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

Магистерская диссертация

# Исследование цепей согласования микроволновых транзисторов с применением быстросъемных разъемов

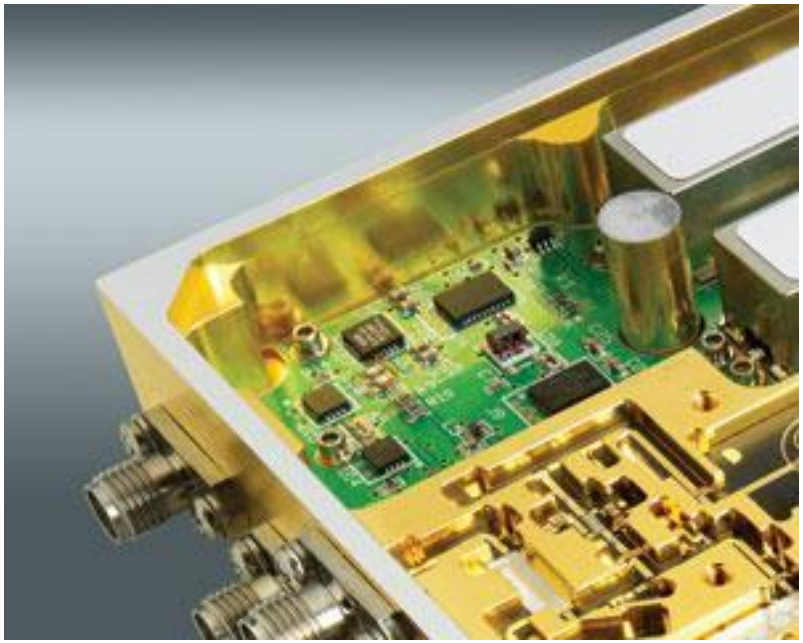
Студент гр. 145-М3
Наубетов Д.
Научный руководитель:
доцент каф. СВЧиКР
Фатеев А.В.

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

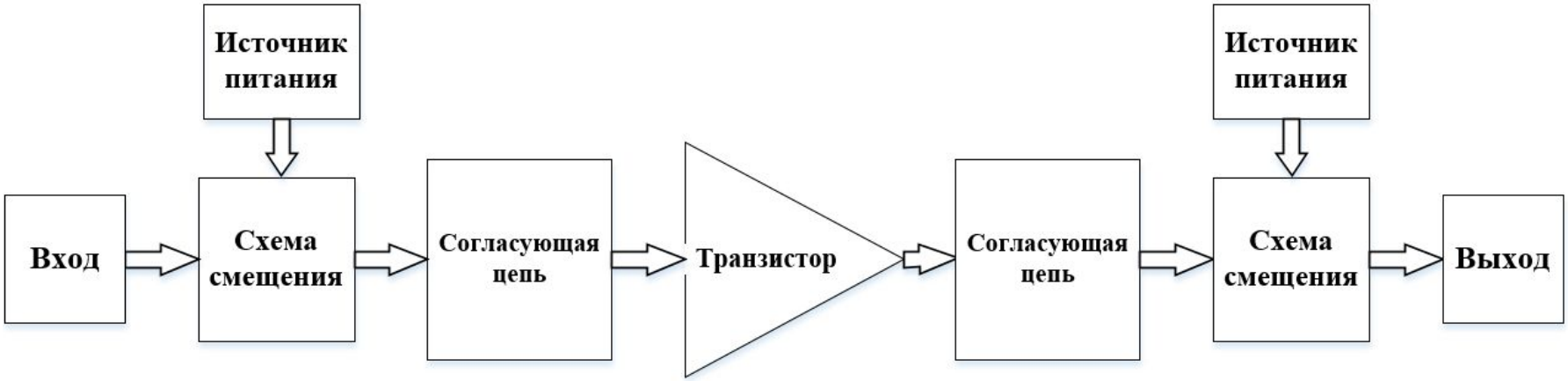
- Моделирование и расчет согласующих цепей для микроволнового транзистора BF998;
- Изготовление макета с согласующими цепями с применением разъемов PCI Express;
- Экспериментальное исследование макета с согласующими цепями.

# Разъем PCI Express

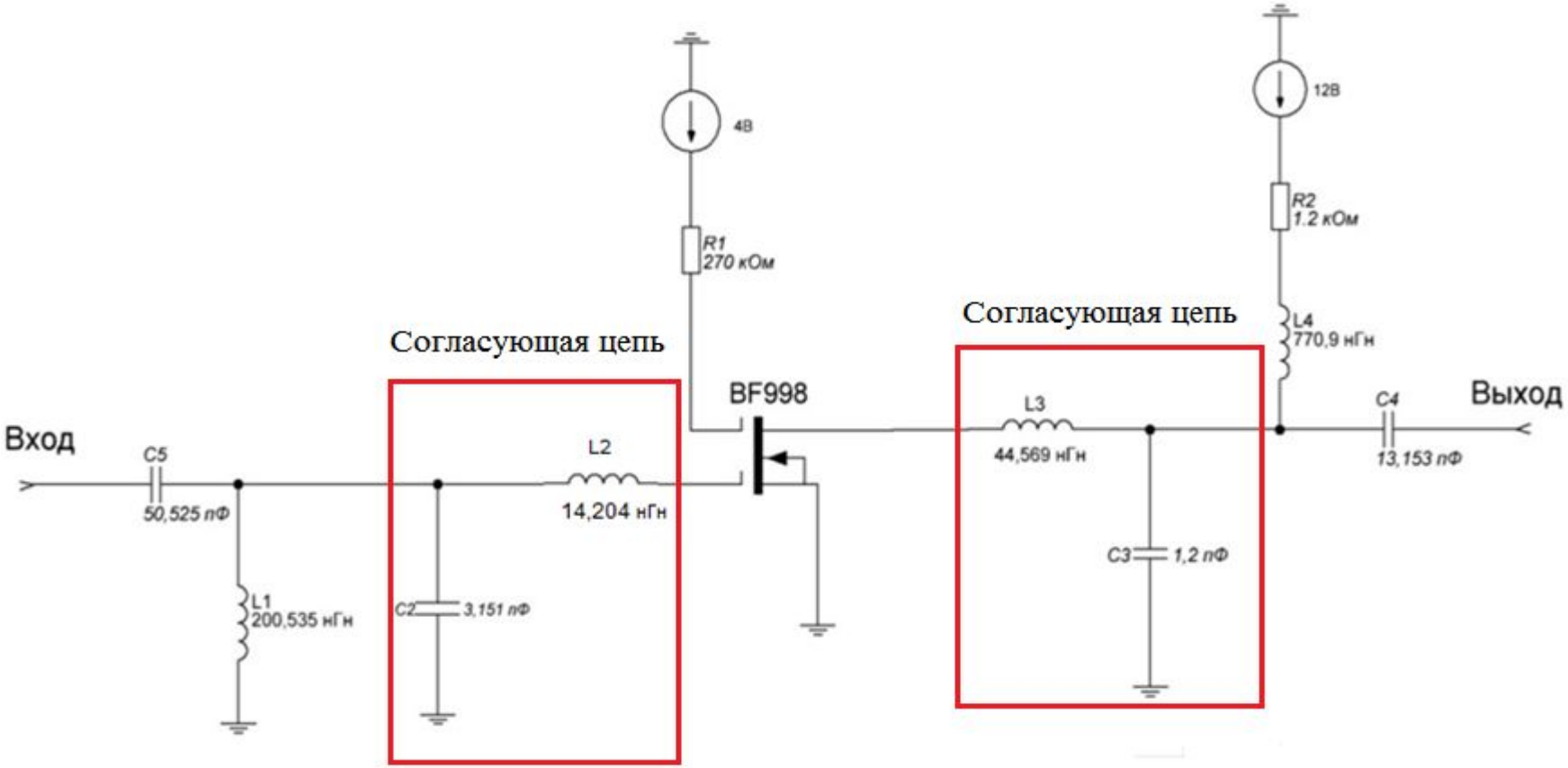
В качестве решения проблемы соединения между платами был выбран разъём PCI Express.

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

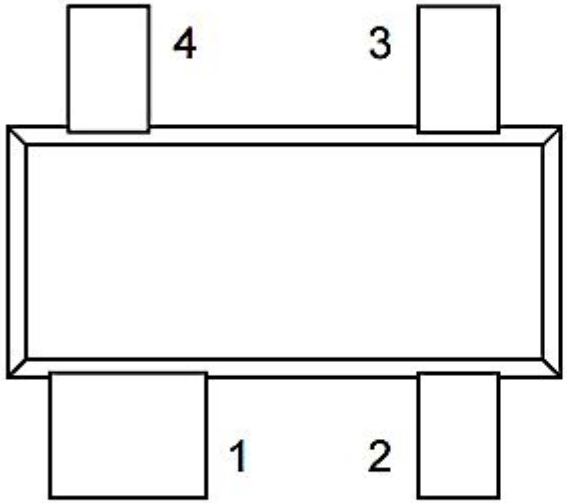
# Структурная схема модульной конструкции на базе PCI Express

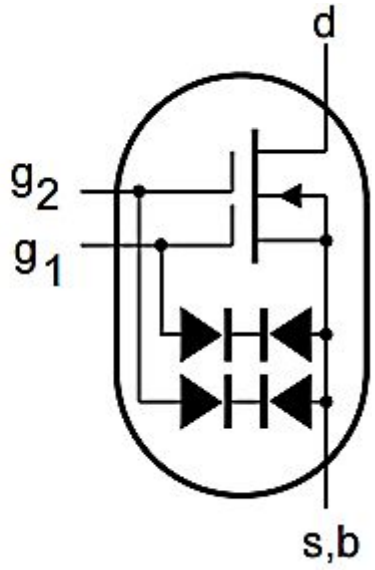


# Принципиальная схема макета



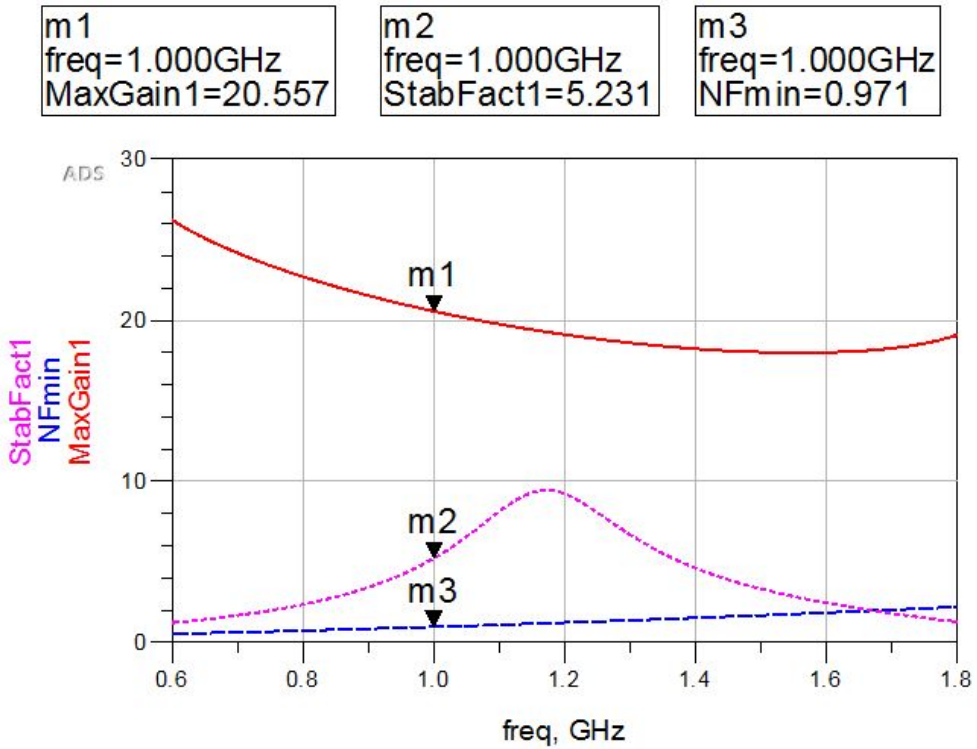
# Транзистор BF998




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

# Характеристики транзистора BF998

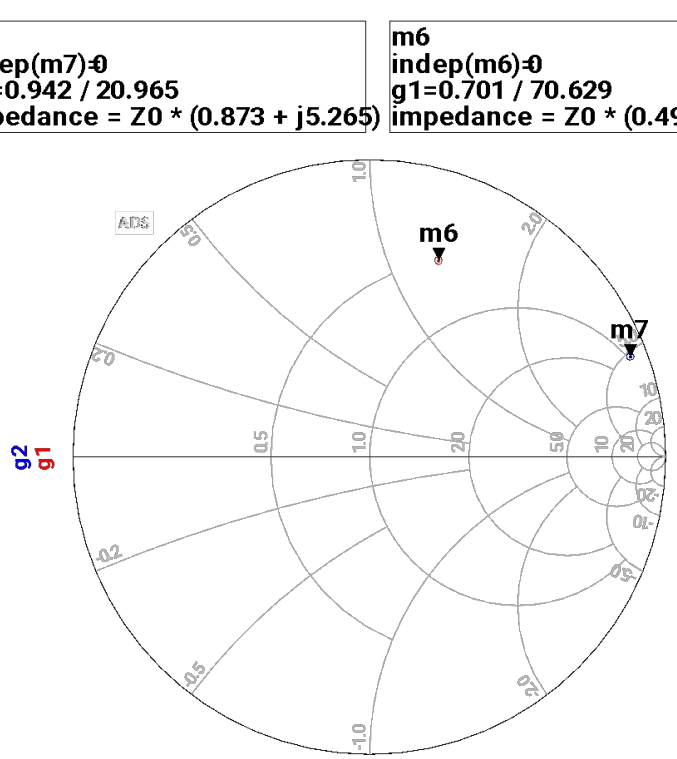


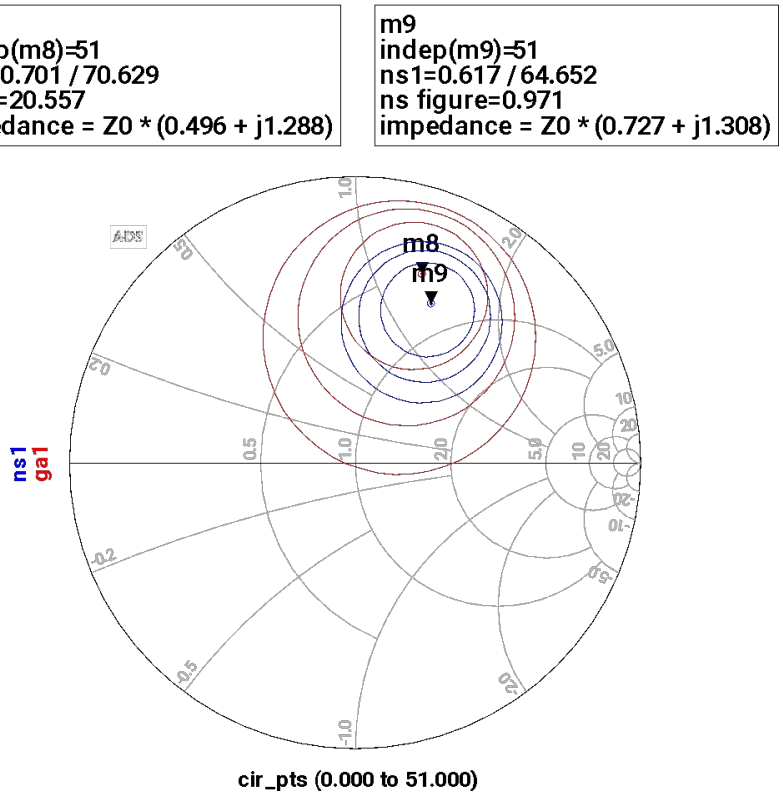

Коэффициент устойчивости StabFact1

Максимальный коэффициент усиления MaxGain

Коэффициент шума NFmin

# Характеристики транзистора BF998



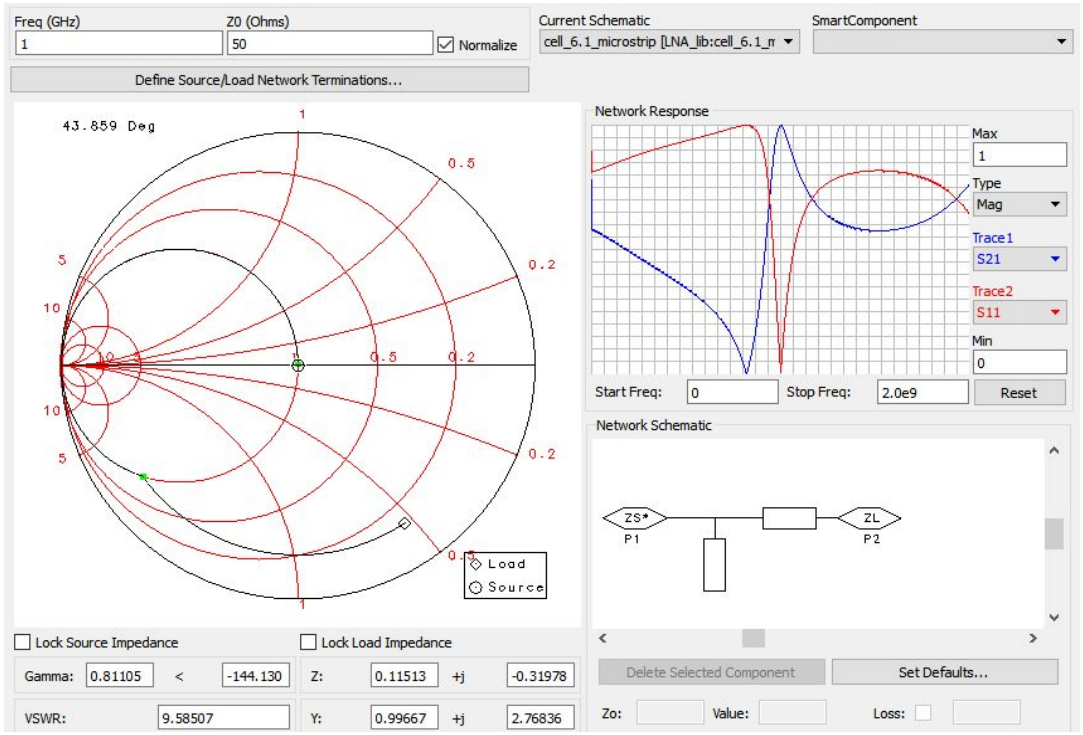

Коэффициенты отражения со стороны генератора g1 и нагрузки g2.

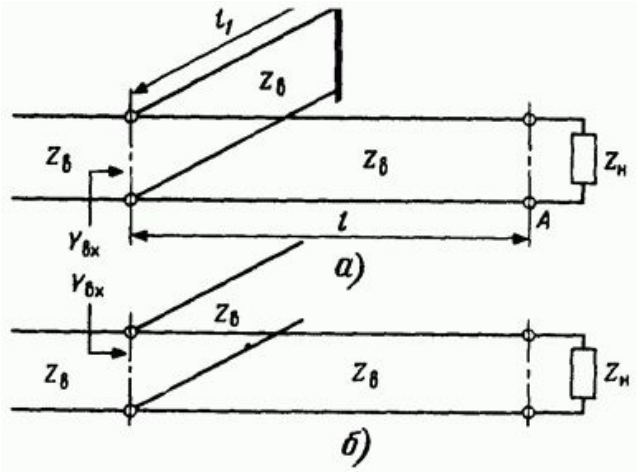
Zвых = Z0·(0,873+j5,265) Ом.

Круги коэффициента усиления ga1 и коэффициента шума ns1.

Zвх = Z0·(0,496+j1,288) Ом.

# Согласование транзистора разомкнутым шлейфом

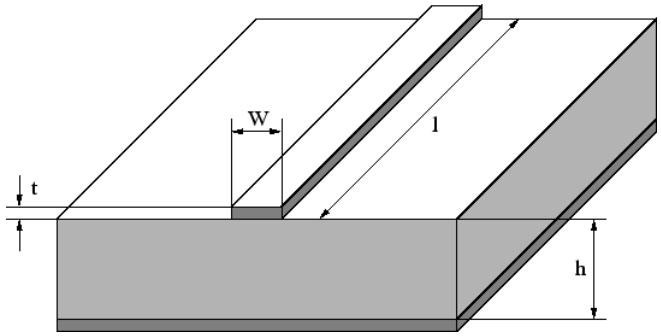



а) одиночный короткозамкнутый шлейф;

б) одиночный разомкнутый шлейф.

# Расчет физических размеров микрополосковой линии

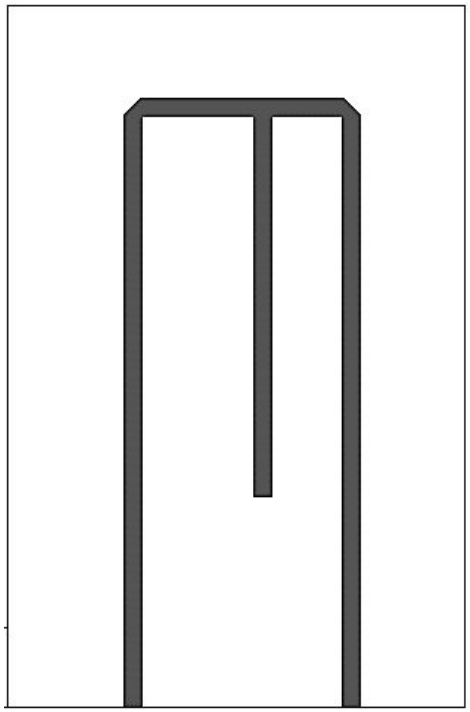



- Ширина микрополосковой линии - $w = \frac{7.48 \cdot h}{e^{Z \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon_r}+1.41}{87}}}$

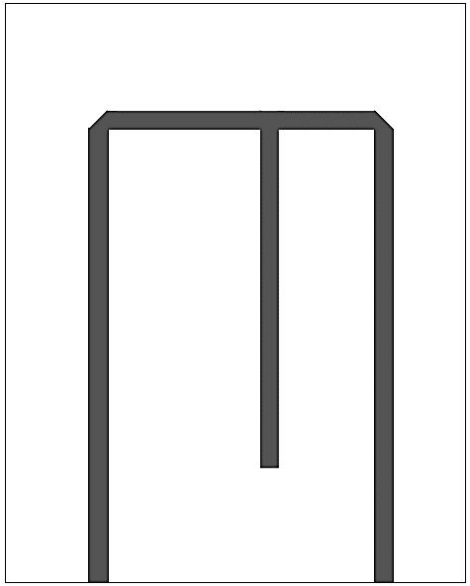
Эффективная проницаемость - $\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r+1}{2} + \frac{\varepsilon_r-1}{2} \cdot \left(1 + 10\left(\frac{h}{w}\right)\right)^{-\frac{1}{2}}$

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

# Моделирование цепей согласования



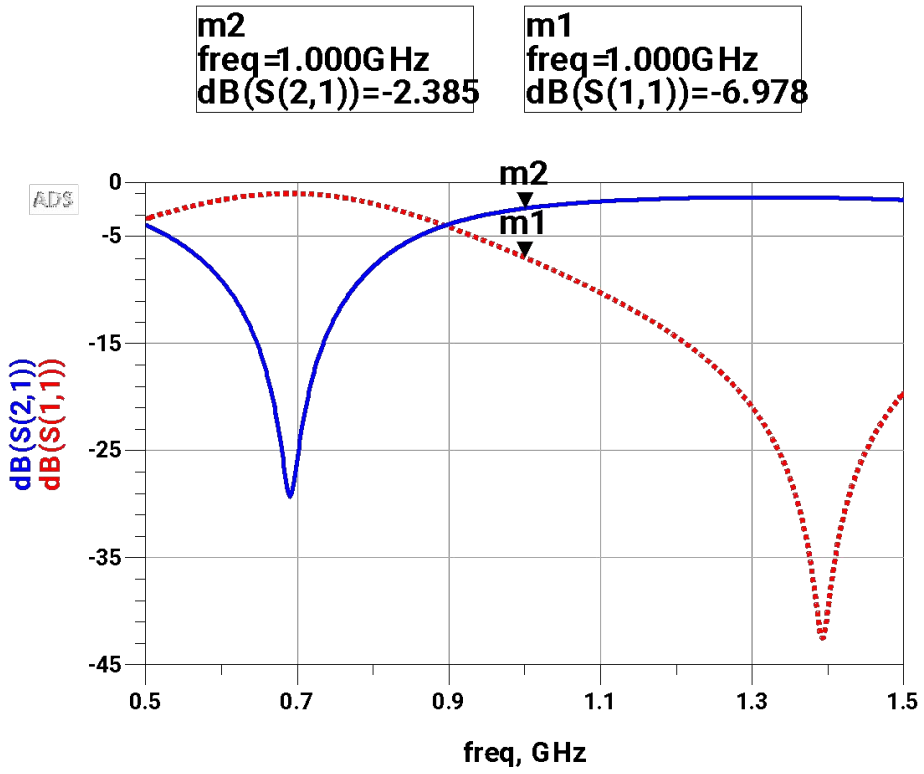
Входная плата с согласующими цепями



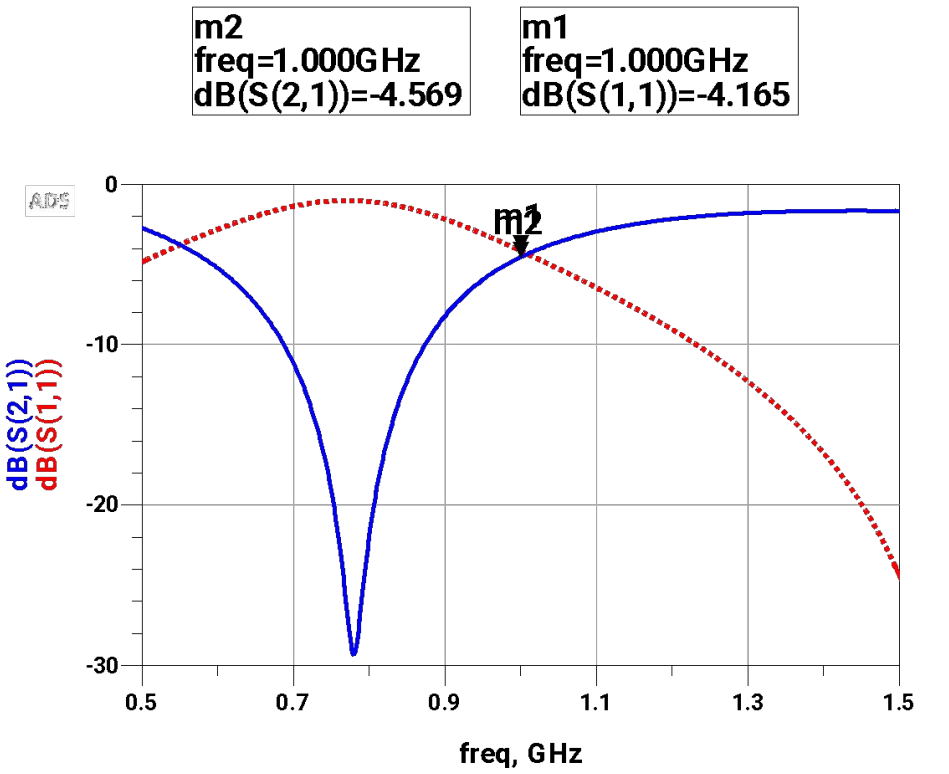
Входная плата с согласующими цепями

| | |
|---|---|
| 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

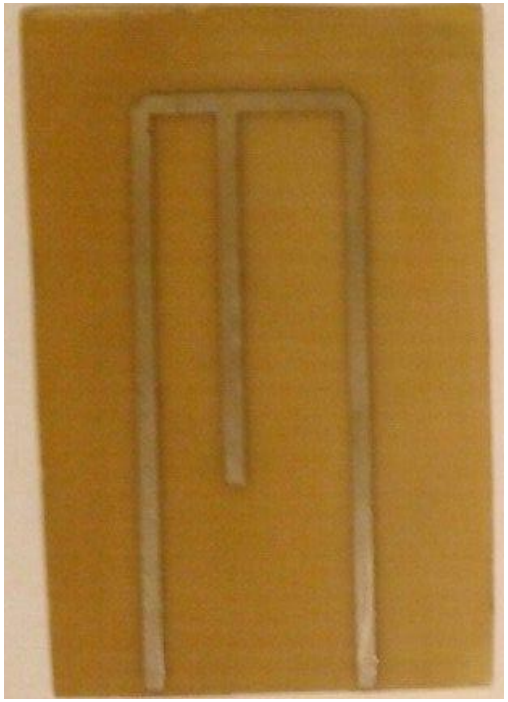



| Значение | 1 ГГц |
|---|---|
| | -2,385 дБ |
| | -6,978 дБ |




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

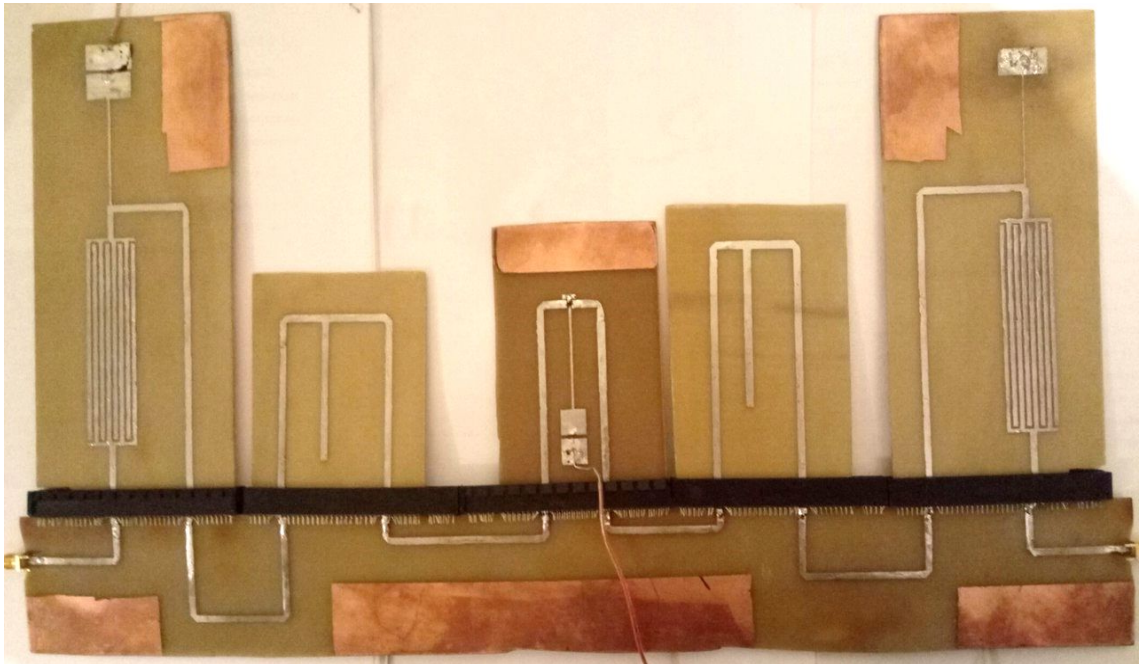
# Печатные платы с согласующими цепями на микрополосковых линиях



Входная плата с цепью согласования

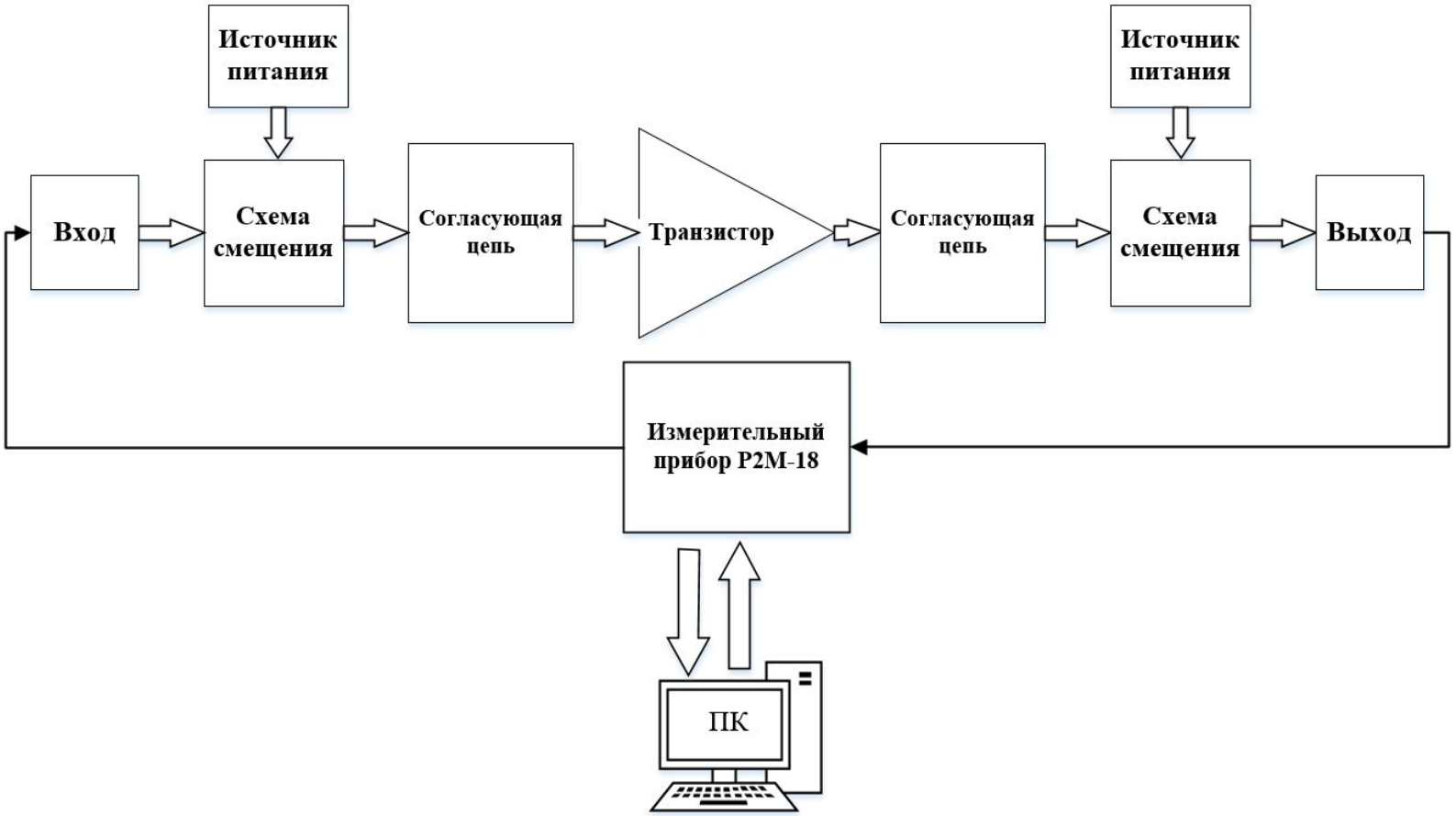
Выходная плата с цепью согласования

# Модульная конструкция на базе PCI Express

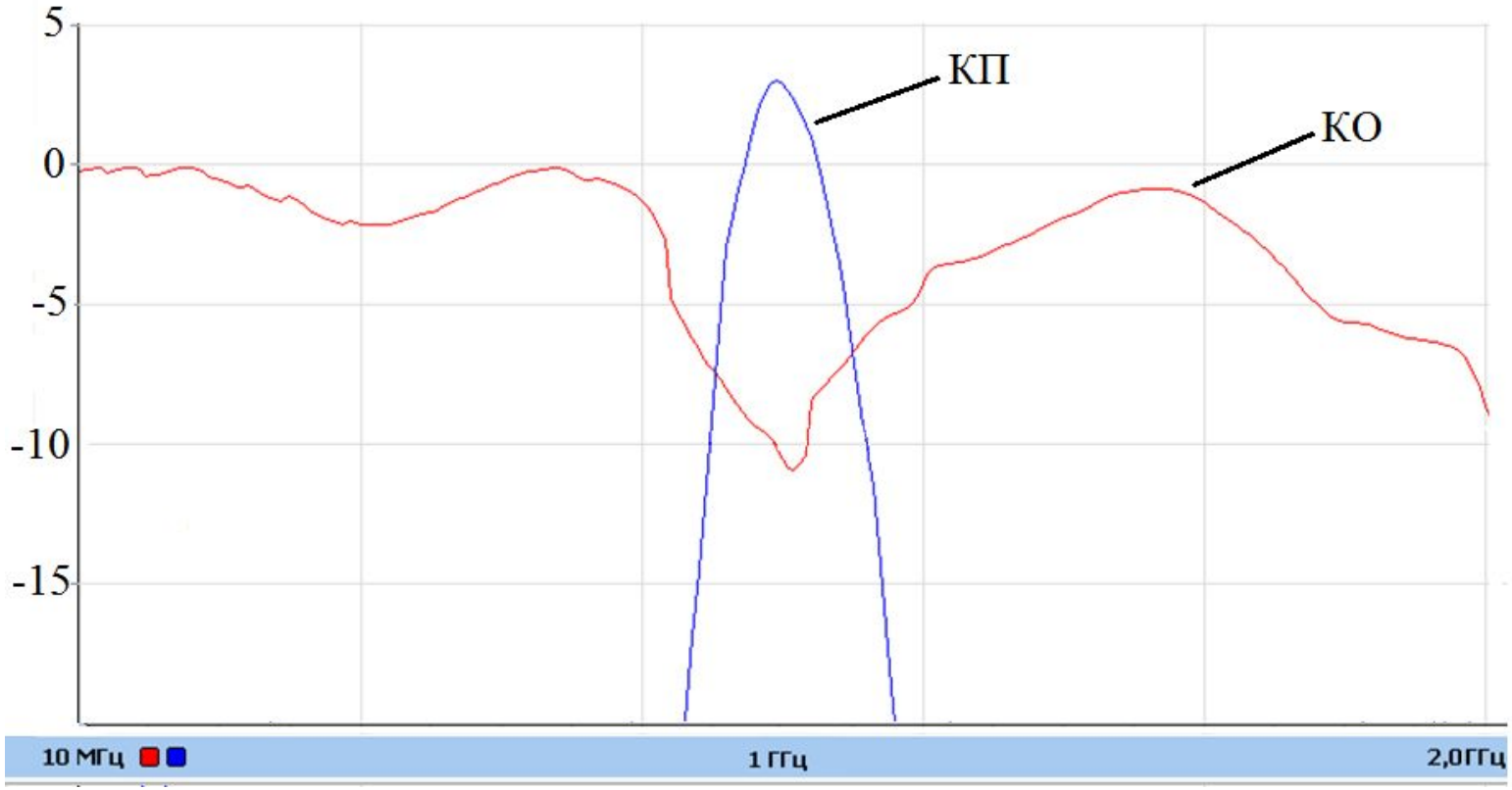


| Наименование платы | Размеры |
|---|---|
| Платформа | 47,4 x 5,5 см |
| Плата с входной согласующей цепью | 7,2 x 11 см |
| Плата с выходной согласующей цепью | 7,2 x 9 см |
| Плата с микроволновым транзистором | 7,2 x 11 см |
| Плата со схемой смещения на входе | 8,6 x 18 см |
| Плата со схемой смещения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

# Структурная схема исследуемого макета с измерительным прибором Р2М-18

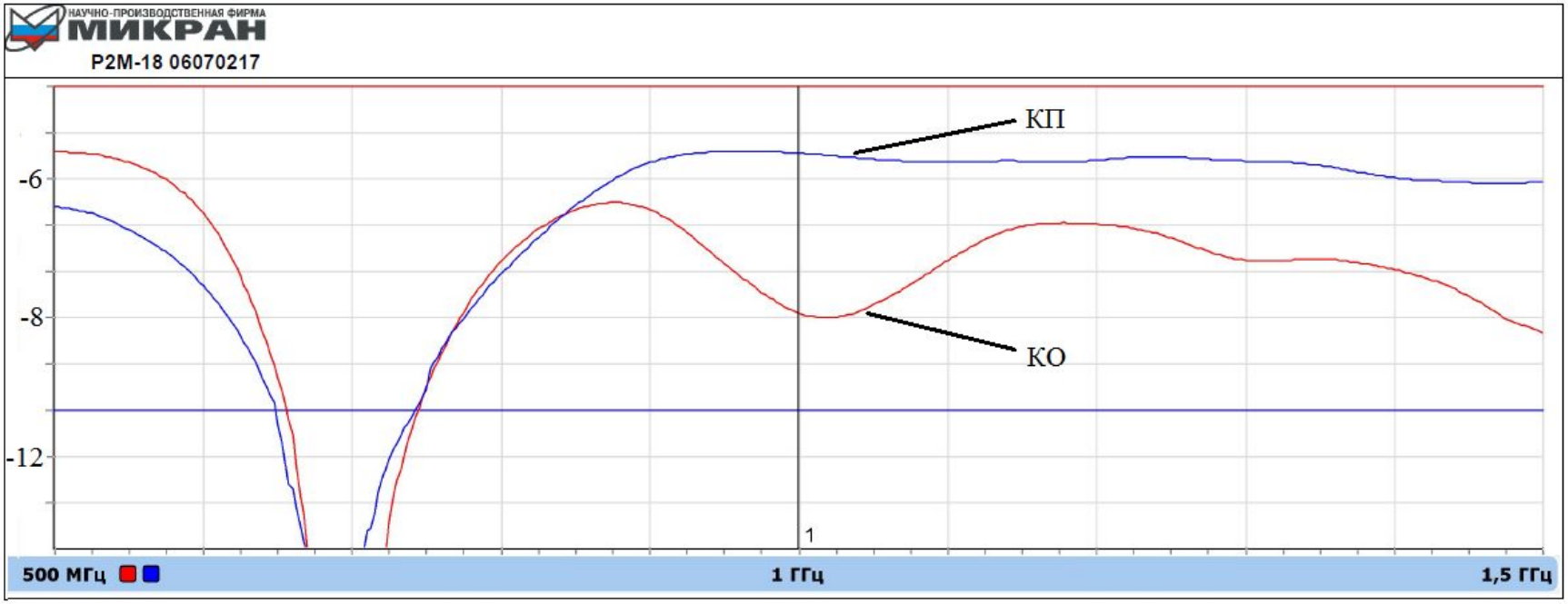


# Модули коэффициента передачи и отражения исследуемого макета



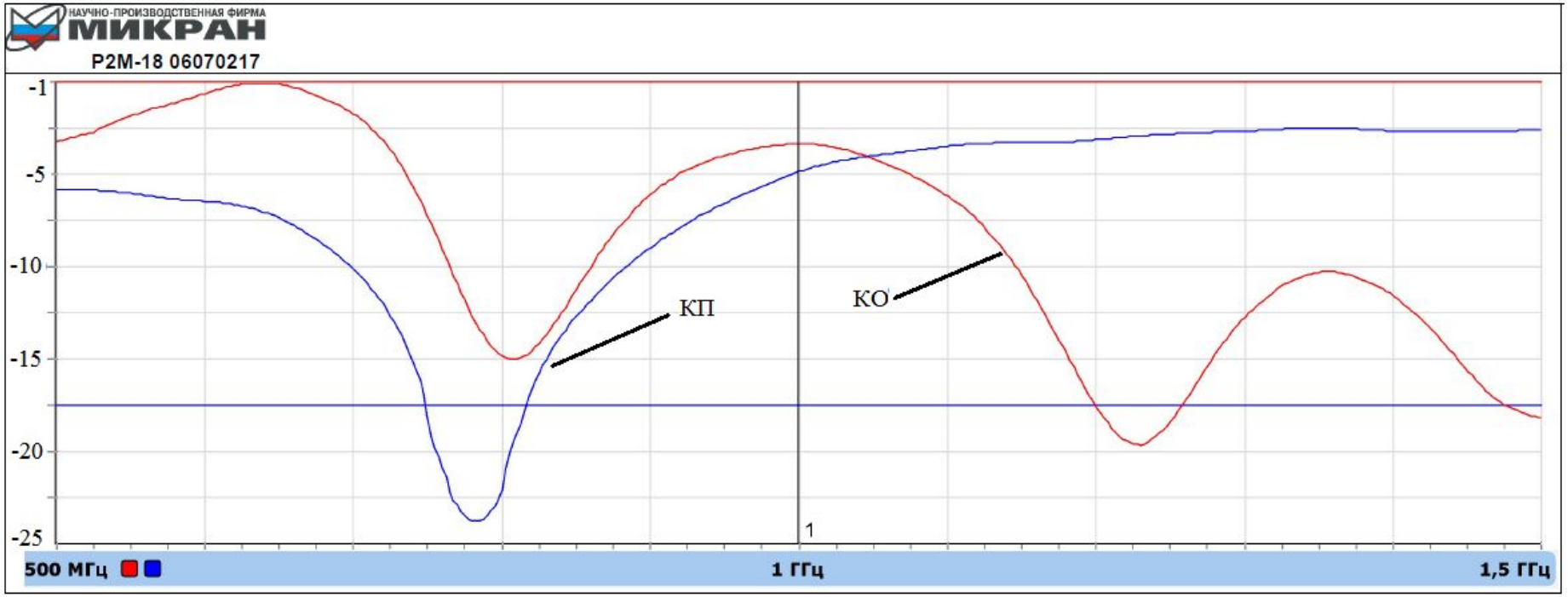

| Значение | 1 ГГц |
|---|---|
| | 2,6 дБ |
| | -11,9 дБ |

# 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 BF998, 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!