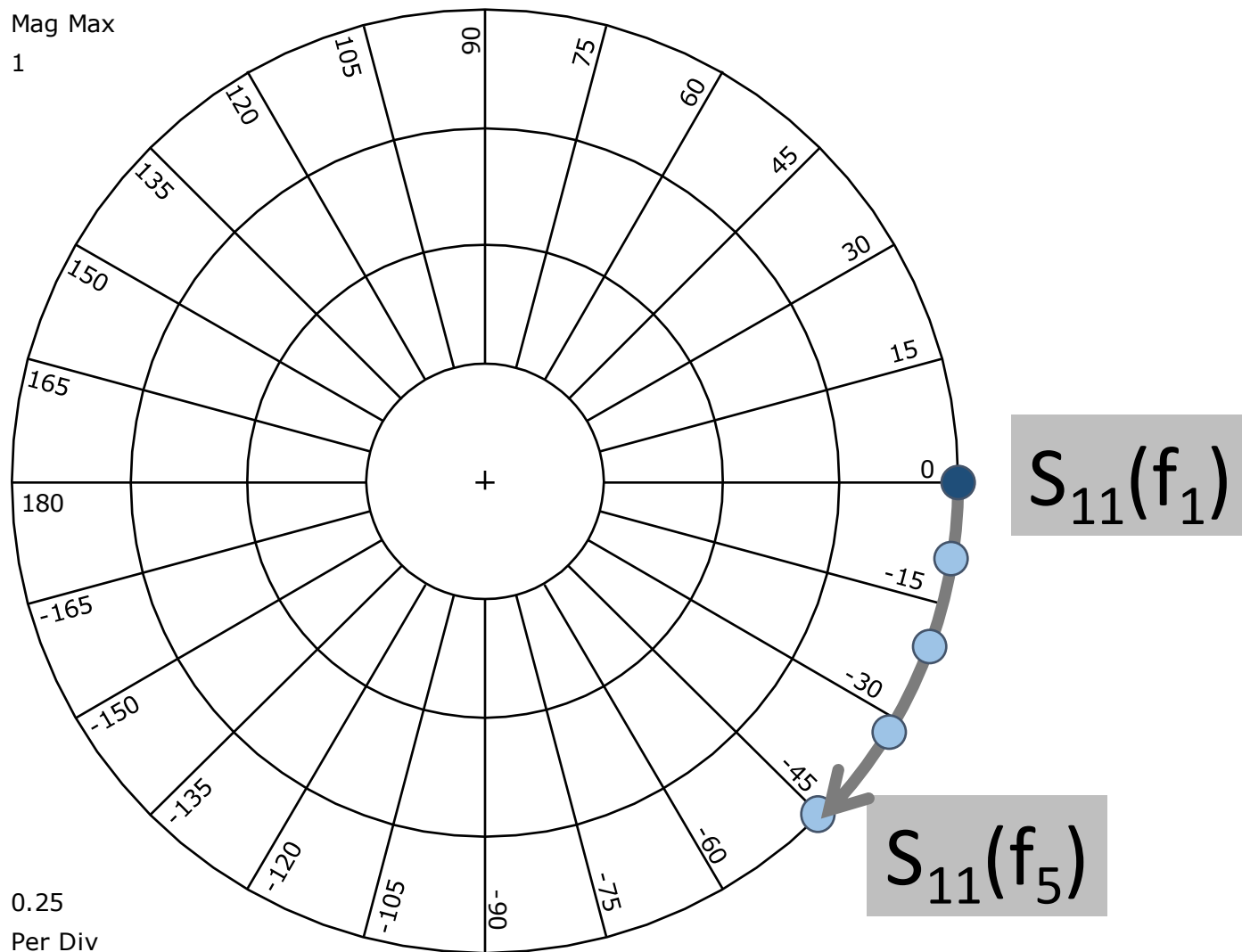
Mag Max

1

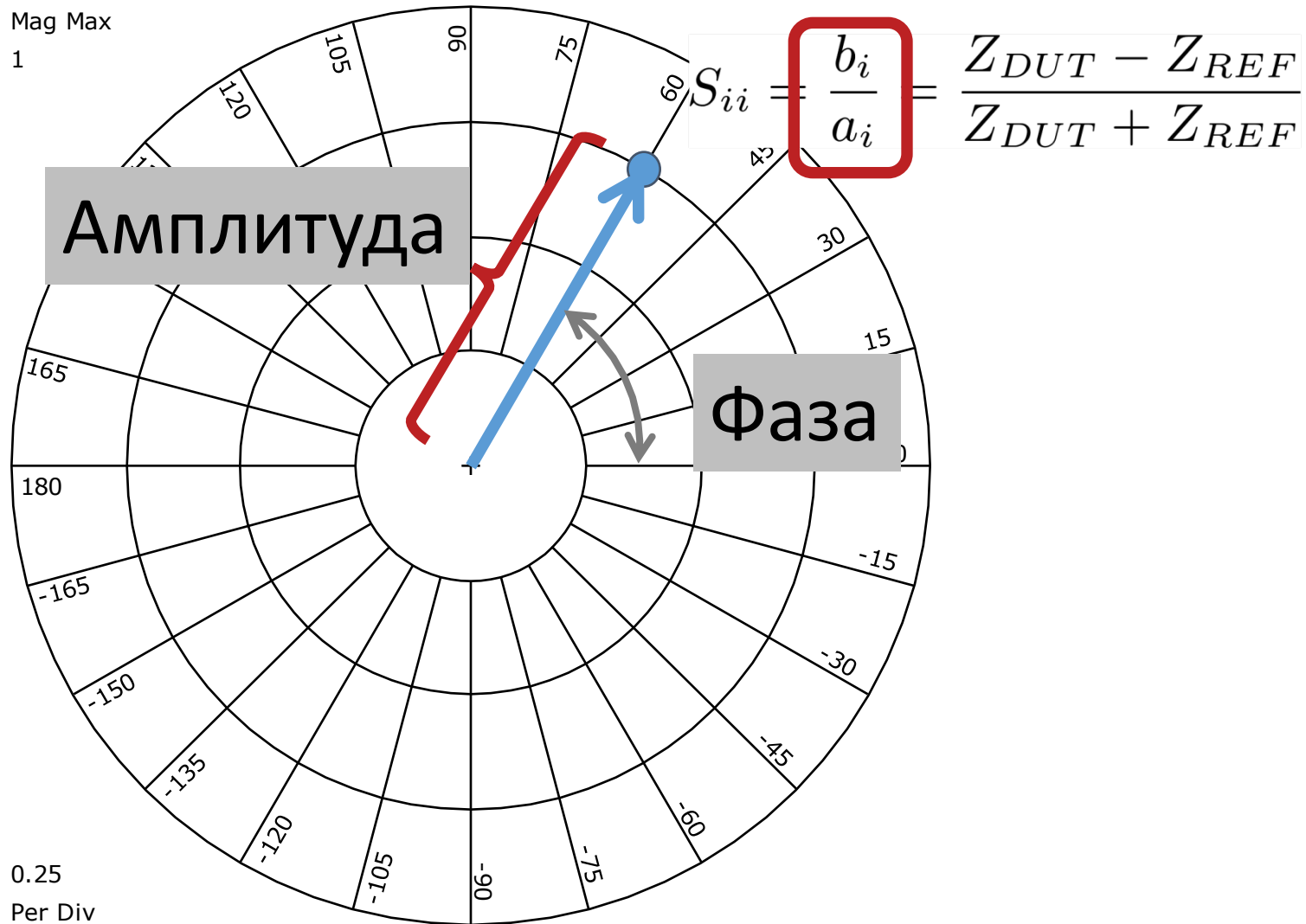


$S_{11}(f_1)$

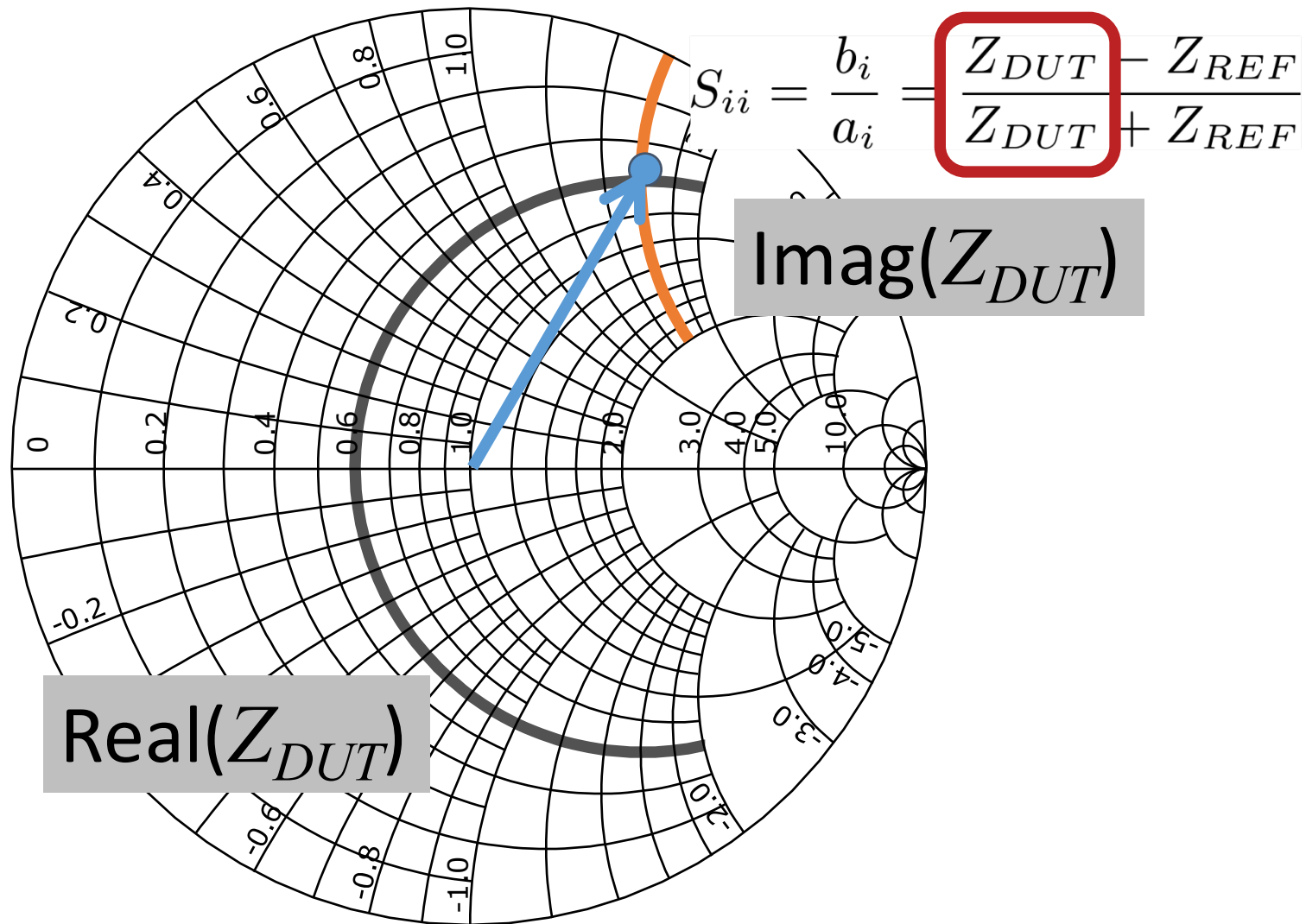
Развертка по частоте



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)



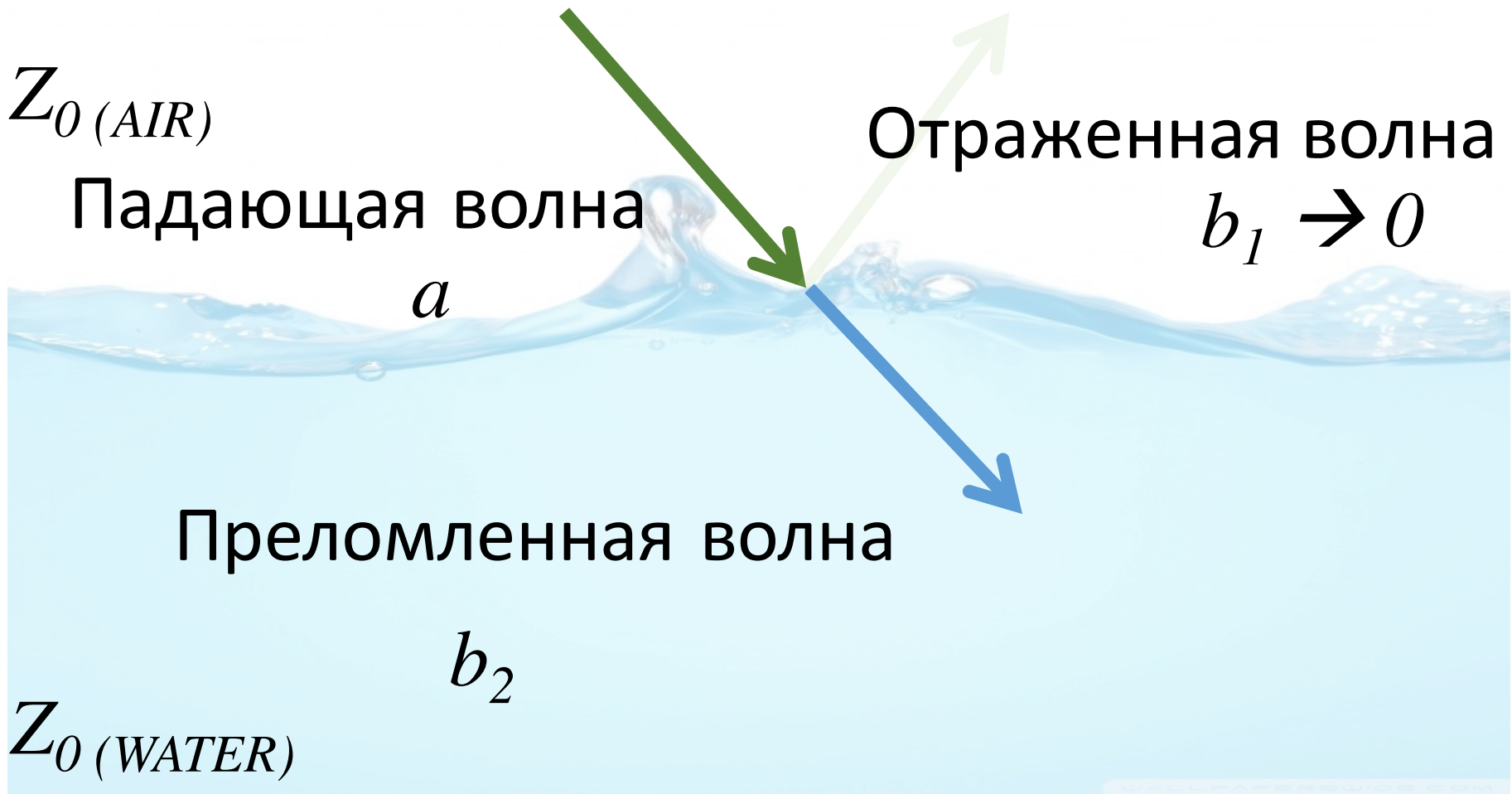
Согласование = «прозрачность»

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

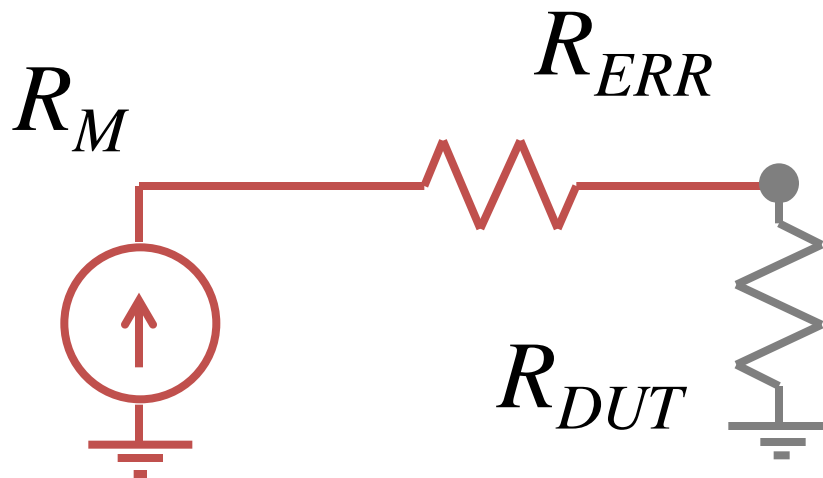
Убираются
калибровкой

Основной принцип калибровки

- Систематические ошибки на примере двухточечного измерения сопротивления



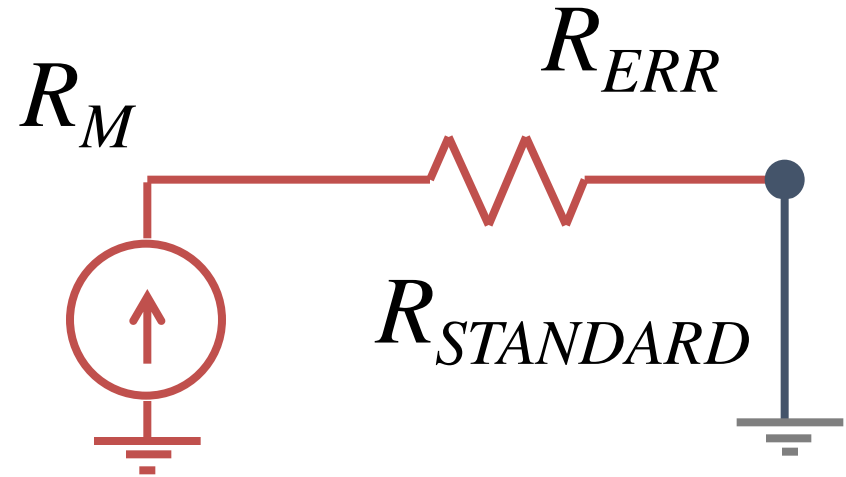
$$R_M = R_{DUT} + R_{ERR}$$



Калибровка и коррекция ошибок

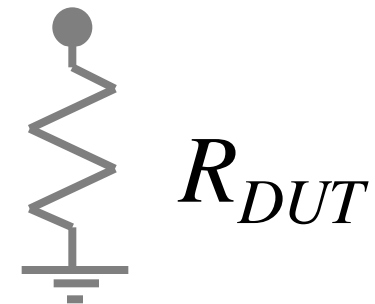
■ Этап калибровки

$$R_M = R_{ERR}$$



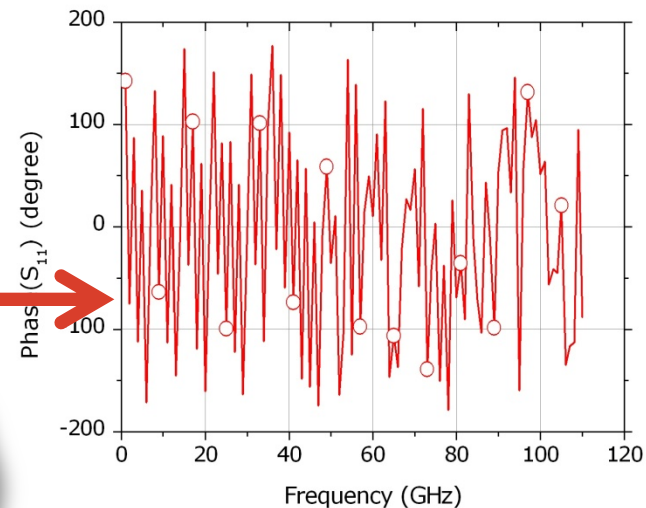
■ Коррекция ошибок

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



Пример влияния ошибок измерения

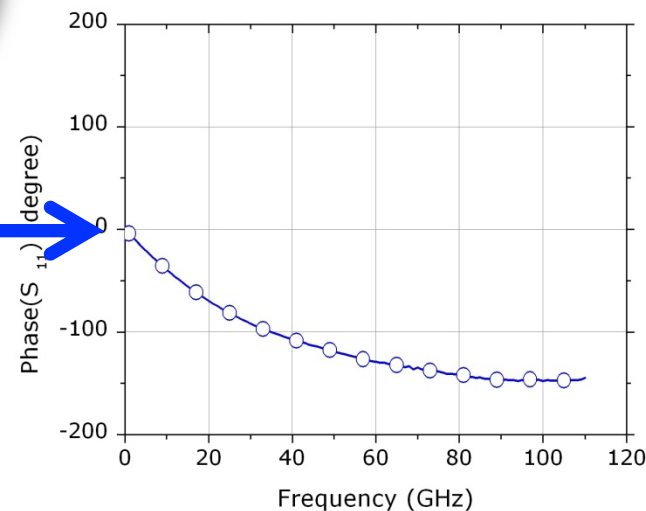
ВАЦ



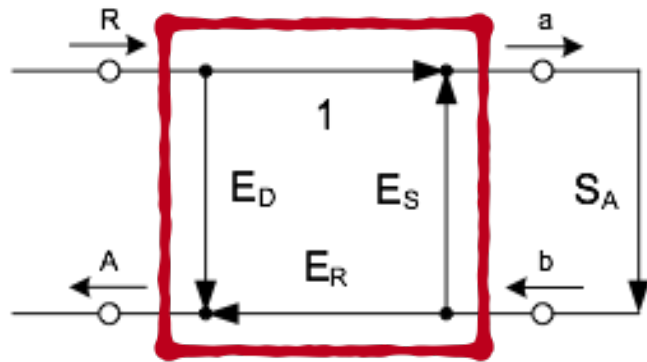
Зонд



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

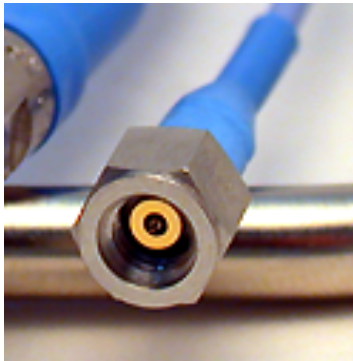
- Однопортовые
 - Sort-Open-Load (SOL)
- Двухпортовые общего назначения
 - Short-Open-Load-Thru (SOLT) = Thru-Open-Short-Math (TOSM)
- Двухпортовые специализированные
 - Thru-Reflect-Line (TRL)
 - Line-Reflect-Match (TRM) = Thru-Match-Reflect (TRM)
 - Line-Reflect-Reflect-Match (LRRM)
 -

Содержание

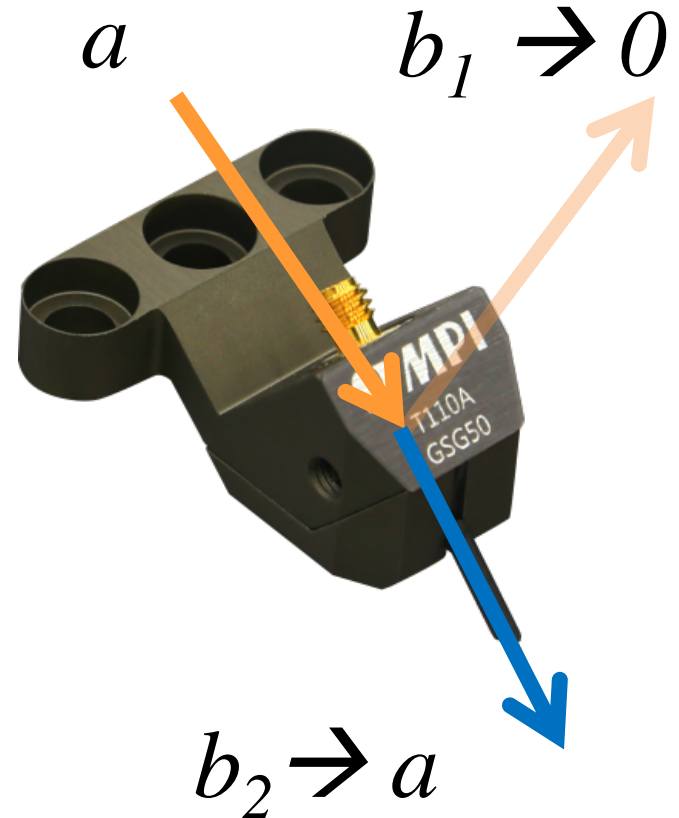
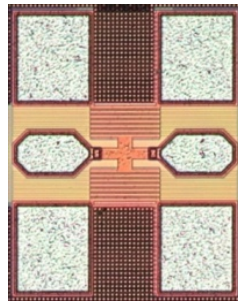
- Немного основных понятий
- Принцип ВЧ калибровки ВАЦ
- **Зондовые головки**
- О калибровочных стандартах
- Важные мелочи

Согласование двух сред распределения

Коаксиальная среда



Копланарный волновод

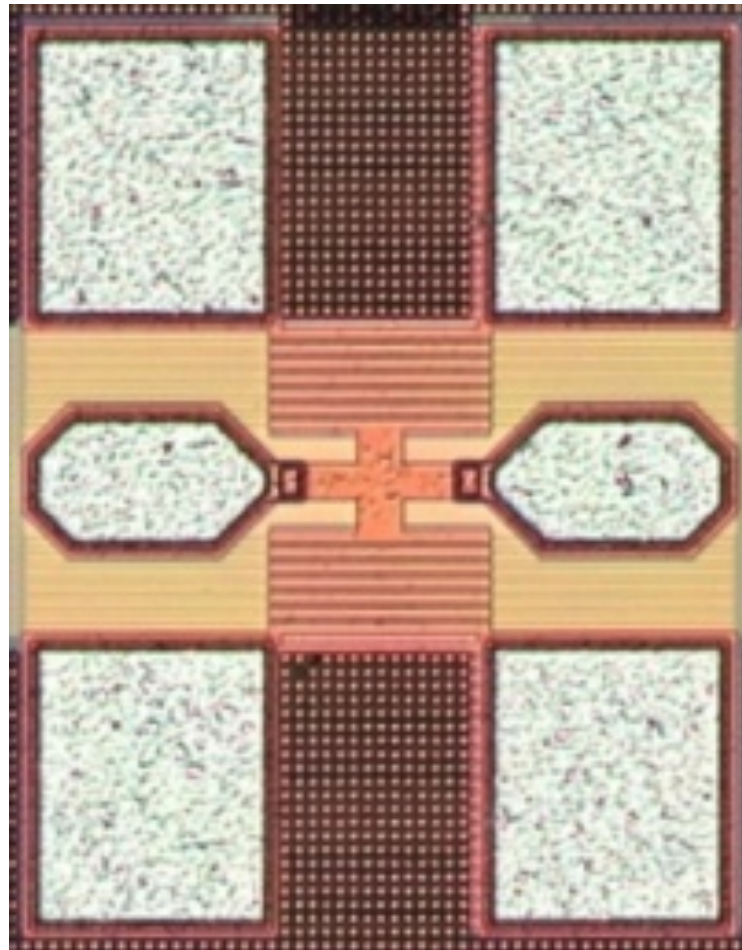


Копланарные контактные площадки

Ground

Signal

Ground

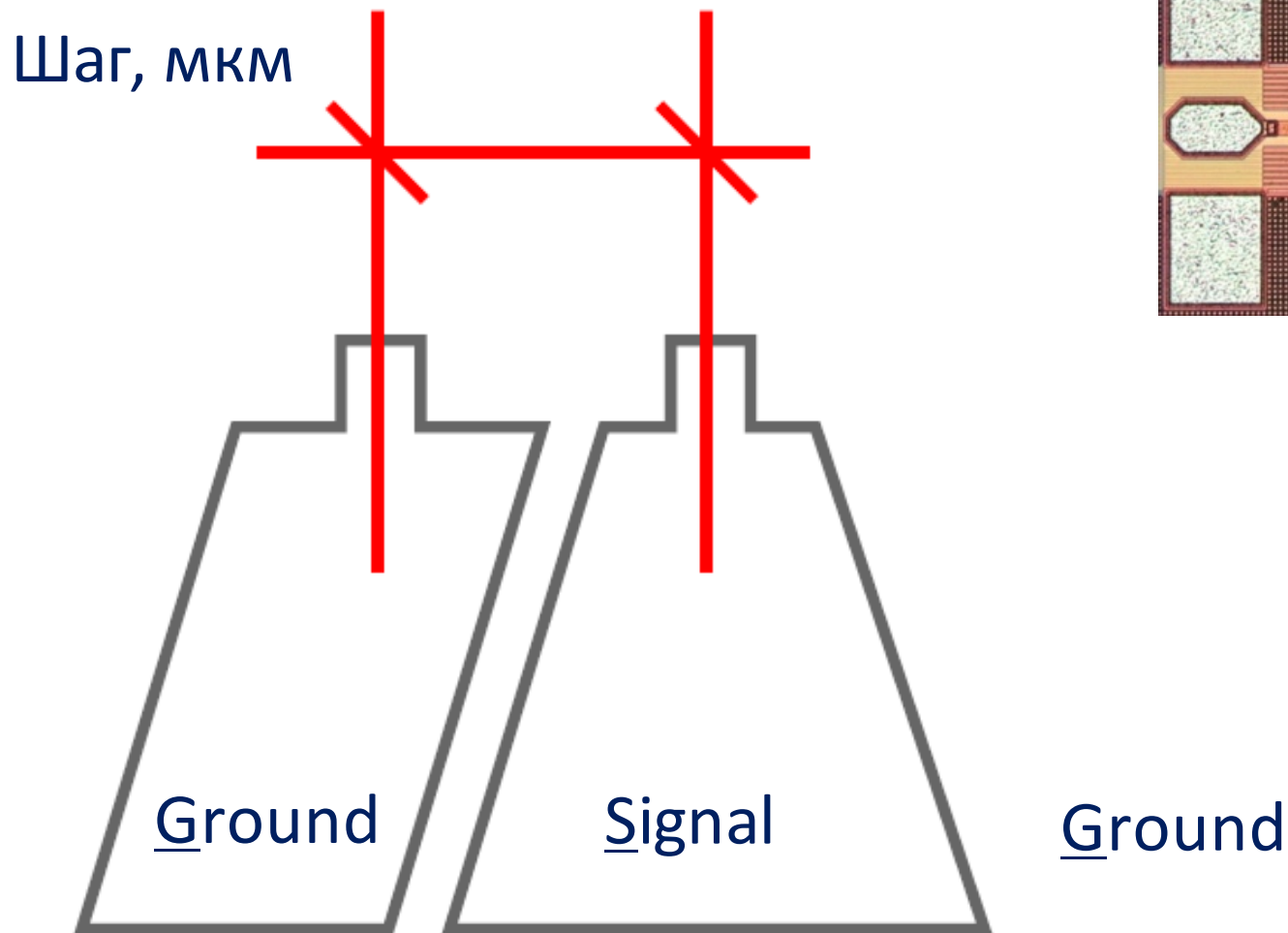


Ground

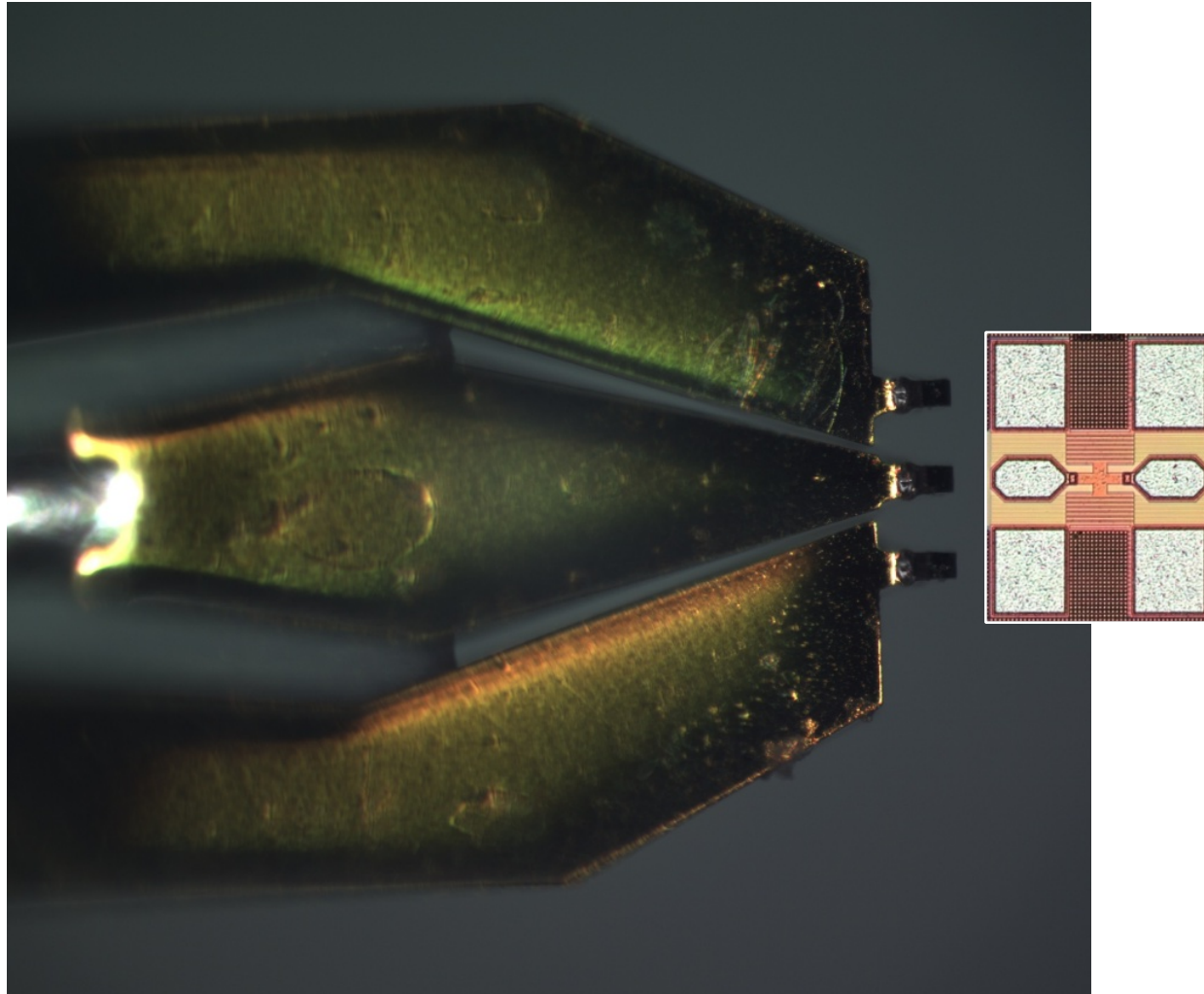
Signal

Ground

Конфигурация и шаг зондовой головки



Конфигурация и шаг зондовой головки



Уникальный дизайн наконечника TITAN 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

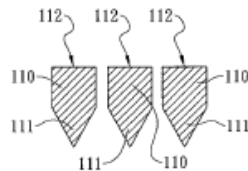
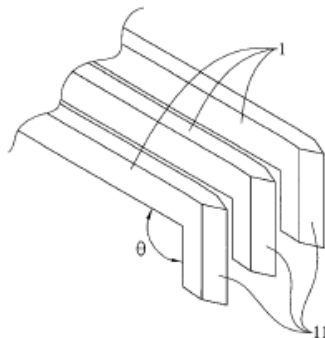
Primary Examiner — Minh N Tang

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

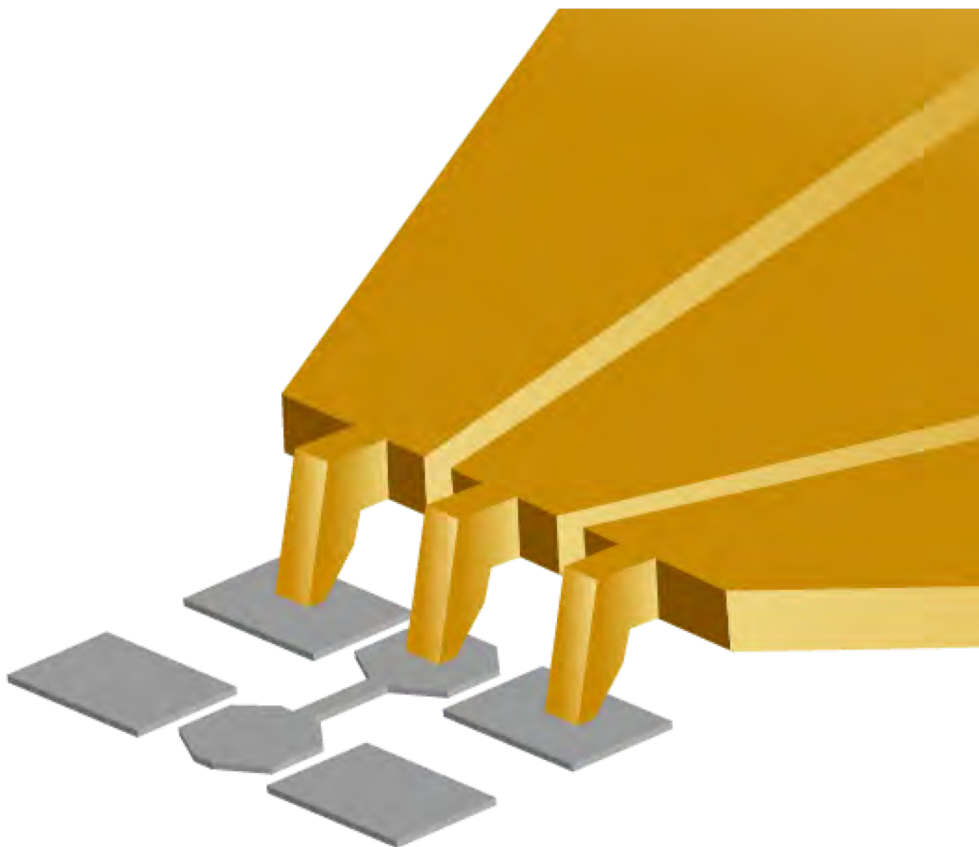
(57) **ABSTRACT**

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.

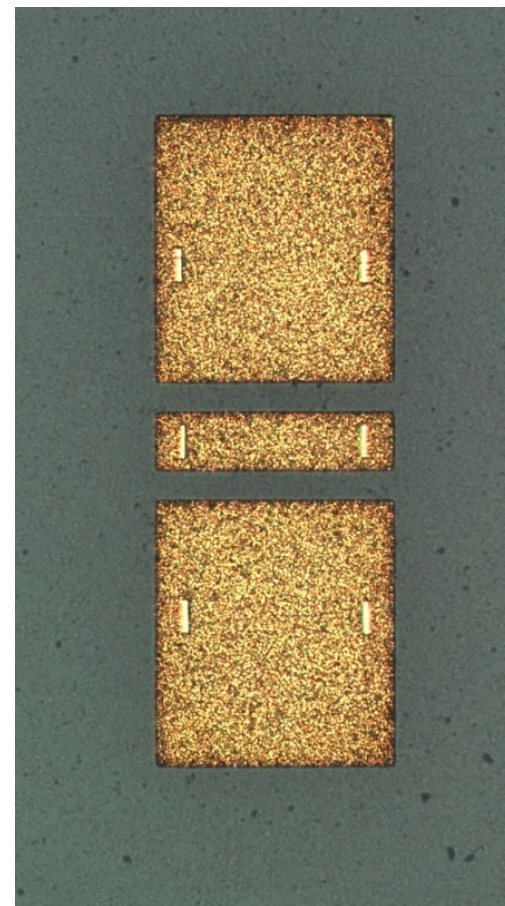
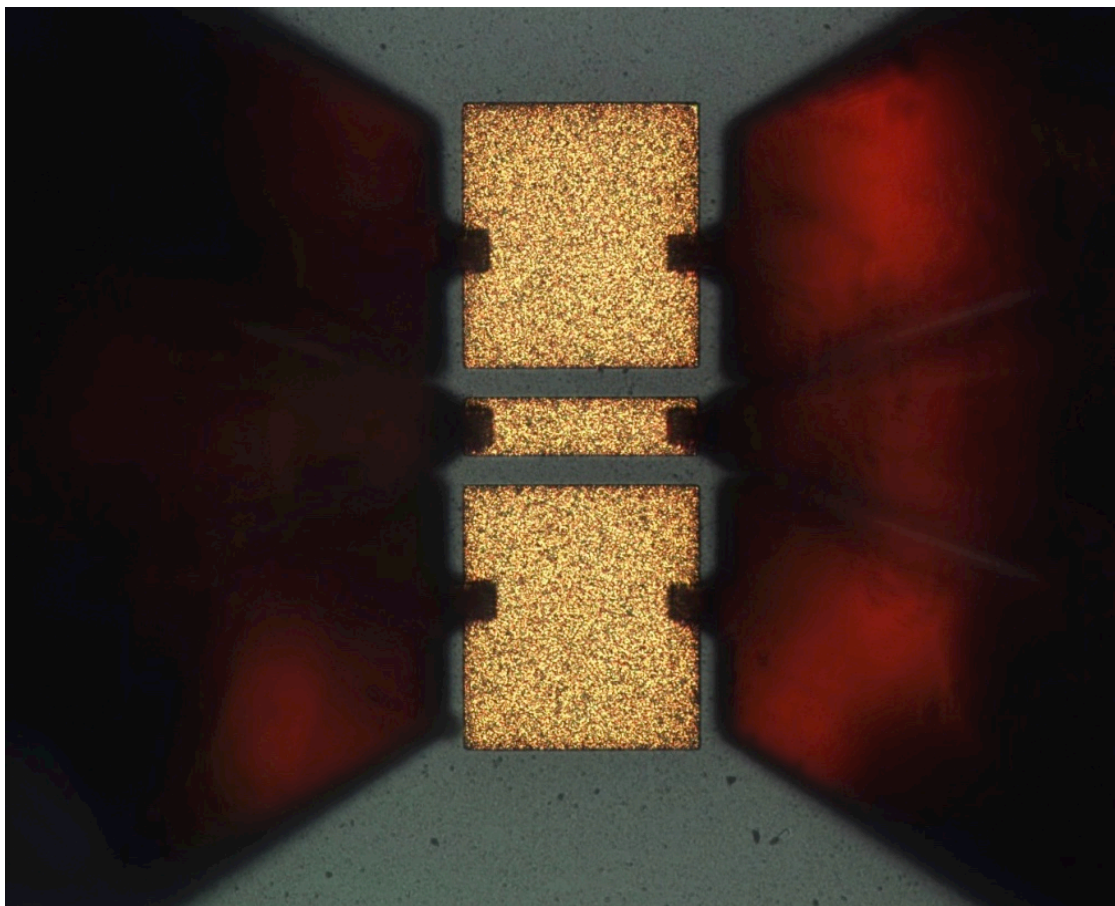
11 Claims, 6 Drawing Sheets



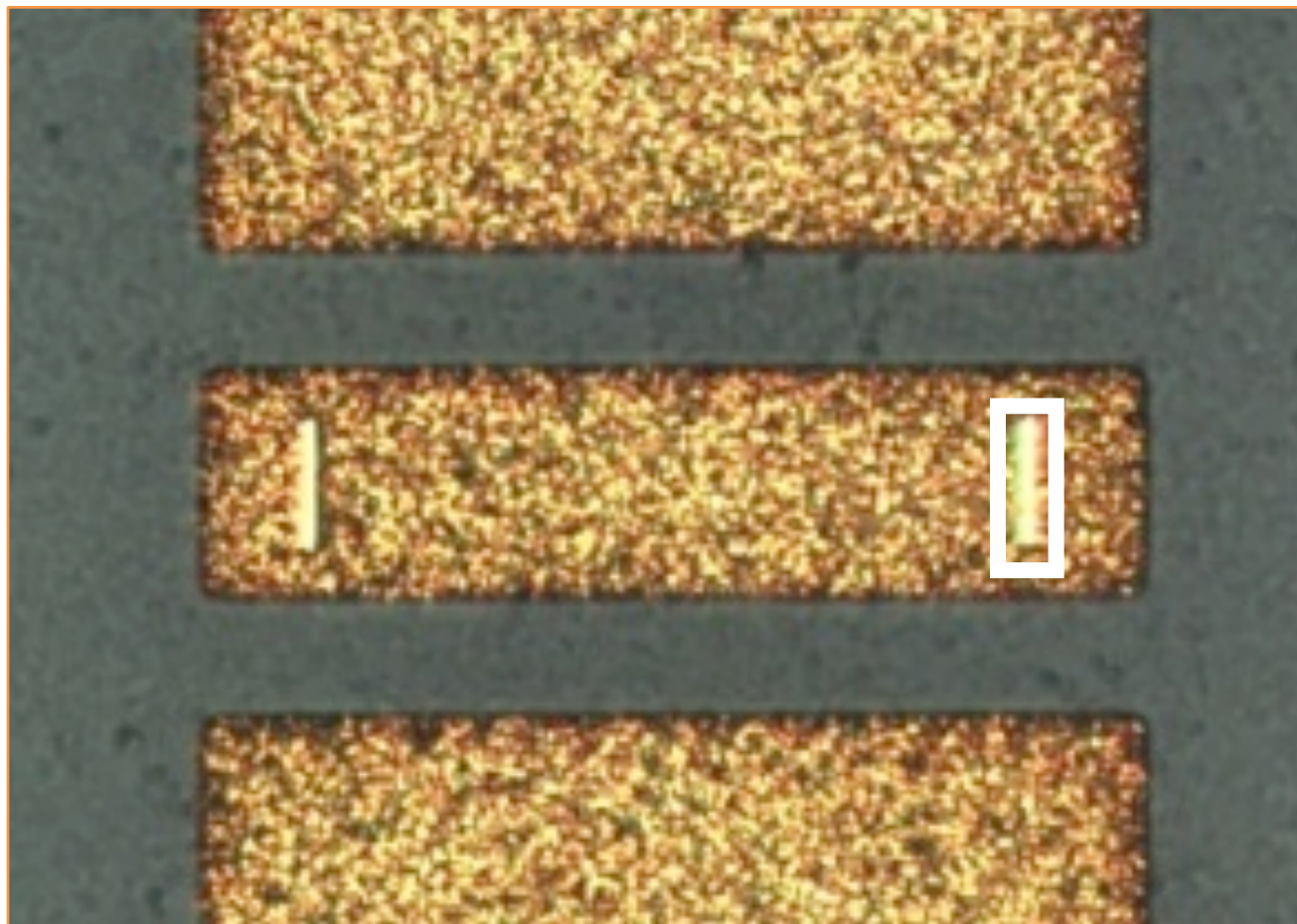
Принцип контактирования как у обычной иглы



Вы видите точку электрического контакта



Контактный отпечаток наконечника TITAN



5x30 мкм

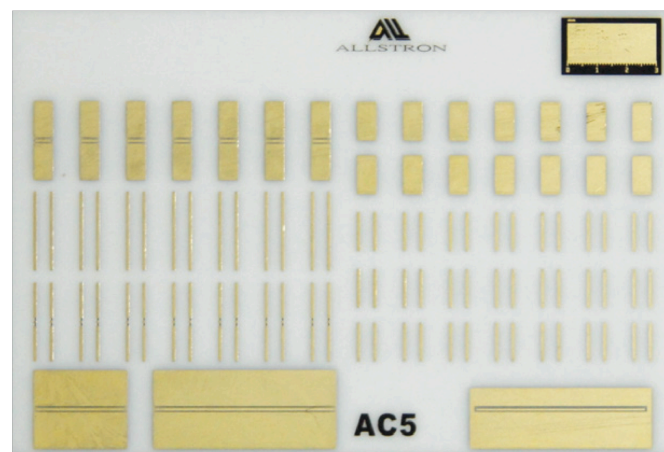
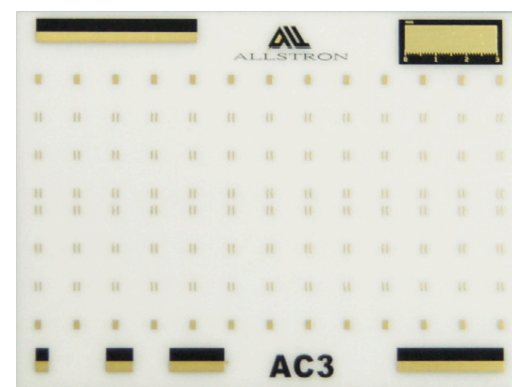
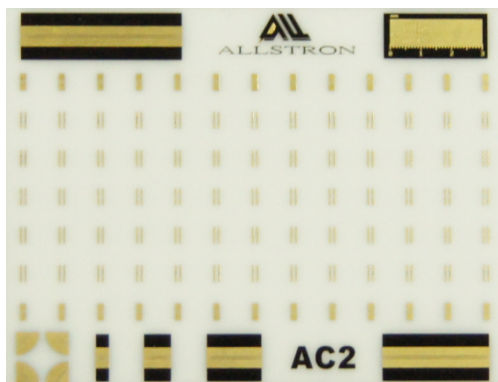
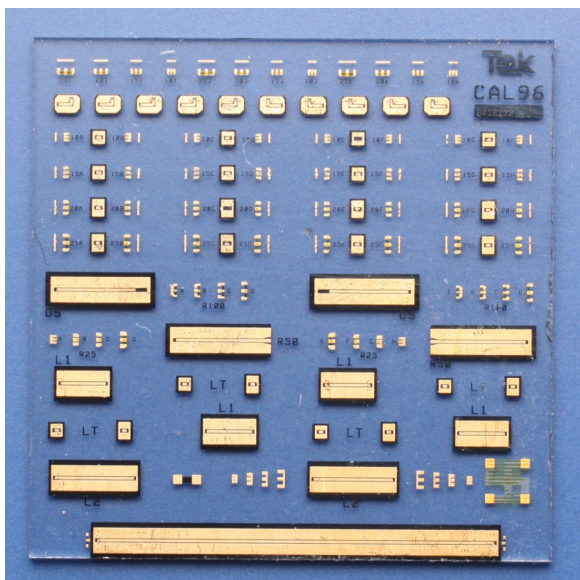
Содержание

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

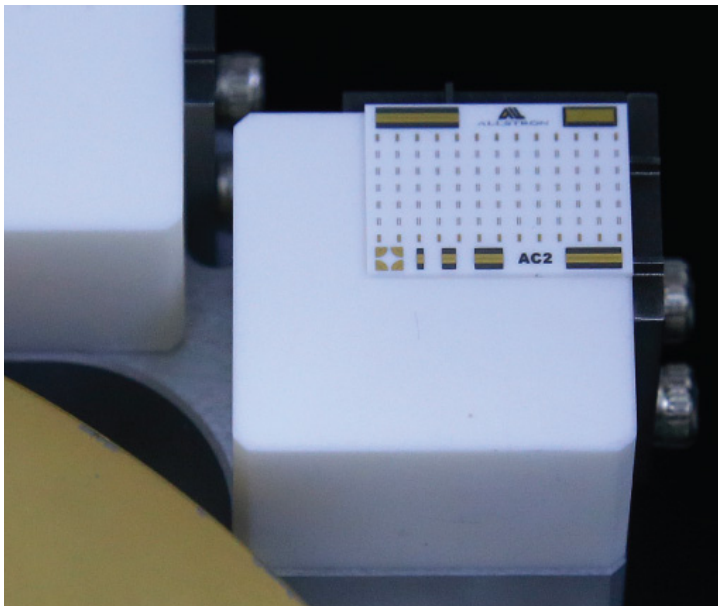
Калибровочные стандарты



Калибровочные стандарты на подложках



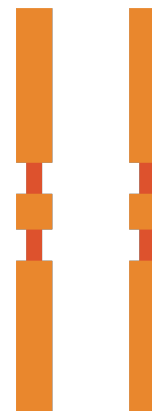
Калибровочные стандарты на подложках



Холостой ход



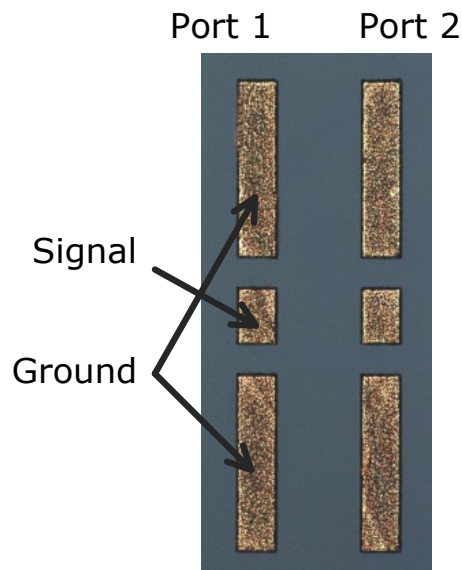
Согласованная нагрузка



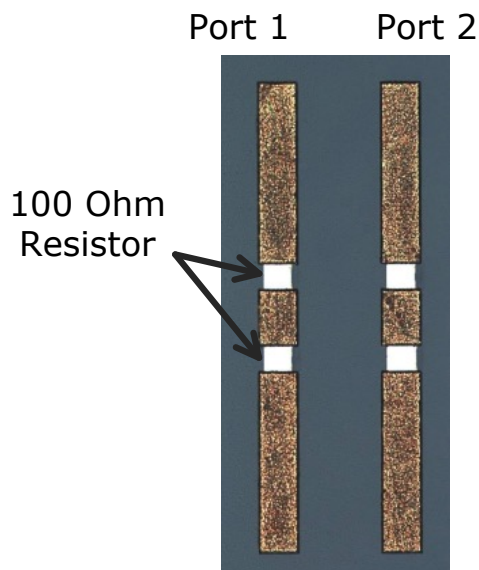
- Электрические характеристики известны (рассчитаны/измерены производителем)
- Применяются для смещения плоскости измерения к концу зондовых головок

Пример стандартов GSG конфигурации

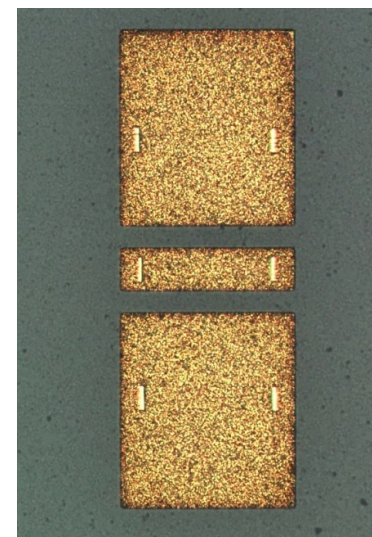
Холостой
ход



Согласованная
нагрузка

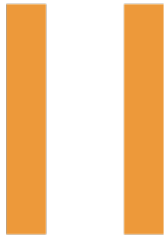


Проход
(линия)



Пример конфигурации GS и SG

SG-GS Elements



Short



Open

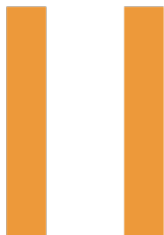


Load



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 Ω
--	-------------

Effective dielectric constant @20 GHz, real part	4.94
--	------

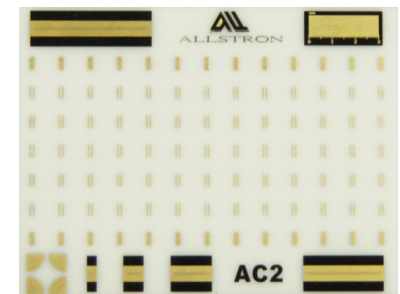
Effective velocity factor @20 GHz	0.45
-----------------------------------	------

Parameters of the simplified model of line losses

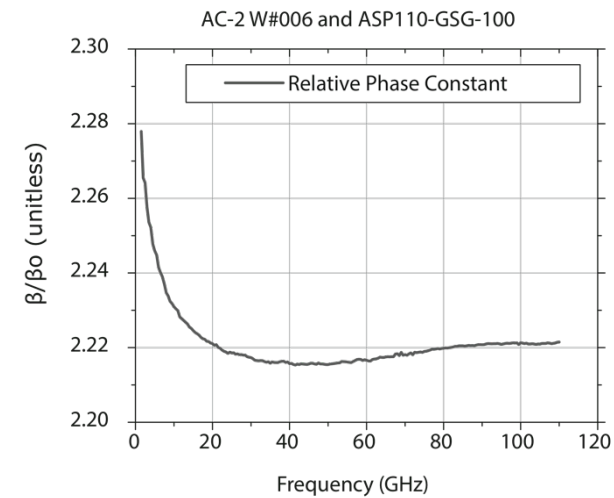
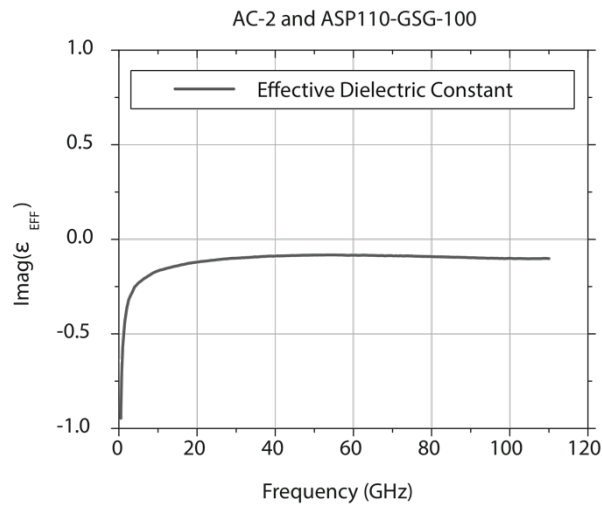
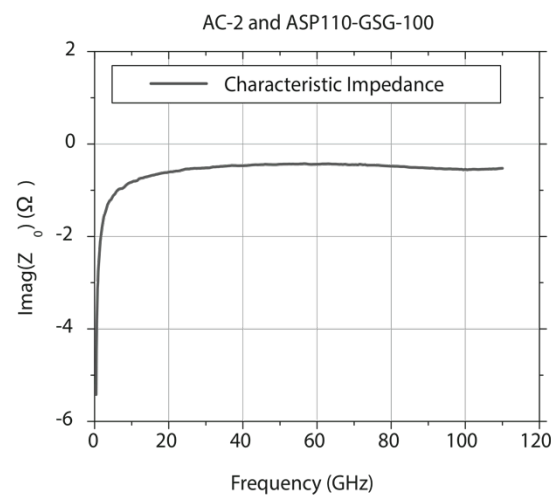
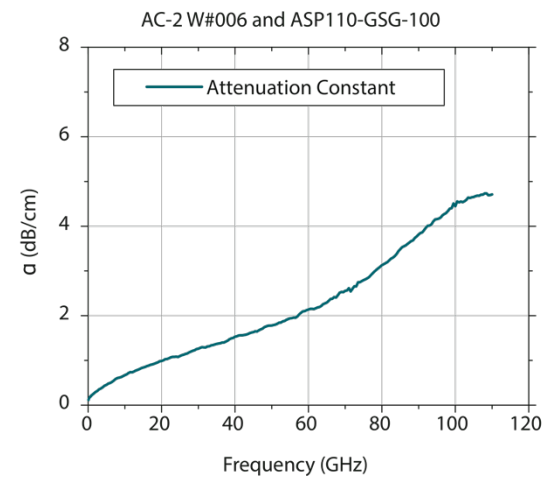
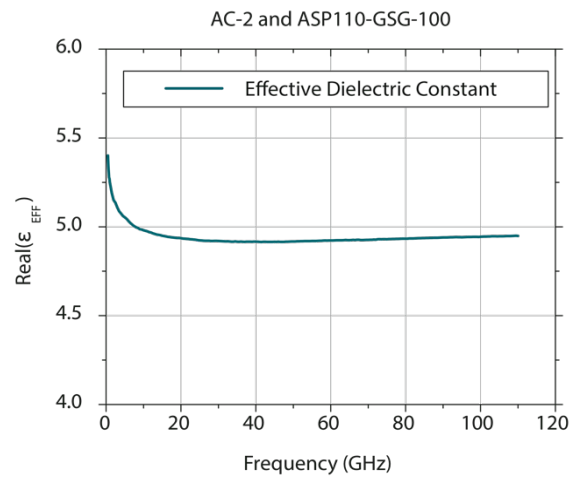
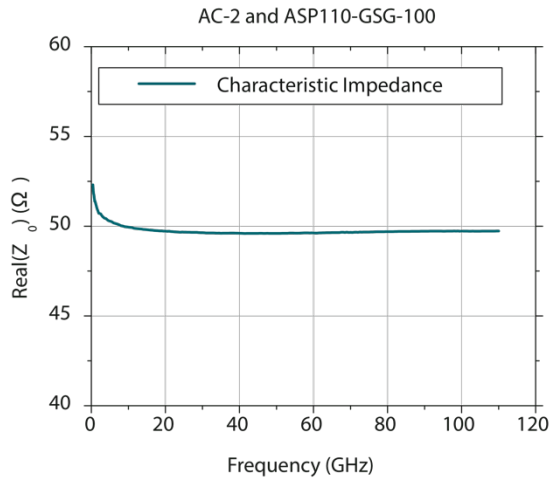
Reference loss, dB	0.34
--------------------	------

Reference delay, ps	25.5
---------------------	------

Reference frequency, GHz	20
--------------------------	----



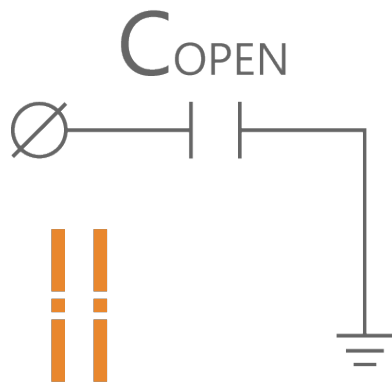
... по методике NIST



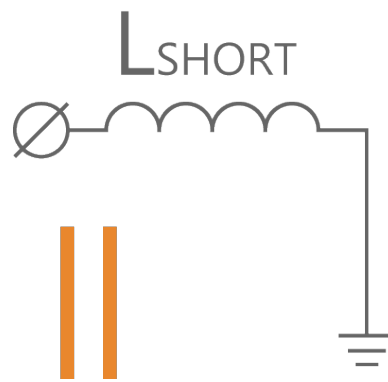
Электрические модели стандартов

- Часто называют “Корректировочными коэффициентами зондовых головок”

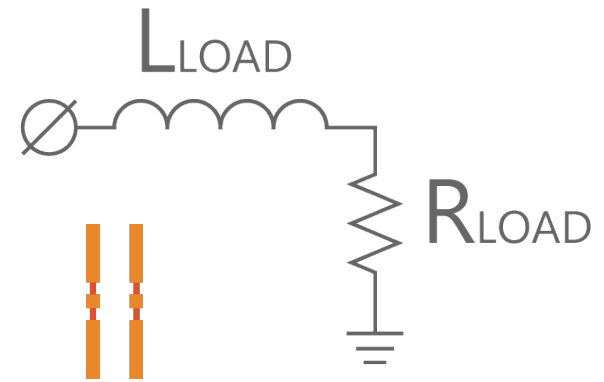
Холостой
ход



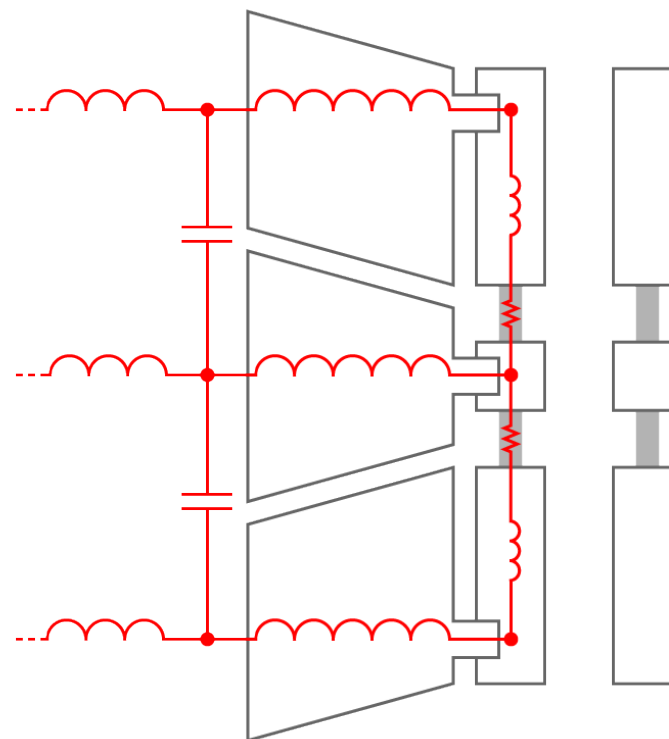
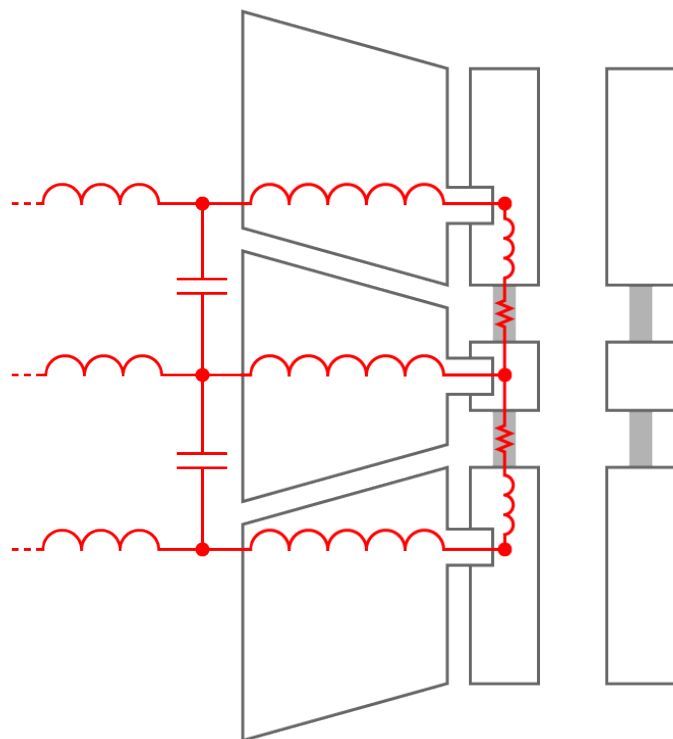
Короткое
Замыкание



Согласованная
нагрузка

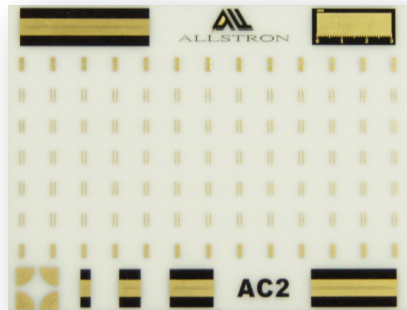


Электрические модели стандартов



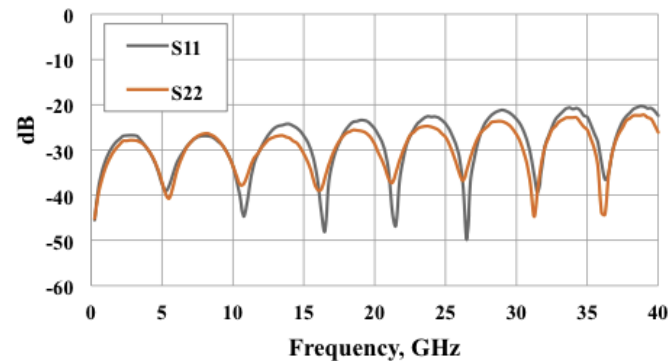
- Определяются **только** в паре стандарт-головка

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 Ω
--	-------------

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
---------------	-------



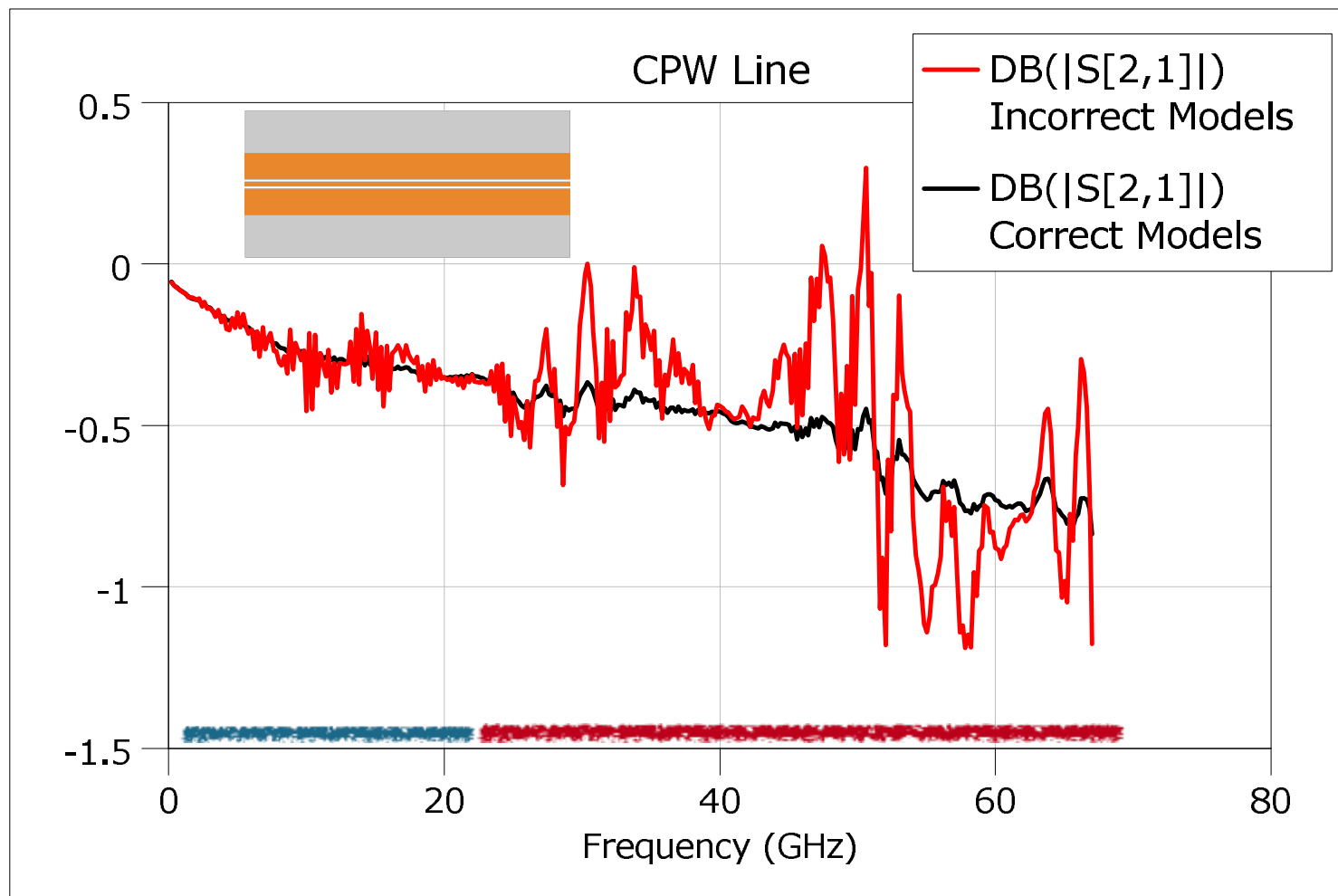
Обратитесь к руководству
по калибровочной
подложке

SOLT калибровка общего применения

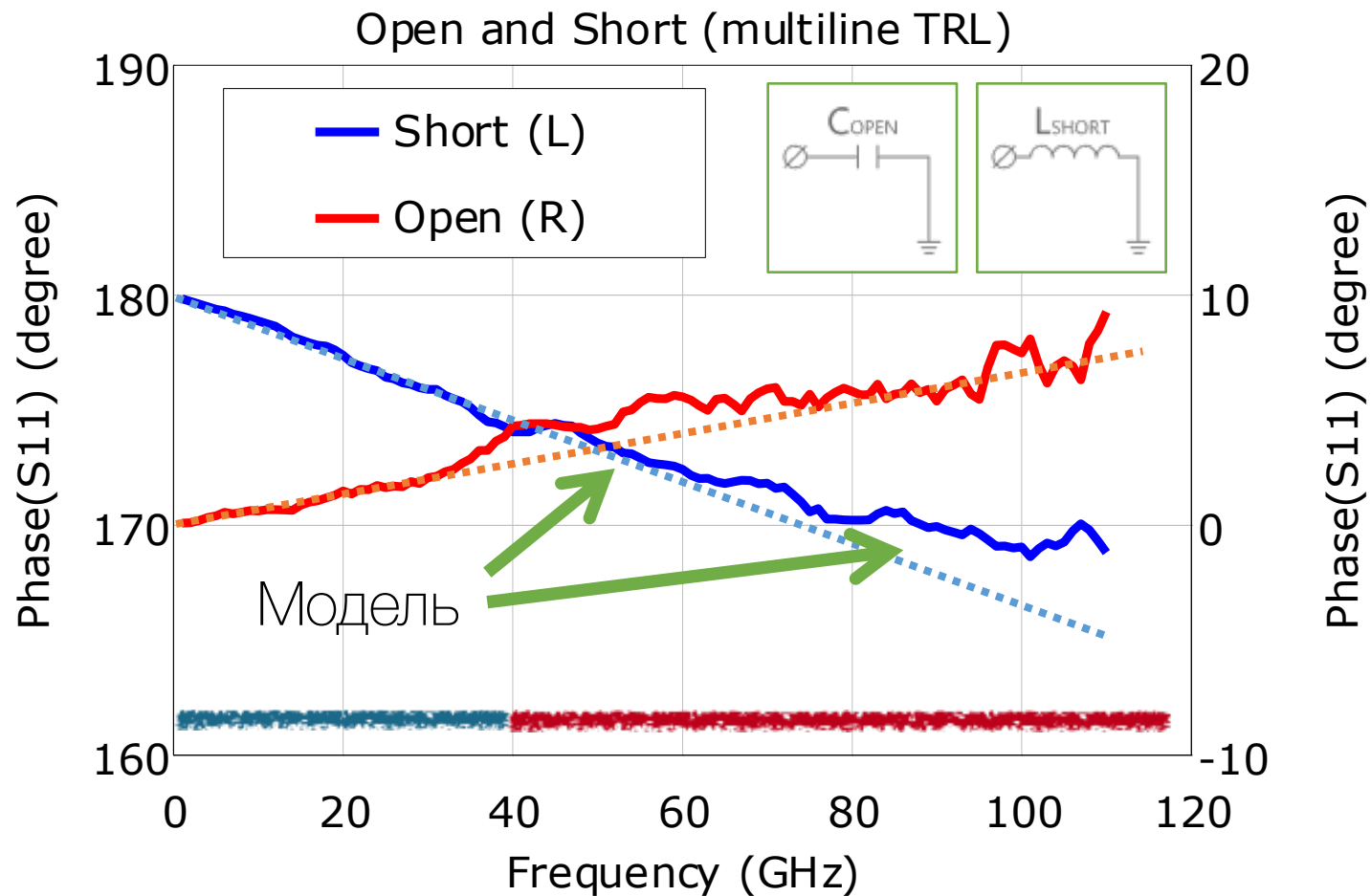
Стандарт	Требования к параметрам	Пример определения
K3 (Short)	Полностью известен	$R=0$; $L=6.3\text{pH}$
XX (Open)	Полностью известен	$R=\text{inf}$; $C=5.2\text{fF}$
CH (Load)	Полностью известен	$R=50$; $L=-2.5\text{pH}$
Проход (Thru)	Полностью известен	$Z_0=50\Omega$ $\alpha=0$, $\tau=1.1\text{pS}$

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



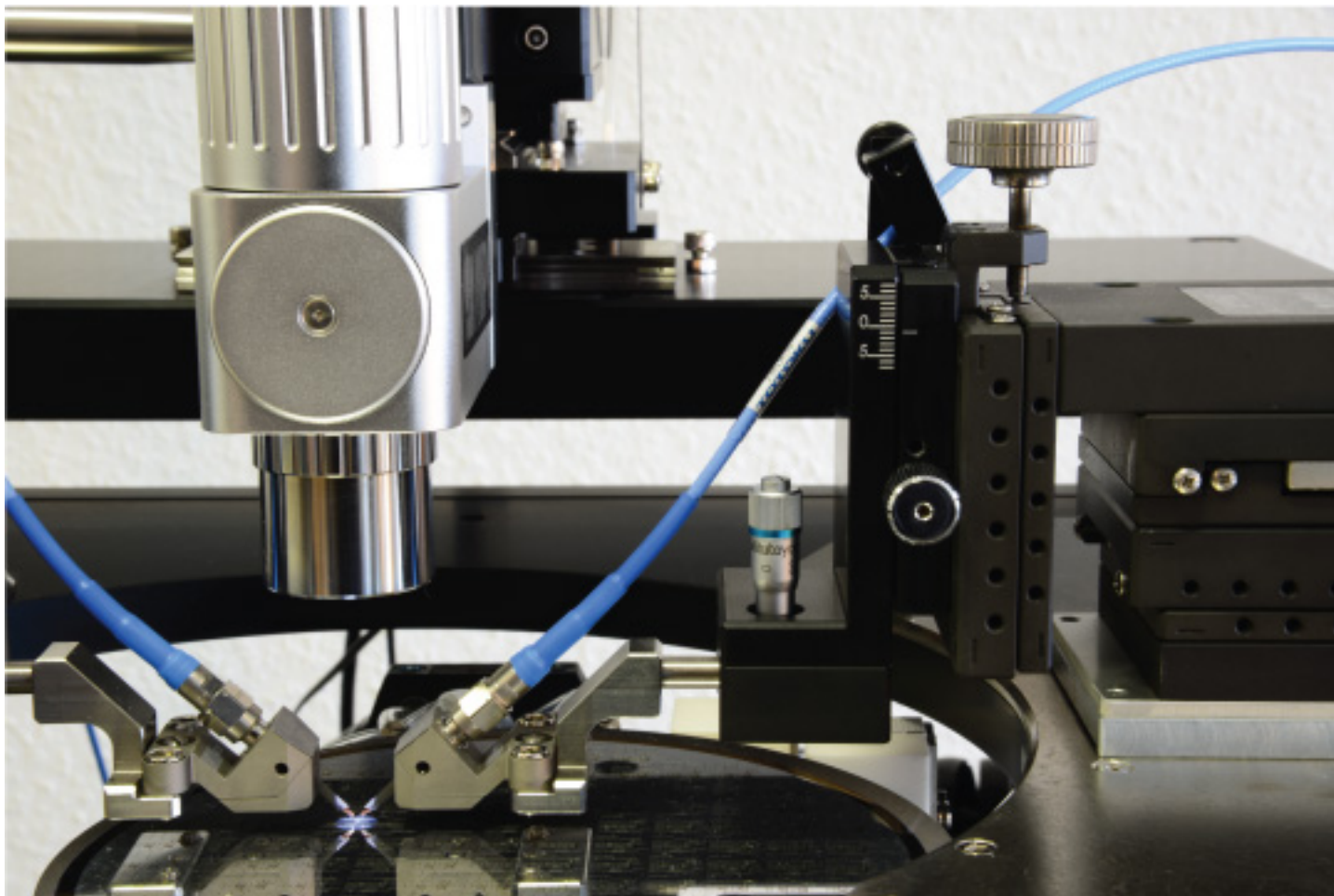
Специализированные методы > 40 ГГц



Содержание

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

ВЧ кабели для зондовых станций

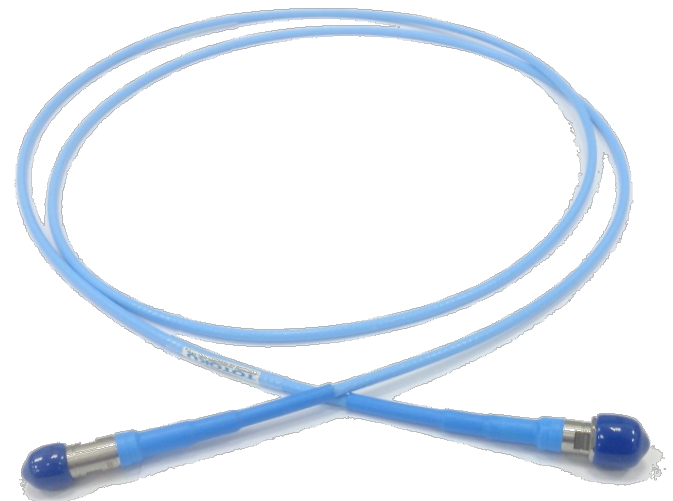


ВЧ кабели: в чем разница?

Для ВАЦ

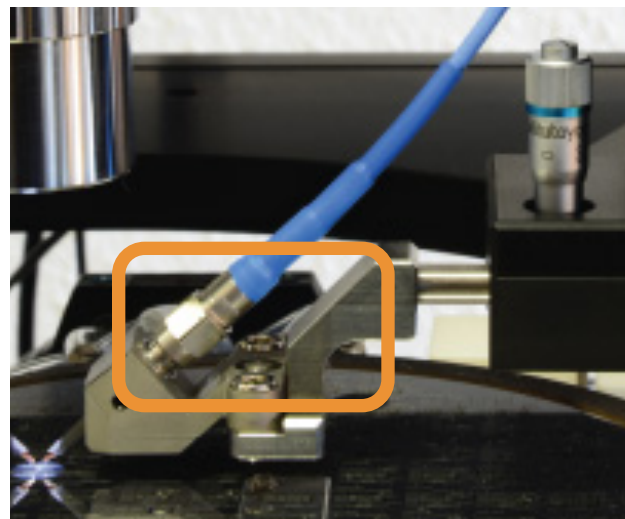
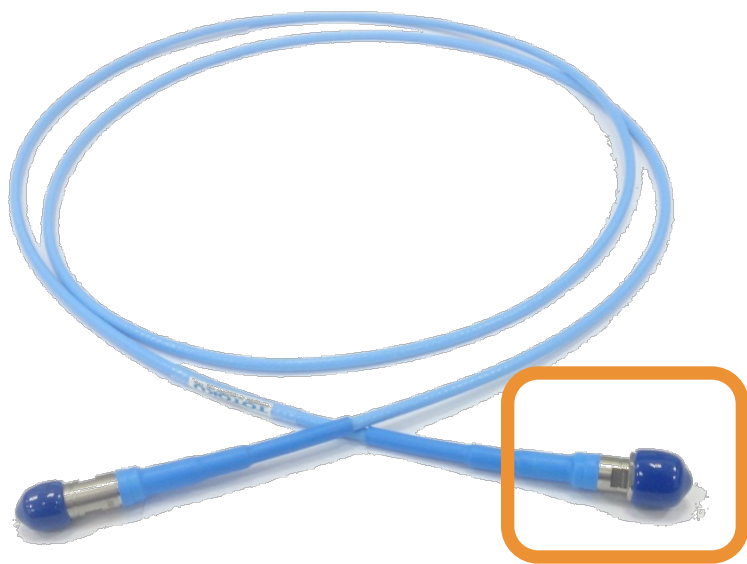


Для зондовых станций

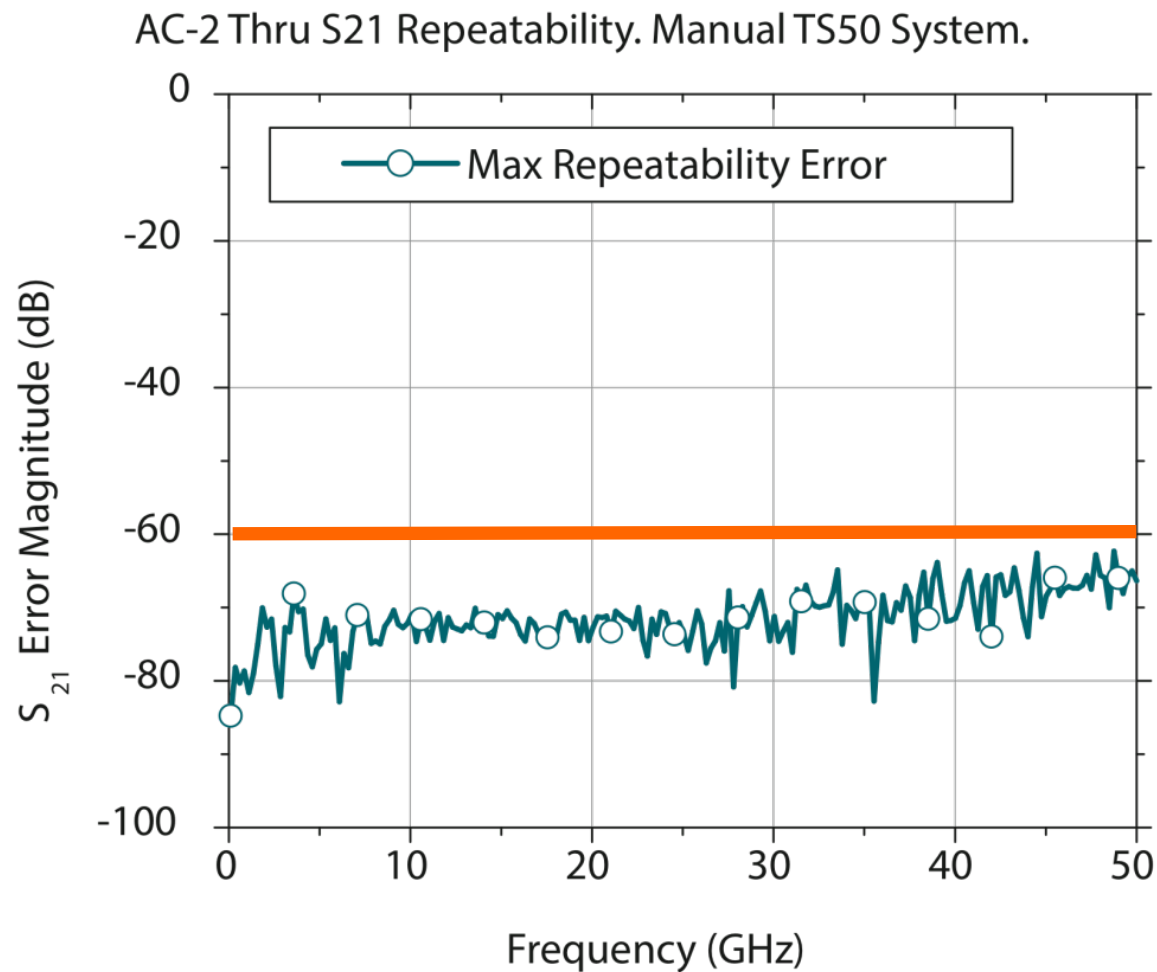


Кабели для зондовых станций

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



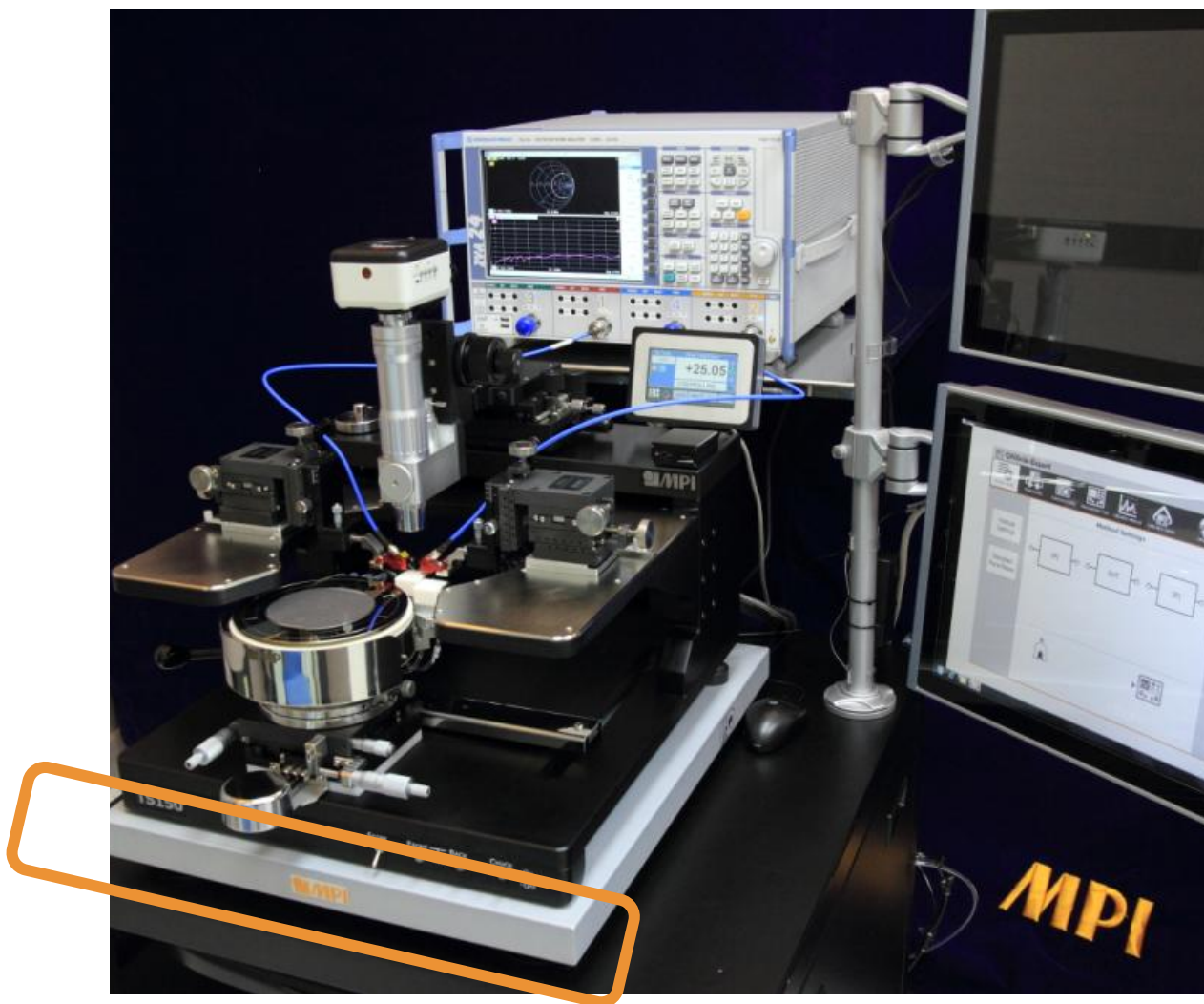
Типичная повторяемость контакта на ручной станции



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

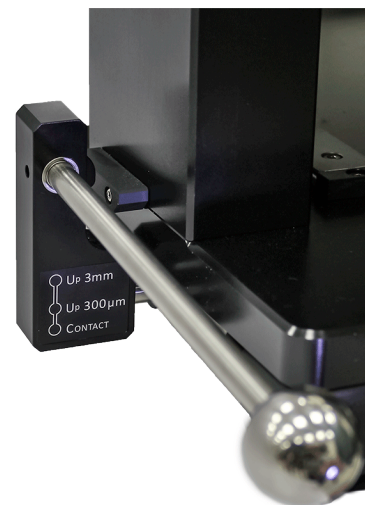
Три фиксированные позиции



Загрузка
3 мм



Перемещение
300 мкм



Контакт

MPI: Функция автоматического контакта

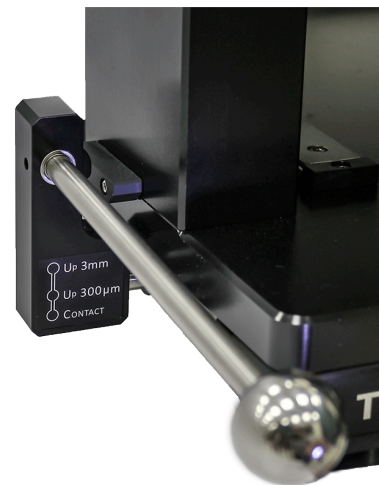
Подъем



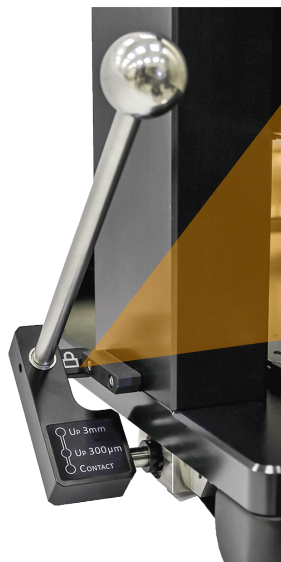
Контакт

1 мкм повторяемость

независимо от оператора



Блокиратор позиции в режиме загрузки

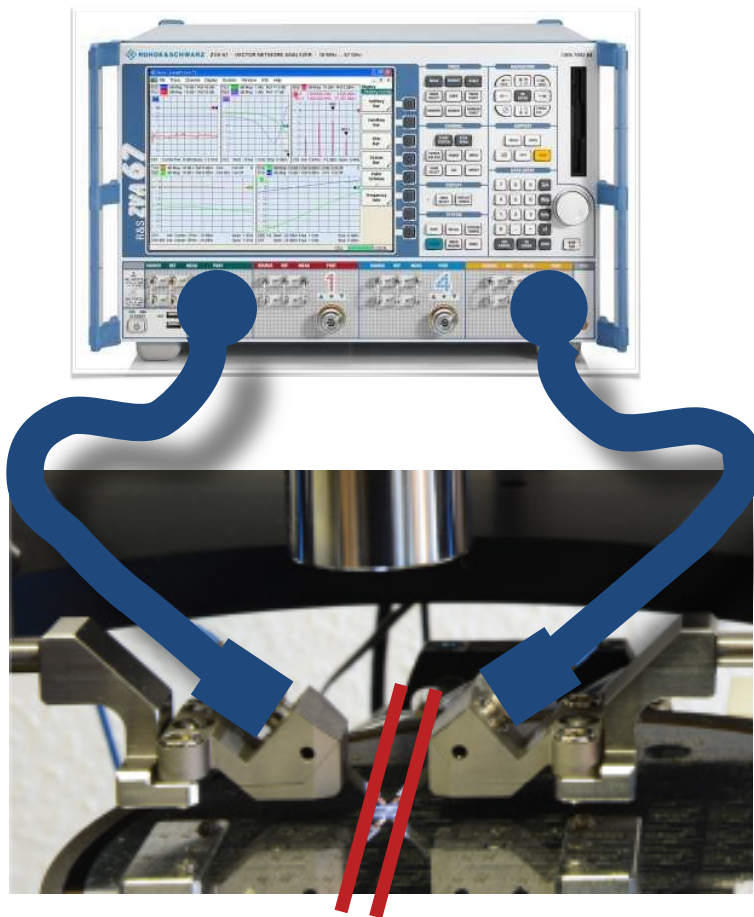


Заблокировано

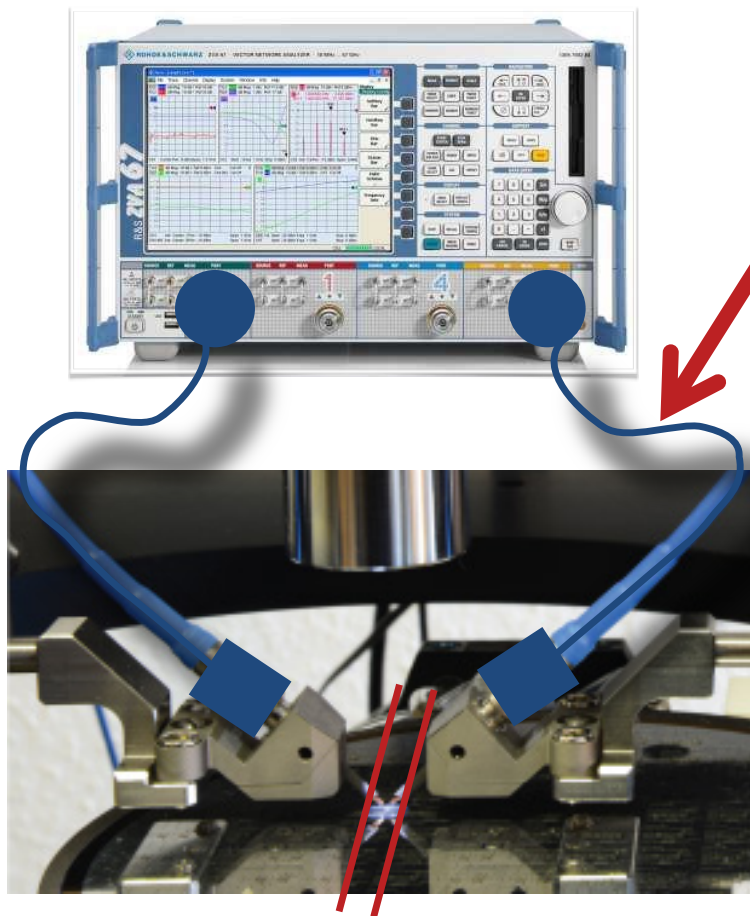


Разблокировано

Откалиброванная ВЧ система



Если Вы подвигаете ВЧ кабель



Есть лучшая позиция для ВАЦ!



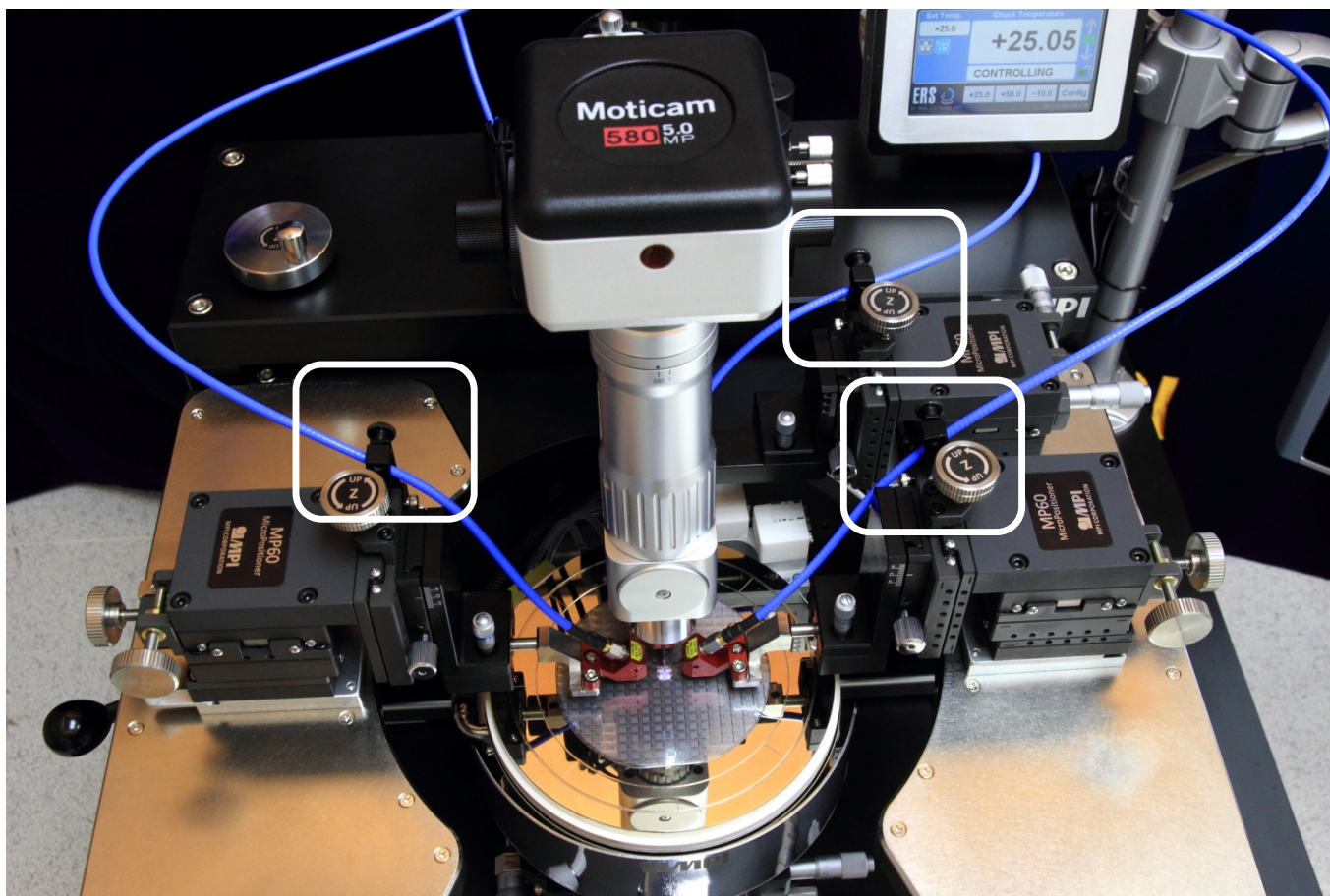
Picture source: Cascade Microtech, Inc.

Система MPI интегрированная с ВАЦ



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

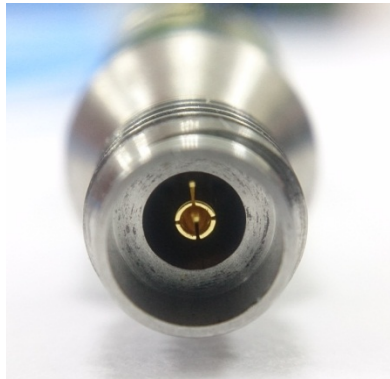
Фиксация ВЧ кабелей на манипуляторах



Пример ВЧ разъемов



SMA



K (2.92 mm)



Q (2.4 mm)



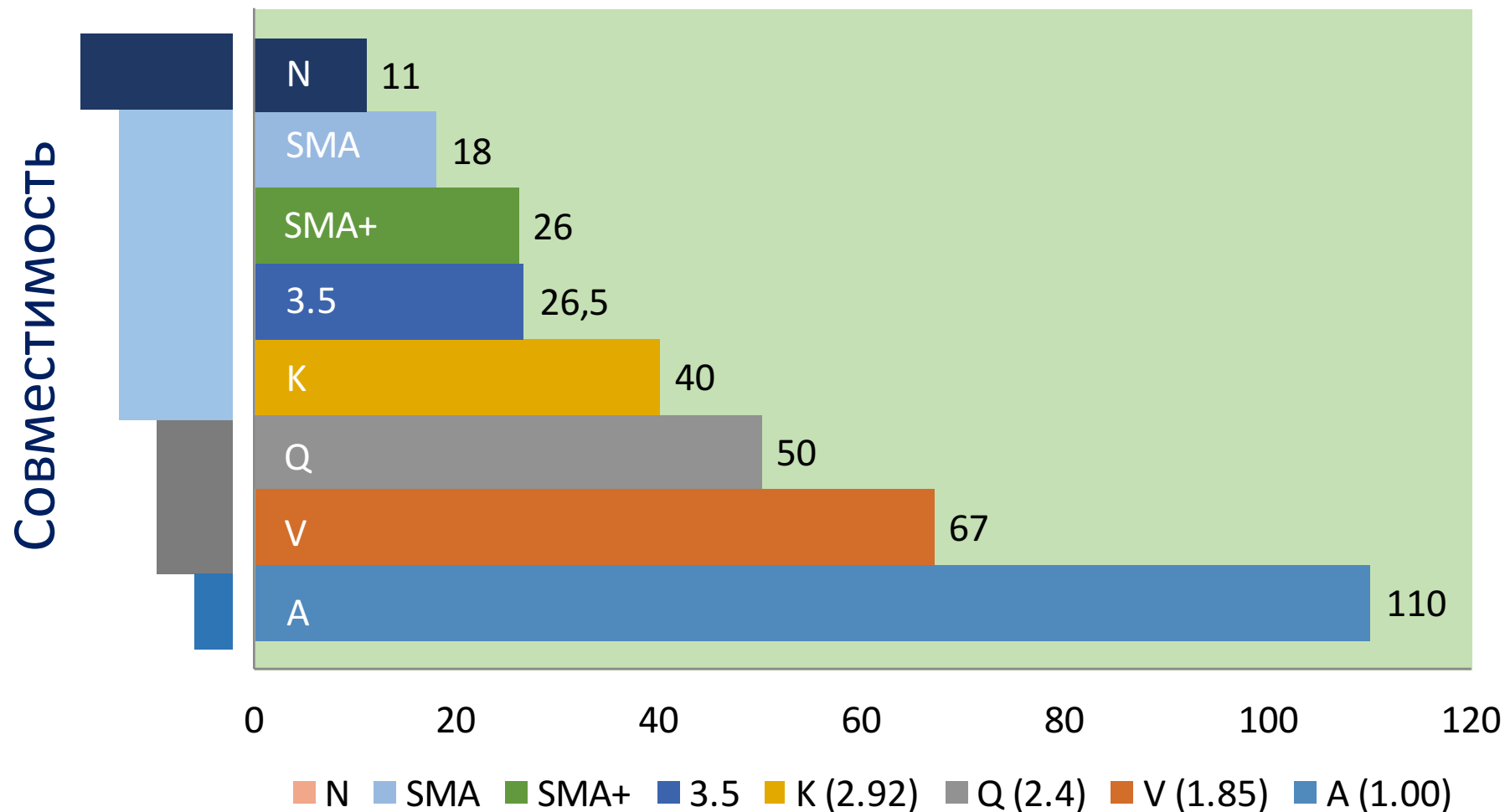
V (1.85 mm)



A (1.00 mm)



Частотный диапазон и механическая совместимость



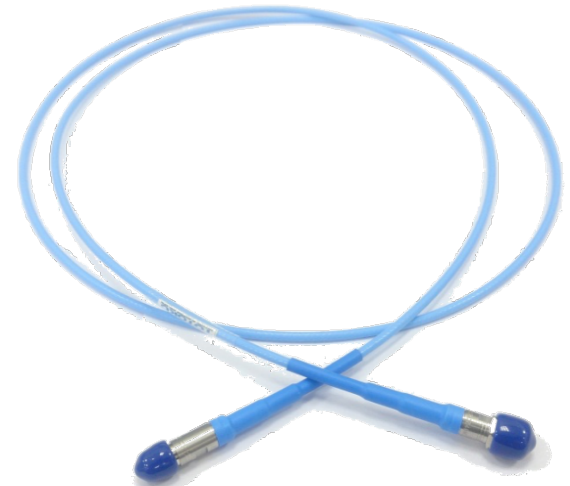
Пример ВЧ кабелей поставляемых MPI



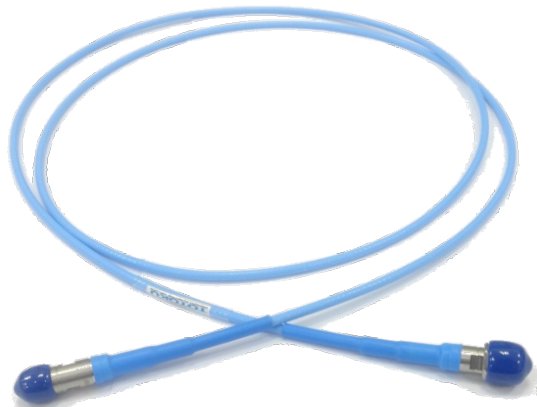
26 ГГц



40 ГГц



50 ГГц



67 GHz



110 ГГц

Спасибо за внимание!



Посетите наш веб-ресурс для дополнительной
информации:

www.tbs-semi.ru

www.mpi-corporation.com