

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)
Кафедра сверхвысококачастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)

Магистерская диссертация

**Исследование цепей согласования микроволновых
транзисторов с применением быстросъемных
разъемов**

Студент гр. 145-МЗ

Наубетов Д.

Научный руководитель:

доцент каф. СВЧиКР

Фатеев А.В.

Томск 2017

Актуальность темы исследования

Основной задачей согласования, является снижение коэффициента отражения и потерь в цепях согласования.

Наличие рассогласования, приводит к ухудшению эффективности работы линий передач. Возникает актуальная техническая и научная проблема обеспечения согласования.



Цель диссертационной работы

Исследование цепей согласования микроволновых транзисторов с применением быстросъемных разъемов PCI Express

Задачи исследования

- Моделирование и расчет согласующих цепей для микроволнового транзистора VF998;
- Изготовление макета с согласующими цепями с применением разъемов PCI Express;
- Экспериментальное исследование макета с согласующими цепями.

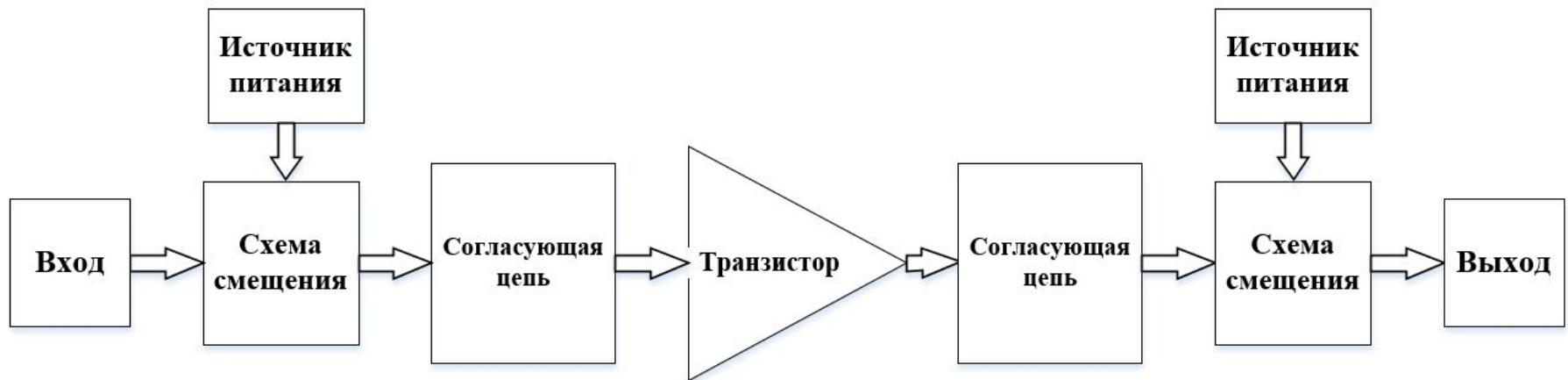
Разъем PCI Express



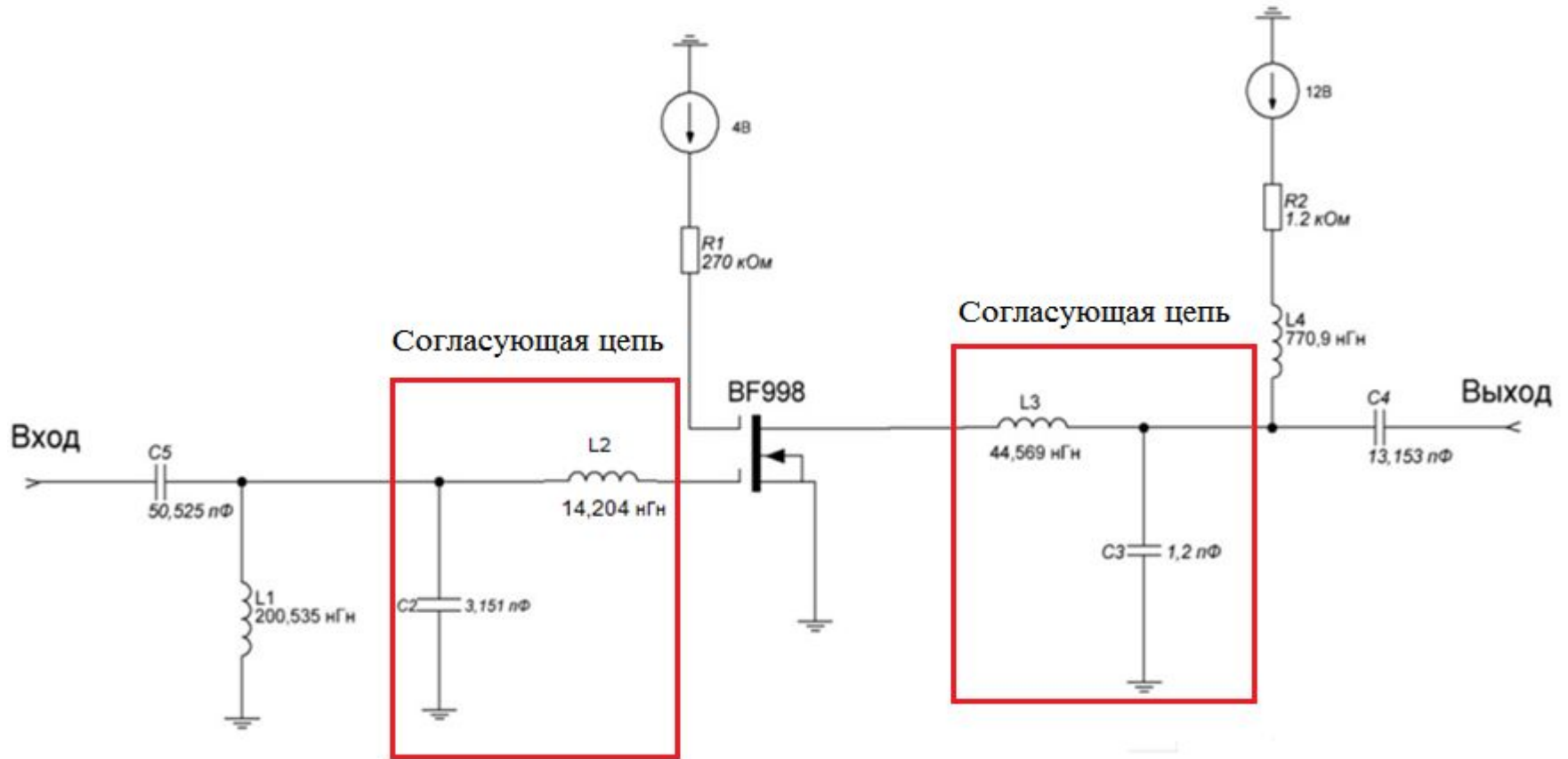
В качестве решения проблемы соединения между платами был выбран разъем PCI Express.

Использовалась длинная сторона разъема. Ее размеры составляют в длину 72 мм и ширину 1,8 мм

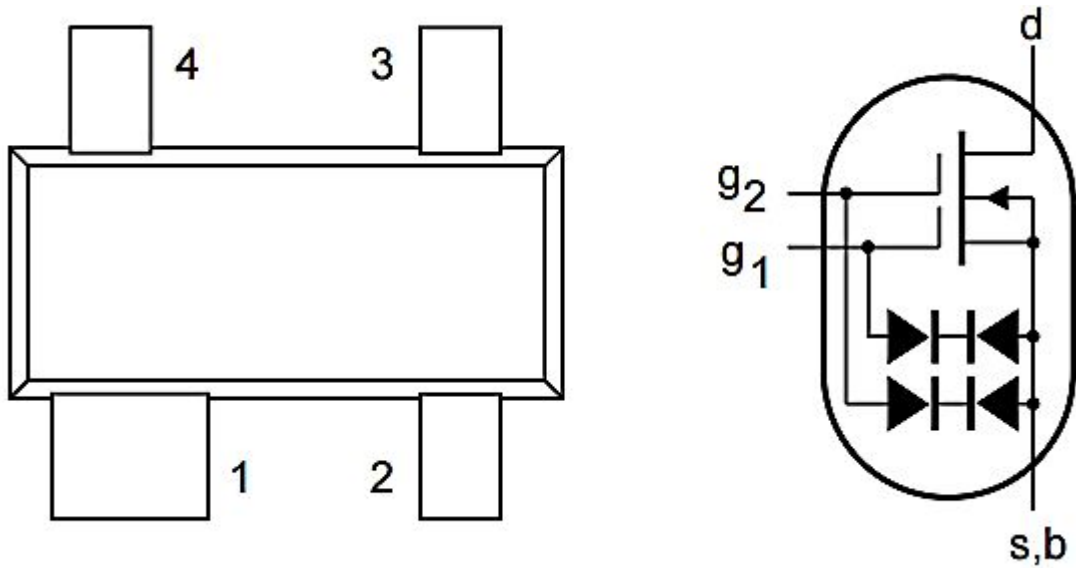
Структурная схема модульной конструкции на базе PCI Express



Принципиальная схема макета

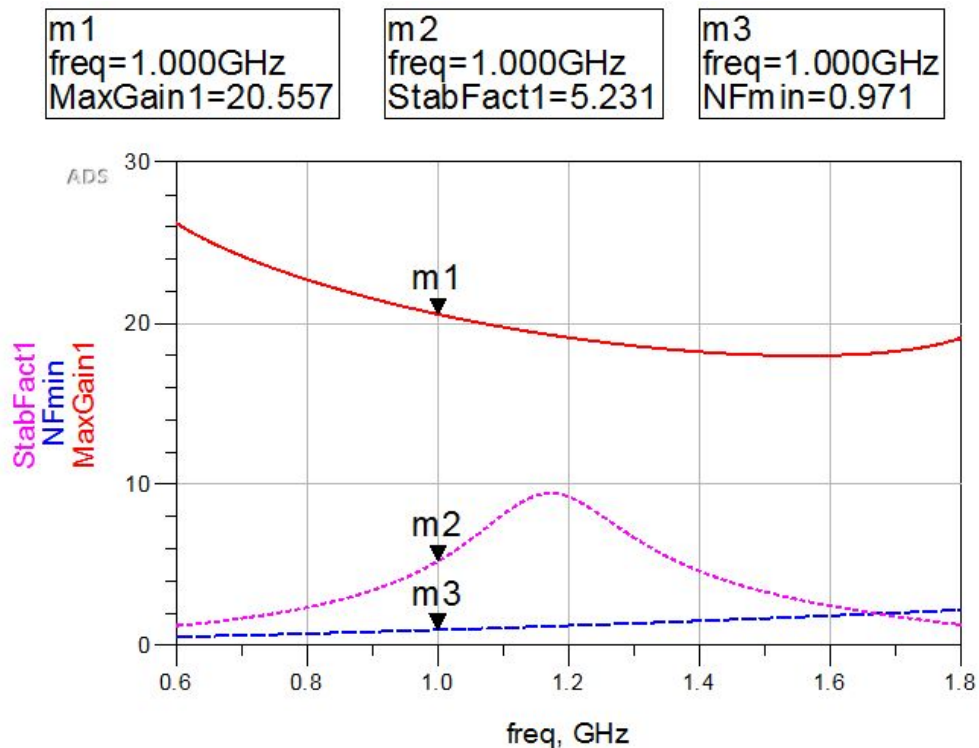


Транзистор BF998



| Ножки | Символы | Описание |
|-------|---------|----------|
| 1 | s, b | Исток |
| 2 | d | Сток |
| 3 | g_1 | Затвор 1 |
| 4 | g_2 | Затвор 2 |

Характеристики транзистора BF998



Коэффициент устойчивости StabFact1

Максимальный коэффициент усиления MaxGain

Коэффициент шума NFmin

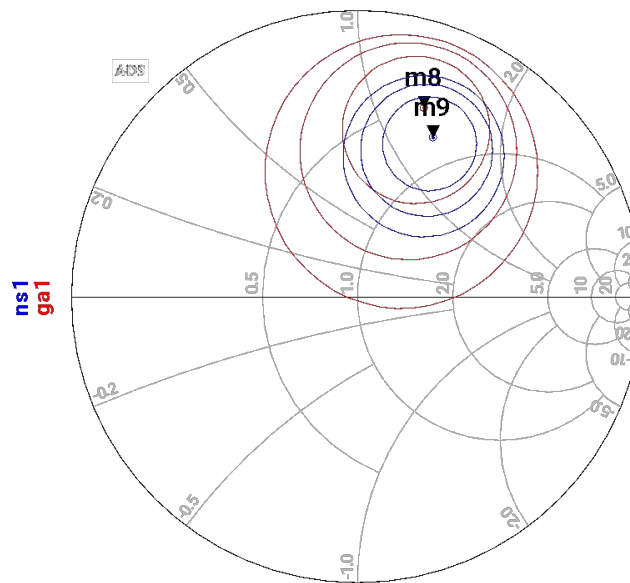
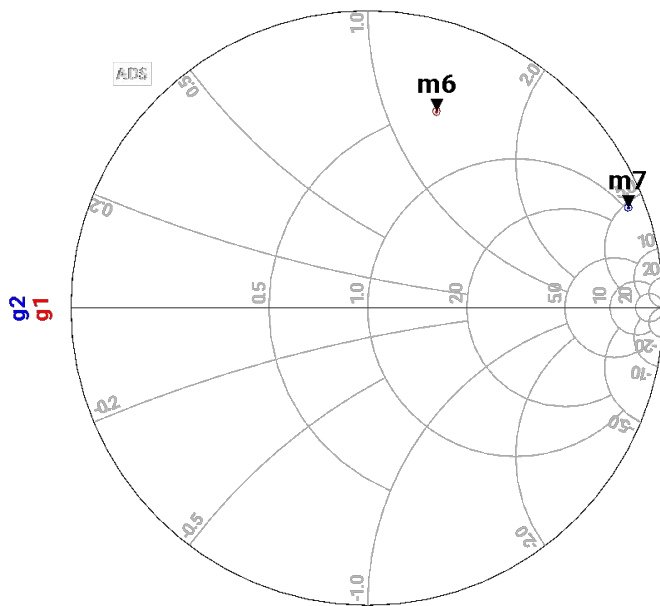
Характеристики транзистора VF998

m7
indep(m7)=0
g2=0.942 / 20.965
impedance = $Z_0 * (0.873 + j5.265)$

m6
indep(m6)=0
g1=0.701 / 70.629
impedance = $Z_0 * (0.496 + j1.288)$

m8
indep(m8)=51
ga1=0.701 / 70.629
gain=20.557
impedance = $Z_0 * (0.496 + j1.288)$

m9
indep(m9)=51
ns1=0.617 / 64.652
ns figure=0.971
impedance = $Z_0 * (0.727 + j1.308)$



cir_pts (0.000 to 51.000)

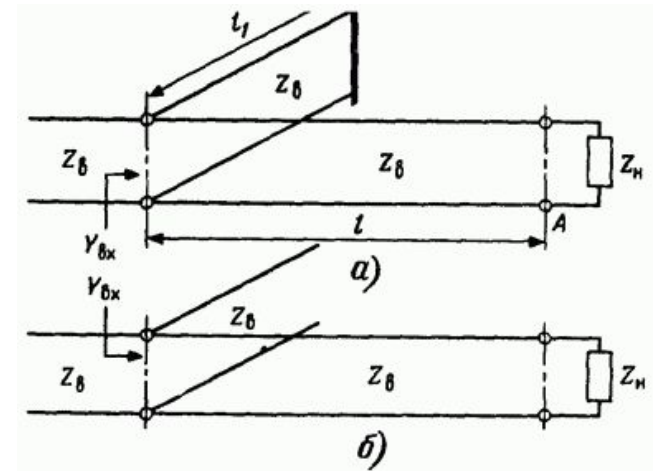
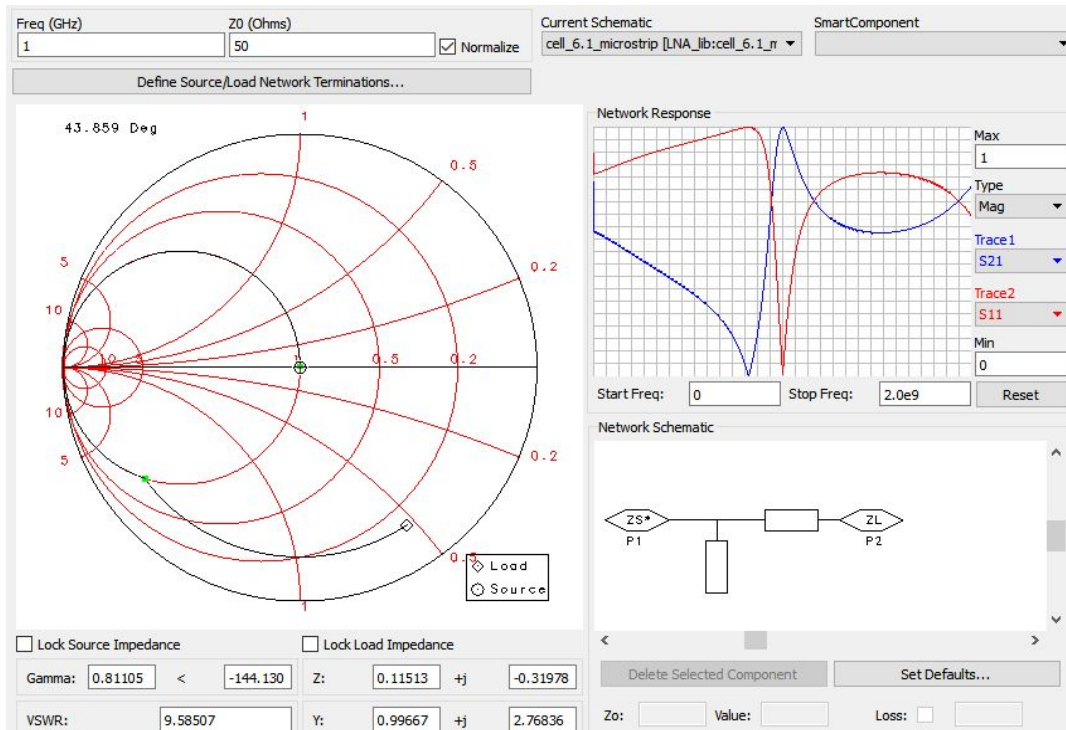
Коэффициенты отражения со стороны генератора g_1 и нагрузки g_2 .

$$Z_{\text{ВЫХ}} = Z_0 \cdot (0,873 + j5,265) \text{ Ом.}$$

Круги коэффициента усиления ga_1 и коэффициента шума ns_1 .

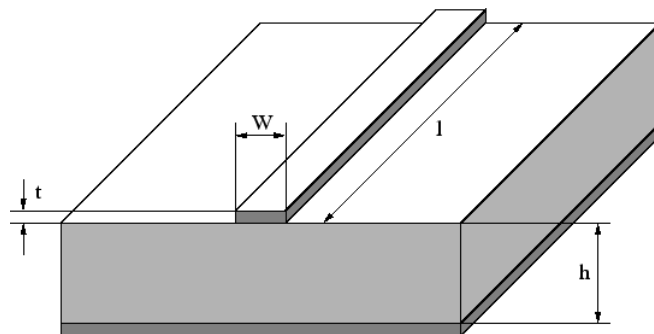
$$Z_{\text{ВХ}} = Z_0 \cdot (0,496 + j1,288) \text{ Ом.}$$

Согласование транзистора разомкнутым шлейфом



- а) одиночный короткозамкнутый шлейф;
- б) одиночный разомкнутый шлейф.

Расчет физических размеров микрополосковой линии

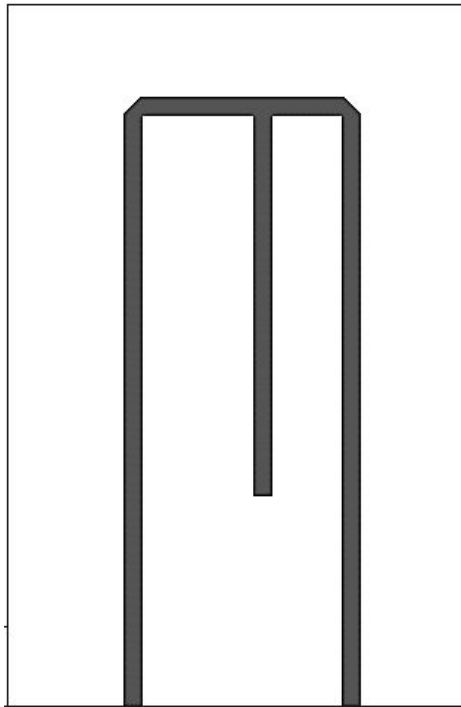


•
Ширина микрополосковой линии - $w = \frac{7.48 \cdot h}{e^{2 \cdot \frac{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}}{87}}}$

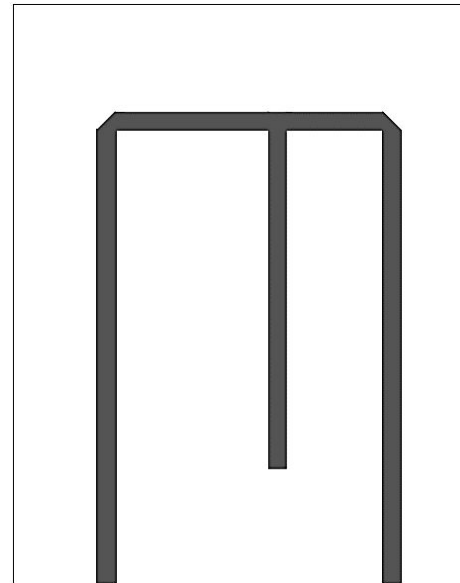
Эффективная проницаемость - $\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \cdot \left(1 + 10 \left(\frac{h}{w}\right)\right)^{-\frac{1}{2}}$

Длина микрополоска - $L = \frac{\varphi \cdot \left(\frac{\pi}{180^\circ}\right)}{\sqrt{\epsilon_{eff} \cdot k_0}}$

Моделирование цепей согласования



Входная плата с
согласующими цепями



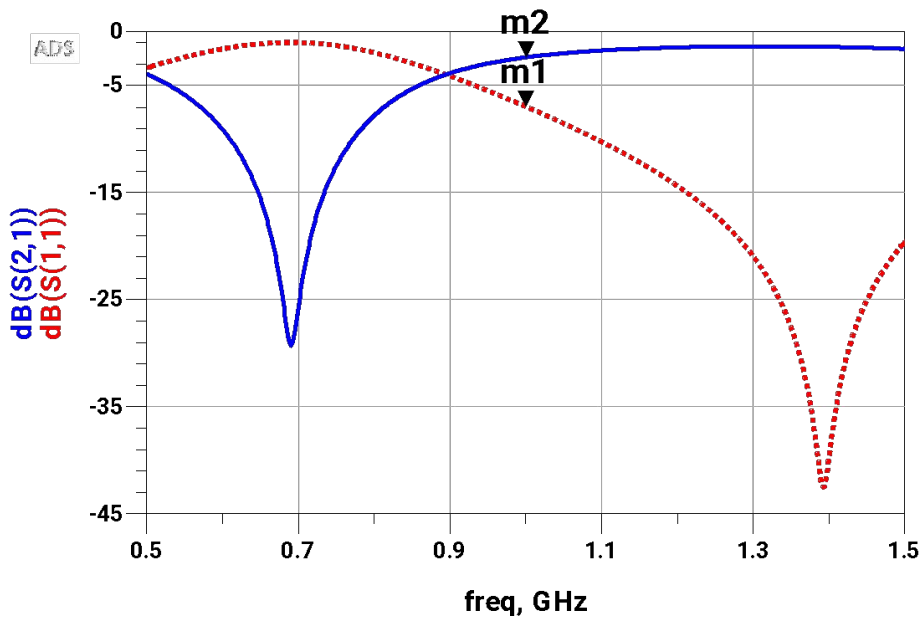
Входная плата с
согласующими цепями

| | |
|------------------------------------|-------------|
| Плата с входной согласующей цепью | 7,2 x 11 см |
| Плата с выходной согласующей цепью | 7,2 x 9 см |

Модули коэффициентов передачи и отражения согласующих цепей

m2
freq=1.000GHz
dB(S(2,1))=-2.385

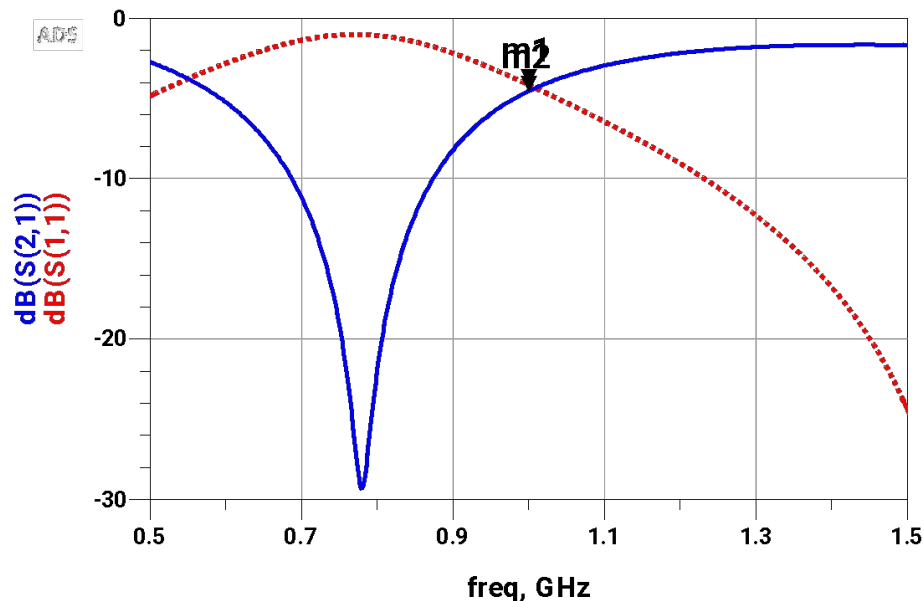
m1
freq=1.000GHz
dB(S(1,1))=-6.978



| Значение | 1 ГГц |
|----------|-----------|
| | -2,385 дБ |
| | -6,978 дБ |

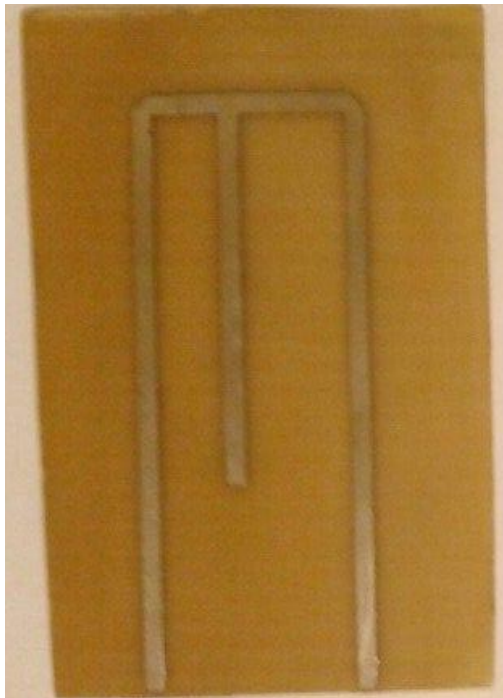
m2
freq=1.000GHz
dB(S(2,1))=-4.569

m1
freq=1.000GHz
dB(S(1,1))=-4.165

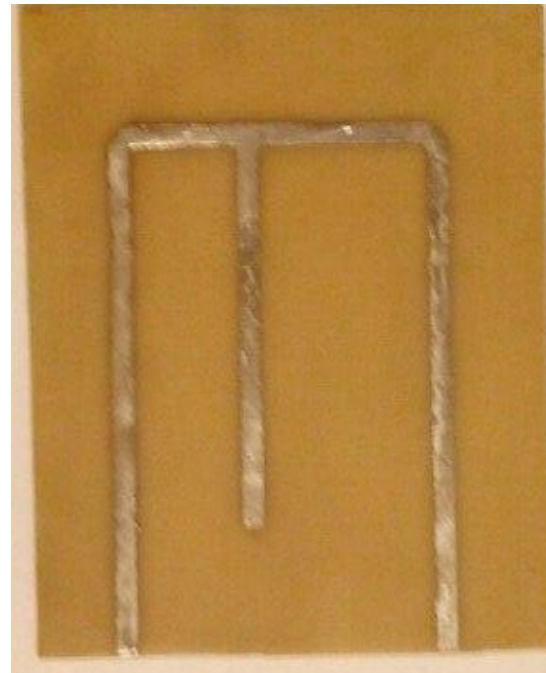


| Значение | 1 ГГц |
|----------|-----------|
| | -4,569 дБ |
| | -4,165 дБ |

Печатные платы с согласующими цепями на микростриповых линиях

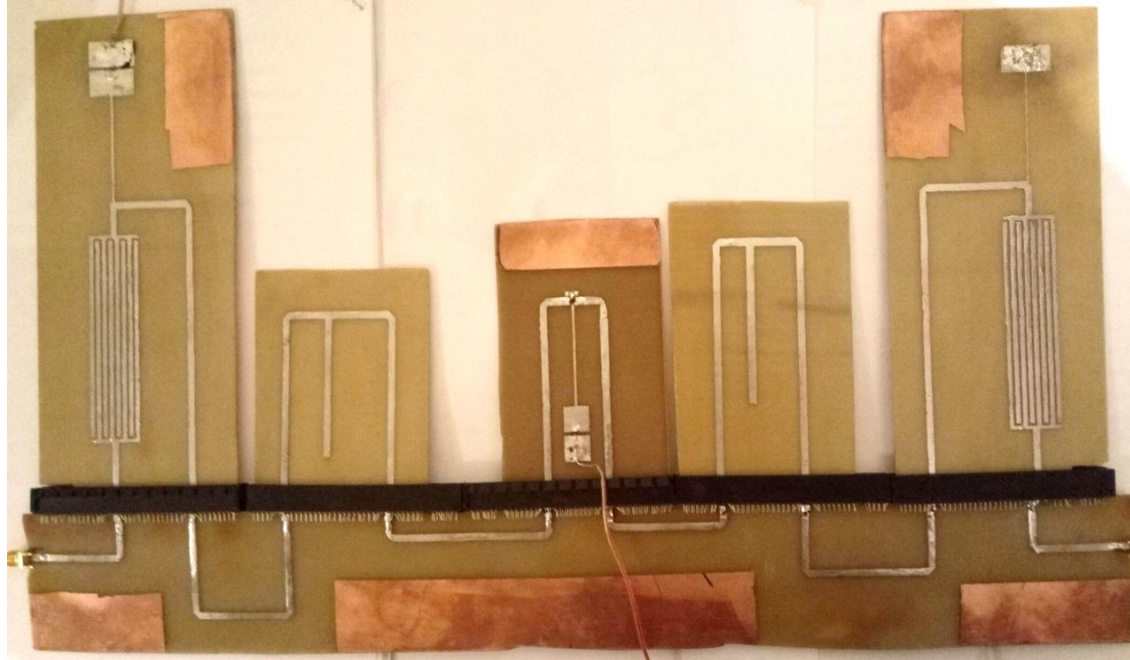


Входная плата с цепью
согласования



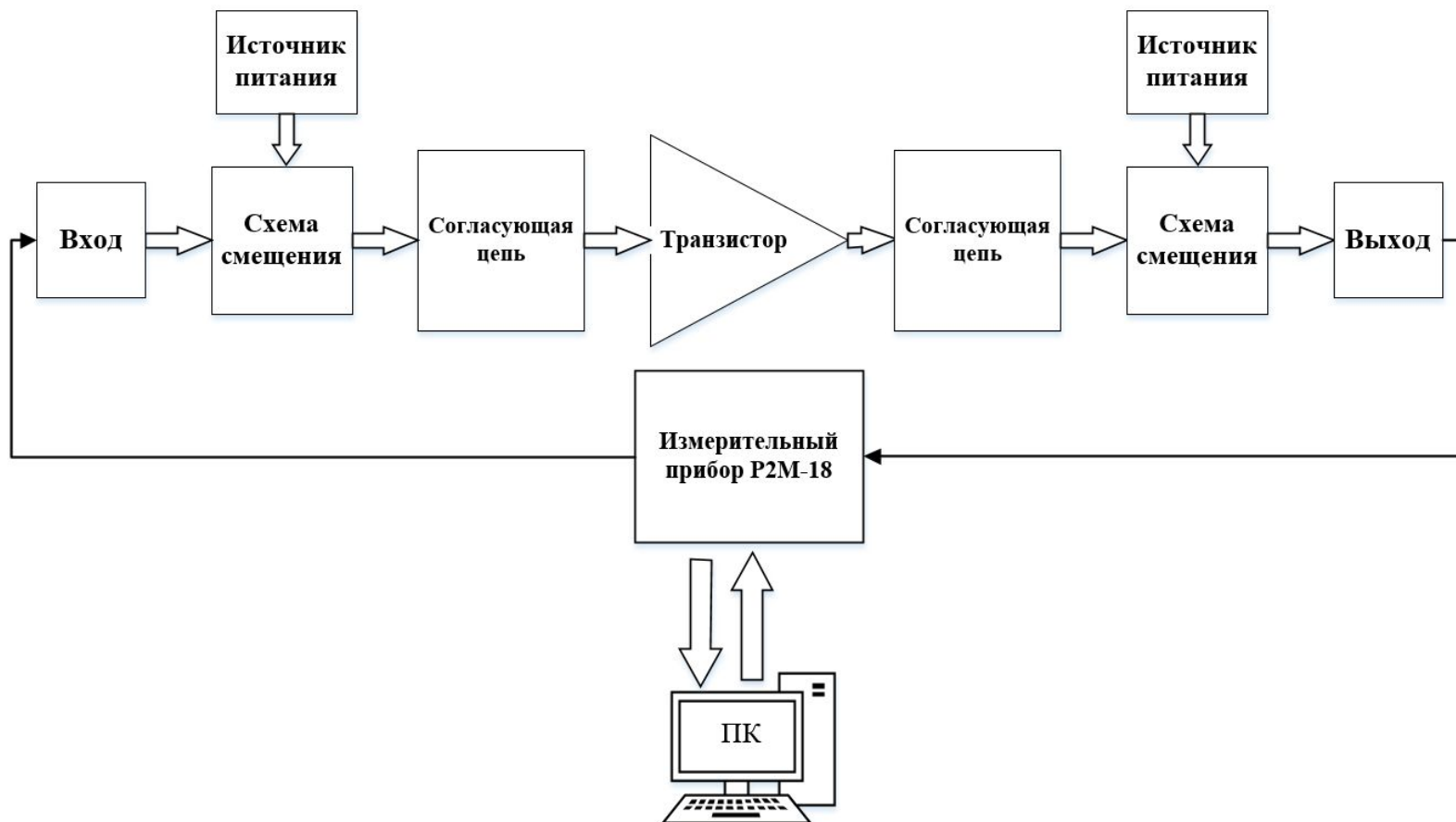
Выходная плата с цепью
согласования

Модульная конструкция на базе PCI Express

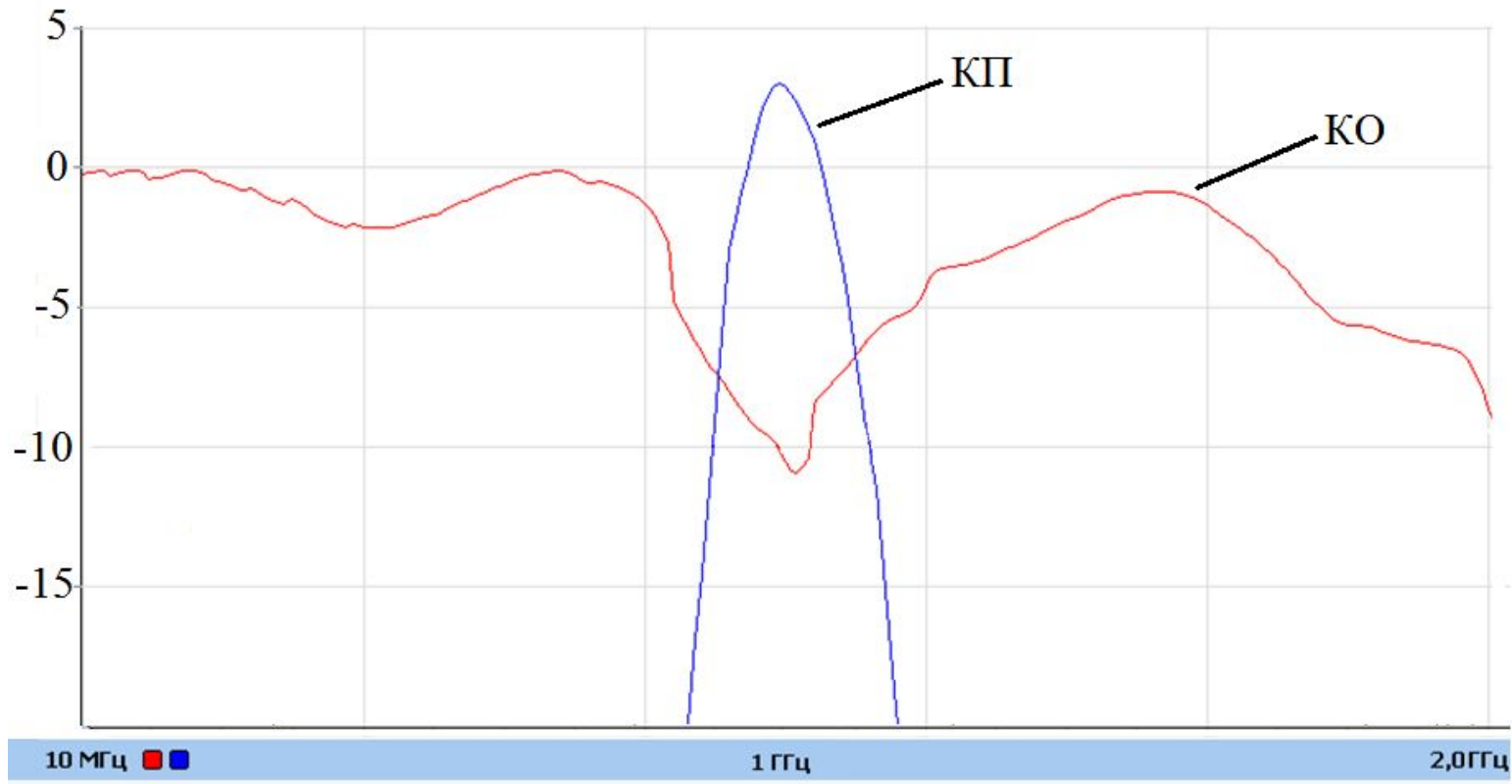


| Наименование платы | Размеры |
|------------------------------------|---------------|
| Платформа | 47,4 x 5,5 см |
| Плата с входной согласующей цепью | 7,2 x 11 см |
| Плата с выходной согласующей цепью | 7,2 x 9 см |
| Плата с микроволновым транзистором | 7,2 x 11 см |
| Плата со схемой смещения на входе | 8,6 x 18 см |
| Плата со схемой смещения на выходе | 8,6 x 18,9 см |

Структурная схема исследуемого макета с измерительным прибором Р2М-18

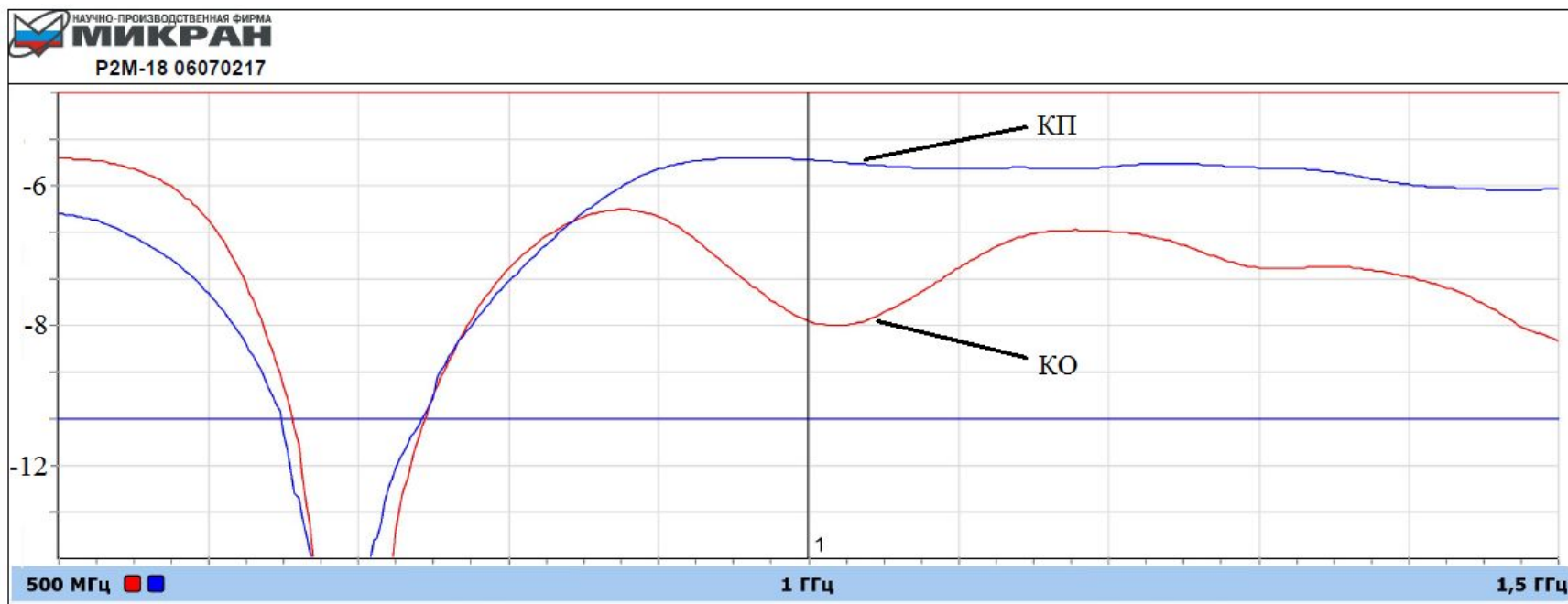


Модули коэффициента передачи и отражения исследуемого макета



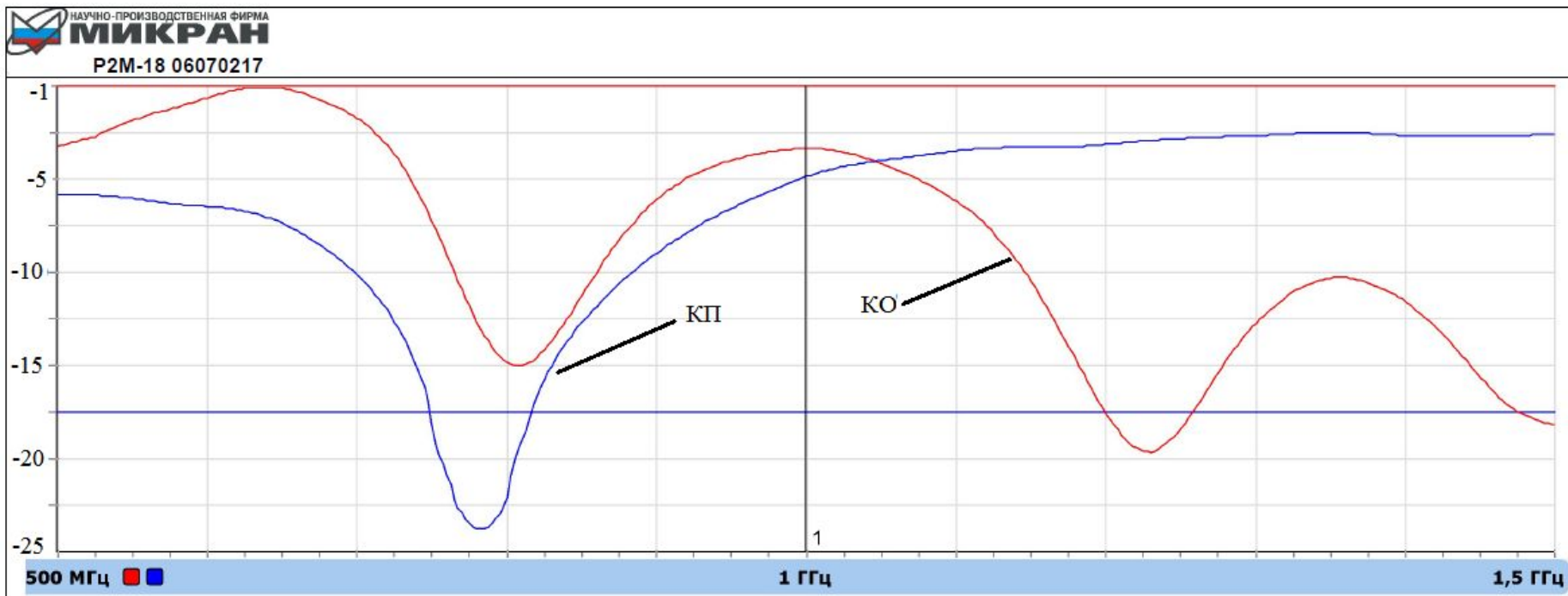
| Значение | 1 ГГц |
|----------|----------|
| | 2,6 дБ |
| | -11,9 дБ |

Модули коэффициента передачи и отражения платы с входной цепью согласования



| Значение | 1 ГГц |
|----------|---------|
| | -5,1 дБ |
| | -7,9 дБ |

Модули коэффициента передачи и отражения платы с выходной цепью согласования



| Значение | 1 ГГц |
|----------|----------|
| | -3,41 дБ |
| | -4,93 дБ |

Сравнение модулей коэффициентов передачи и отражения согласующих цепей

| | Моделирование | | Эксперимент | |
|---------------------------|---------------|-----------|-------------|----------|
| | | | | |
| Входная согласующая цепь | -2,385 дБ | -6,978 дБ | -5,1 дБ | -7,9 дБ |
| Выходная согласующая цепь | -4,569 дБ | -4,165 дБ | -3,41 дБ | -4,93 дБ |

Заключение

- Исследован микроволновый транзистор VF998, а также определены его характеристики;
- Смоделированы цепи согласования для модульной конструкции на базе PCI Express;
- Изготовлены платы с согласующими цепями;
- Измерены коэффициенты передачи и отражения макета и отдельных плат с согласующими цепями на частоте 1 ГГц.

Апробация результатов

Результаты диссертации докладывались на международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2017», посвященной 55-летию ТУСУРа (Томск, Россия, 2017).

Спасибо за внимание!