

**Keysight EEsof EDA**

# Разработка ответвителя на дискретных элементах и микрополоскового ответвителя

Руководство  
с демонстрационными  
примерами

## Теория

Ответвитель – это, по сути, устройство, которое раздает мощность с входного порта на два или более выходных порта в равной мере с минимальными потерями и с разными или одинаковыми фазами. Шлейфовый ответвитель – это ответвитель с ослаблением 3 дБ и разностью фаз между двумя выходными портами 90°. Идеальный шлейфовый ответвитель, показанный на рис. 154, представляет собой четырехполюсник, идеально согласованный на всех четырех портах.

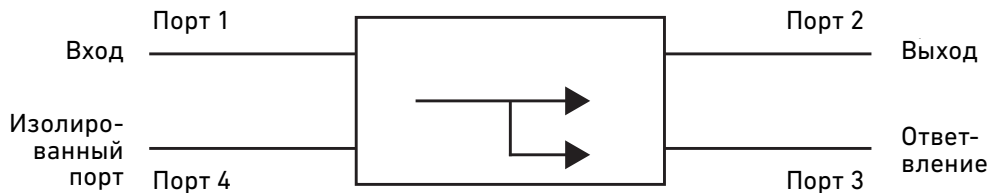


Рис. 154.

Мощность, поступающая на порт 1 в равной мере делится между портами 2 и 3 со сдвигом фаз 90 градусов. 4-й порт представляет собой изолированный порт, и через него мощность не проходит. Шлейфовый ответвитель обладает высокой степенью симметрии и позволяет использовать в качестве входного любой из четырех портов. Выходные порты расположены с противоположной стороны от входного, а изолированный порт – на той же стороне, что и входной. В S-матрице эта симметрия отражается тем фактом, что каждый из рядов может быть представлен перестановкой первого ряда. Ниже приведена матрица [S] идеального шлейфового ответвителя:

$$[S] = \frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix}$$

Рис. 155.

Основным преимуществом такого ответвителя является простота реализации, а его недостатки – узкая полоса пропускания из-за применения для его реализации четвертьволновой линии передачи, а также неоднородности, возникающие на переходе. Чтобы обойти эти недостатки, можно применить несколько секций шлейфового ответвителя с каскадным соединением, что позволяет на порядок расширить полосу пропускания, а также увеличить длину поперечного плеча на 10° – 20°, что дает возможность скомпенсировать потерю мощности из-за влияния неоднородности.

## Цель

Разработать шлейфовый ответвитель с сосредоточенными элементами и распределенными параметрами для частоты 2 ГГц и выполнить симуляцию его характеристик с помощью ADS.

## Разработка шлейфового ответвителя с сосредоточенными элементами

По приведенным формулам рассчитайте значения емкостей ( $C_0$  и  $C_1$ ) и индуктивностей ( $L$ ), требующихся для модели с сосредоточенными параметрами шлейфового ответвителя, показанной на рисунке ниже.

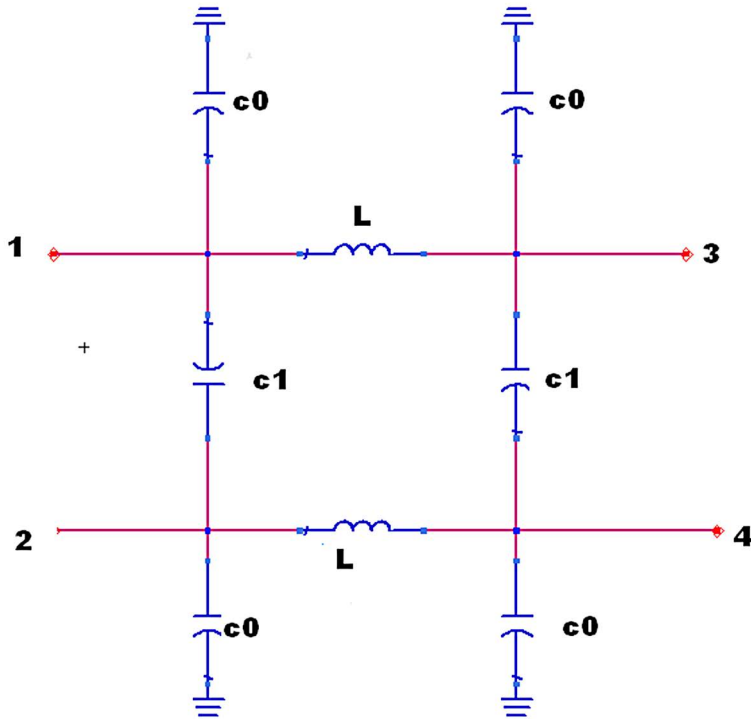


Рис 156.

$$\omega = 2 \pi f_c$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega Z_0 \sqrt{K}} \quad \text{где } K = 1 \text{ для ответвителя } 3 \text{ дБ}$$

$$C_0 = \frac{1}{(\omega^2 L)} C_1$$

$$L = \frac{Z_0}{\omega \sqrt{1 + Z_0 \omega C_1}}$$

$f_c$  – номинальная частота ответвителя.

$Z_0$  – характеристический импеданс линии передачи.

## Номинальные характеристики проекта

Номинальная частота  $f_c$  = 2 ГГц

Круговая частота  $\omega$  в радианах =  $2\pi f_c = 1,25 \times 10^{10}$

Характеристический импеданс  $Z_0$  = 50 Ом

Подставив данные значения в приведенные выше выражения, получим следующие значения для модели с сосредоточенными параметрами:

$C_1 = 1,6$  пФ

$L = 2,8$  нГн

$C_0 = 0,66$  пФ

## Порядок действий при схемотехнической симуляции

1. Откройте окно схемы **Schematic ADS**.
2. Из библиотеки компонентов с сосредоточенными параметрами выберите подходящие компоненты, необходимые для модели с сосредоточенными параметрами. Нажмите на необходимые компоненты и вставьте их в окно схемы ADS, как показано на следующем рисунке.
3. Настройте симуляцию S-параметров для частот от 1,5 ГГц до 2,5 ГГц со 101 точкой и запустите симуляцию.

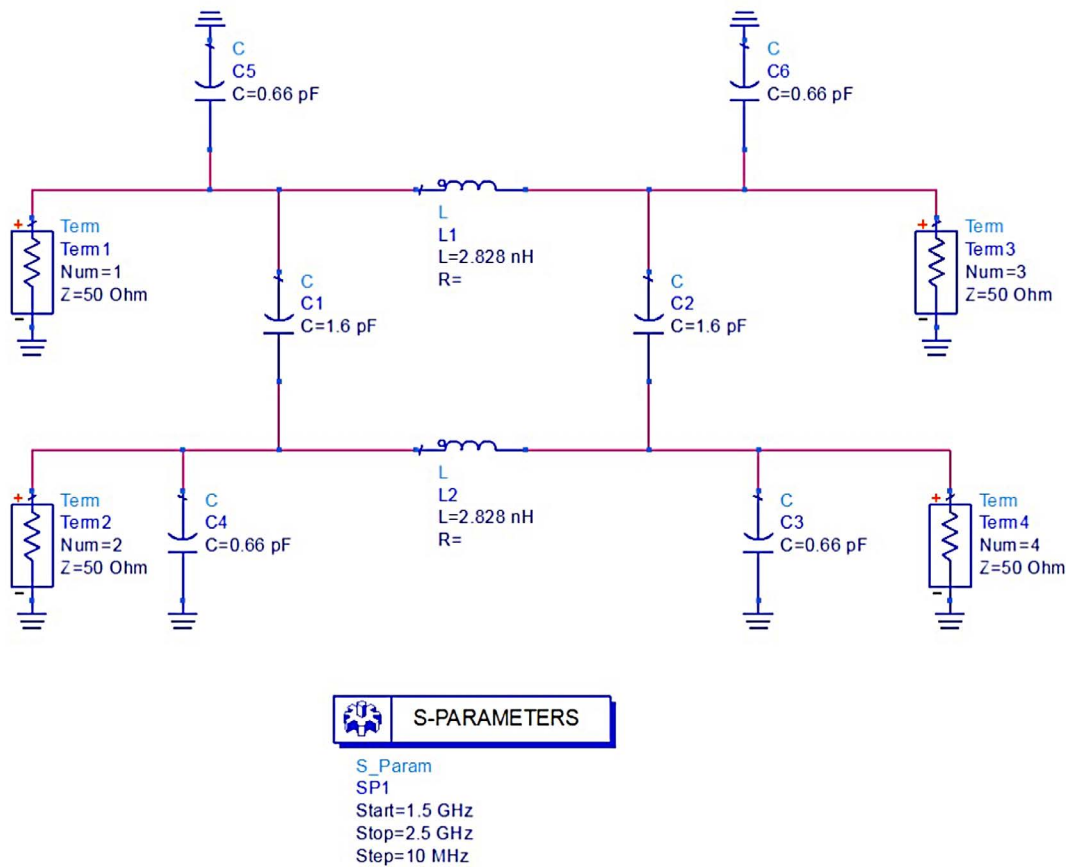


Рис. 157.

4. По завершении симуляции постройте требуемые графики, чтобы просмотреть характеристику ответвителя, как показано на рисунке ниже.

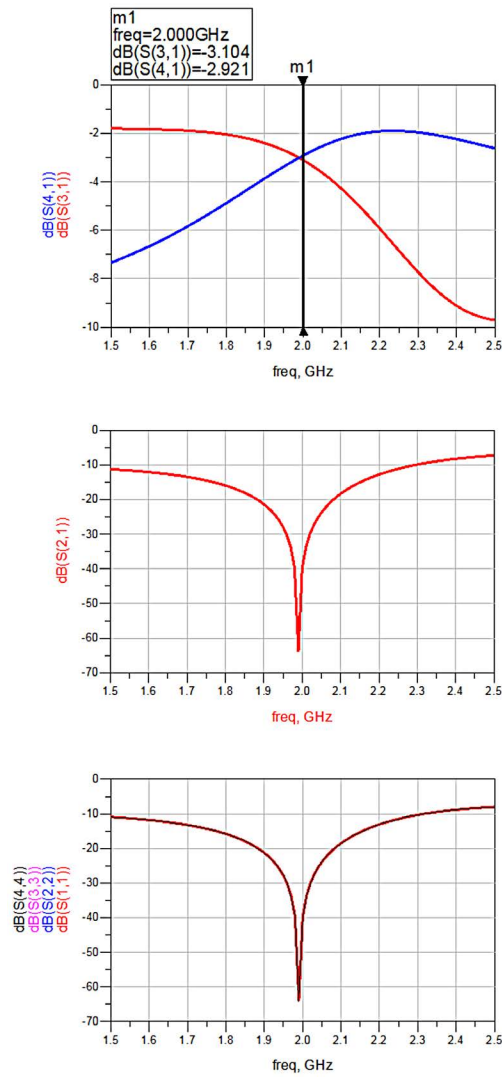


Рис. 158.

## Разработка шлейфового ответвителя с распределенными параметрами

- Для проекта ответвителя выберите подходящую подложку с толщиной  $h$  и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r$ . Для данного примера мы выберем следующие параметры диэлектрика:
  - $\epsilon_r$  (Диэлектрическая проницаемость) = 4.6
  - Height (Высота) = 1.6 mm
  - Loss Tangent (Тангенс угла потерь) = 0.0023
  - Metal Thickness (Толщина металла) = 0.035 mm
  - Metal Conductivity (Проводимость металла) =  $5.8E7$  S/m
- Рассчитайте длину волны  $\lambda_g$  исходя из заданных частотных параметров следующим образом:

$$\lambda_g = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} f}$$

где  $c$  – скорость света в воздухе,

$f$  – рабочая частота ответвителя,

$\epsilon_r$  – диэлектрическая проницаемость подложки.

3. Синтезируйте геометрические параметры (длину и ширину) четвертьволновых линий с импедансами  $Z_0$  и  $Z_0/\sqrt{2}$  ( $Z_0$  – характеристический импеданс микрополосковой линии, принятый равным 50 Ом). Геометрия шлейфового ответвителя показана на рисунке ниже.

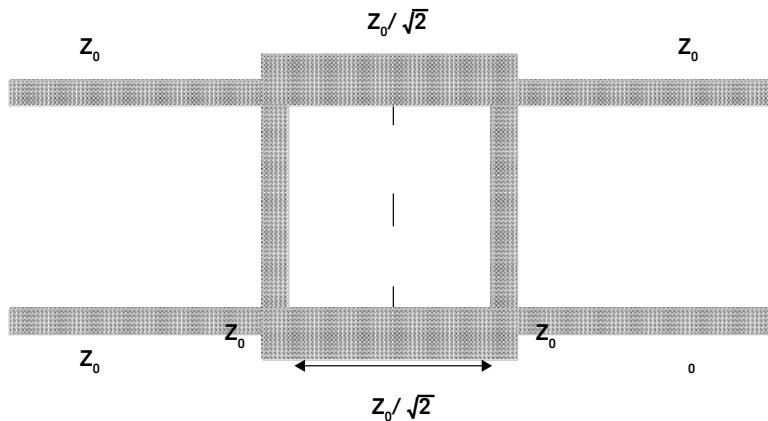


Рис. 159.

### Топологическая симуляция в ADS

1. Рассчитайте геометрические параметры шлейфового ответвителя из электрических параметров, таких как  $Z_0$  и электрическая длина, по приведенной выше процедуре. Геометрические параметры могут быть синтезированы с помощью средства Linecalc, как это было описано в предыдущих лабораторных работах. Геометрические параметры микрополосковой линии для импедансов 50 Ом ( $Z_0$ ) и 35 Ом ( $Z_0/\sqrt{2}$ ) следующие:  
 Линия 50 Ом:
  - i. Ширина - 2,9 мм
  - ii. Длина – 20 мм  
 Линия 35 Ом:
  - iii. Ширина - 5,14 мм
  - iv. Длина – 19,5 мм
2. Создайте модель шлейфового ответвителя в окне топологии ADS. Модель можно создать, воспользовавшись доступными библиотечными микрополосковыми компонентами либо нарисовав прямоугольники.
3. Для создания модели с применением библиотечных компонентов выберите библиотеку TLines – Microstrip (Линии передачи – Микрополосковые). Выберите из библиотеки подходящий тип микрополосковой линии и вставьте ее в окно топологии, как показано на рисунке ниже. Для правильного соединения линий необходимо добавить компонент Microstrip TEE (Т-образный микрополосок) в местах 4 переходов, как в выделенных областях, показанных на рисунке ниже.

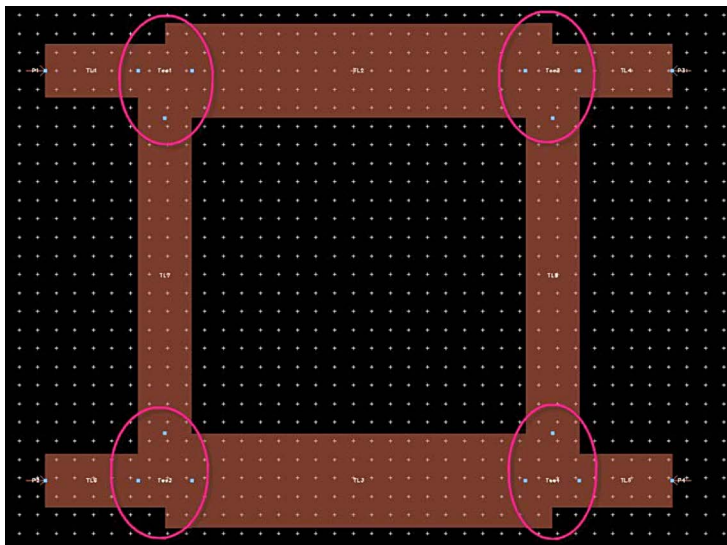


Рис. 160.

- С помощью окна настройки электромагнитной симуляции задайте свойства диэлектрика и проводника по процедуре, описанной в лабораторной работе по симуляции методом Momentum. Когда свойства будут должным образом заданы, изображение должно выглядеть, как показано ниже.

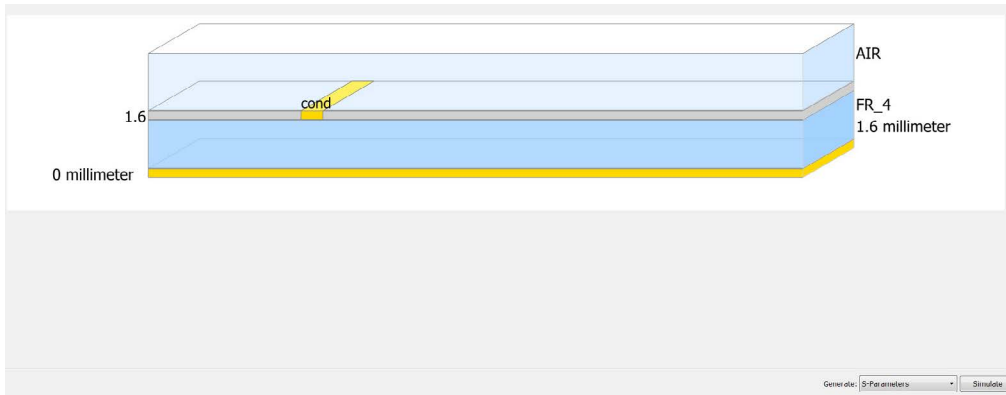


Рис. 161.

- Задайте частоту симуляции от 1,5 ГГц до 2,5 ГГц, включите Edge Mesh (Краевая сетка) на вкладке **Options > Mesh** (Опции > Сетка) окна настройки электромагнитной симуляции и нажмите кнопку **Simulate** (Симулировать).
- По завершении симуляции постройте график и просмотрите требуемую характеристику. При этом обратите внимание, что резонанс сдвинут в сторону меньших частот, как показано ниже.

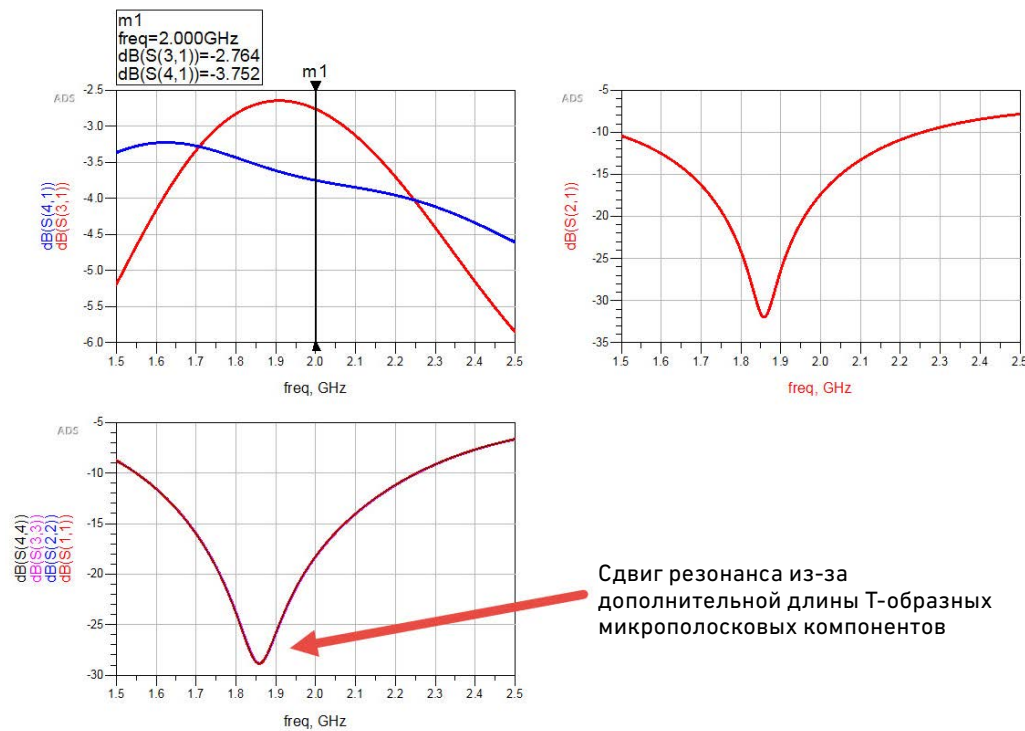


Рис. 162.

7. Для компенсации влияния Т-образных компонентов нам требуется уменьшить рассчитанные длины линий ответвителя на величину примерно  $w/2$  перекрещивающейся линии. Например, линия 19,5 мм, 35 Ом должна иметь длину примерно 18,2 мм, а вертикальная линия 19,5 мм, 50 Ом должна иметь длину 17,1 мм.
8. Измените длину линий и снова подсоедините их, как показано ниже. Снова выполните симуляцию топологии с теми же настройками. Заметьте, что характеристика приблизилась к желаемой частоте 2 ГГц.

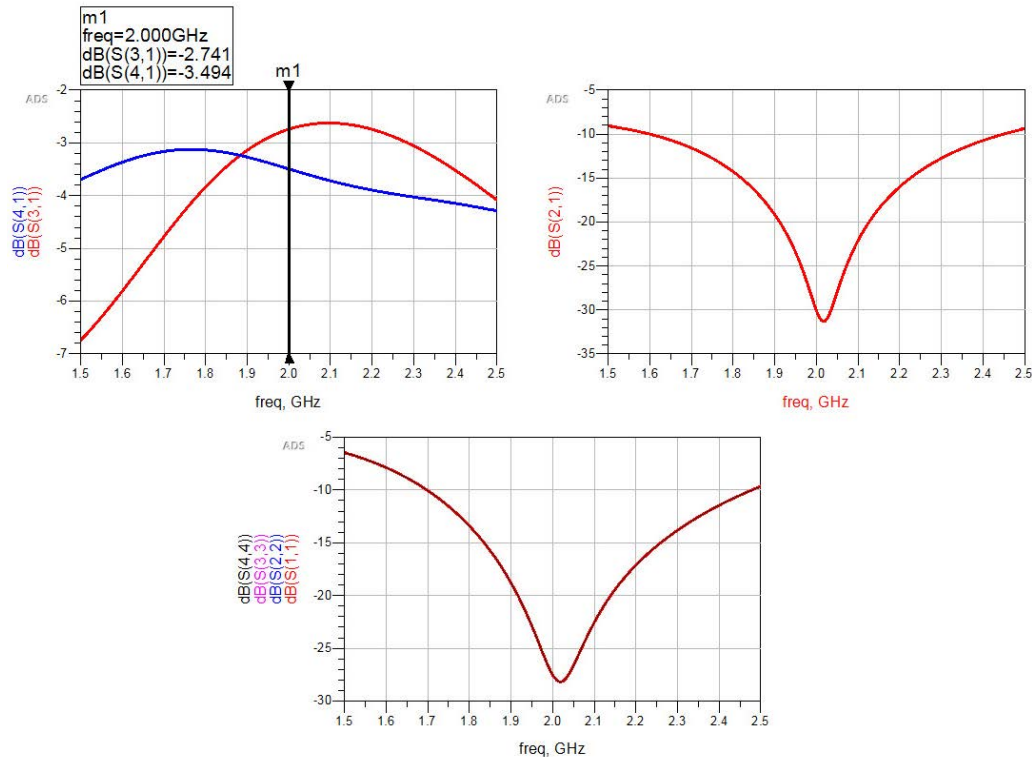


Рис. 163.

## Заключение

Результаты для ответвителя с сосредоточенными элементами хорошие, но необходима симуляция этой схемы и, возможно, ее повторная оптимизация с применением библиотек компонентов поставщиков. Нам потребуется выполнить симуляцию с анализом выхода годных, чтобы учесть разброс характеристик, который может быть вызван допусками сосредоточенных компонентов.

Что касается ответвителя с распределенными параметрами, мы можем оптимизировать его конструкцию, воспользовавшись схмотехническим симулятором или электромагнитным симулятором Momentum.

Поздравляем! Вы завершили раздел «Разработка дискретного и микрополоскового ответвителя». Дополнительные примеры вы найдете здесь:  
[www.Keysight.com/find/eesof-ads-rfmw-examples](http://www.Keysight.com/find/eesof-ads-rfmw-examples)



## Download your next insight

Программное обеспечение компании Keysight является воплощением профессионального опыта и знаний ее сотрудников. Мы готовы обеспечить вас инструментами, которые помогут сократить сроки сбора первичных данных и принятия решения на всех этапах – от предварительного моделирования изделия до отгрузки готового продукта заказчику.

- Системы автоматизированного проектирования (САПР) радиоэлектронных устройств
- Прикладные программы
- Среда программирования
- Программные утилиты



Более подробная информация:

[www.keysight.com/find/software](http://www.keysight.com/find/software)

Бесплатная пробная лицензия на 30 дней:

[www.keysight.com/find/free\\_trials](http://www.keysight.com/find/free_trials)

### Российское отделение Keysight Technologies

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973954,  
8 800 500 9286 (Звонок по России  
бесплатный)

Факс: +7 (495) 7973902

e-mail: [tmo\\_russia@keysight.com](mailto:tmo_russia@keysight.com)

[www.keysight.ru](http://www.keysight.ru)

### Сервисный Центр Keysight Technologies в России

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973930

Факс: +7 (495) 7973901

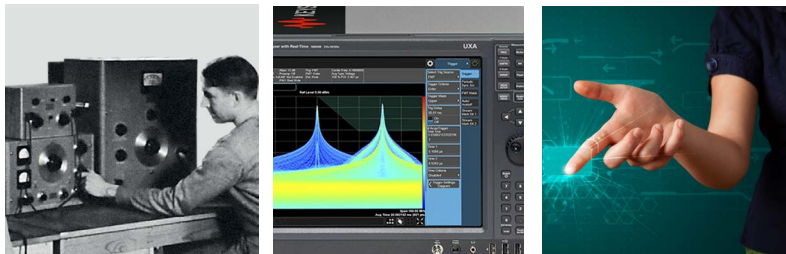
e-mail: [tmo\\_russia@keysight.com](mailto:tmo_russia@keysight.com)

(BP-06-08-16)

## Развитие

Уникальное сочетание передового контрольно-измерительного оборудования, программных решений и опыта наших сотрудников способствует рождению революционных технологий.

**Мы разрабатываем измерительные технологии с 1939 года.**



От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight



myKeysight

myKeysight

[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)

Персонализированное представление наиболее важной для Вас информации



Unlocking Measurement Insights

Информация может быть изменена без уведомления.

© Keysight Technologies, 2016

Published in USA, June 17, 2016

5992-1629RURU

[www.keysight.com](http://www.keysight.com)