

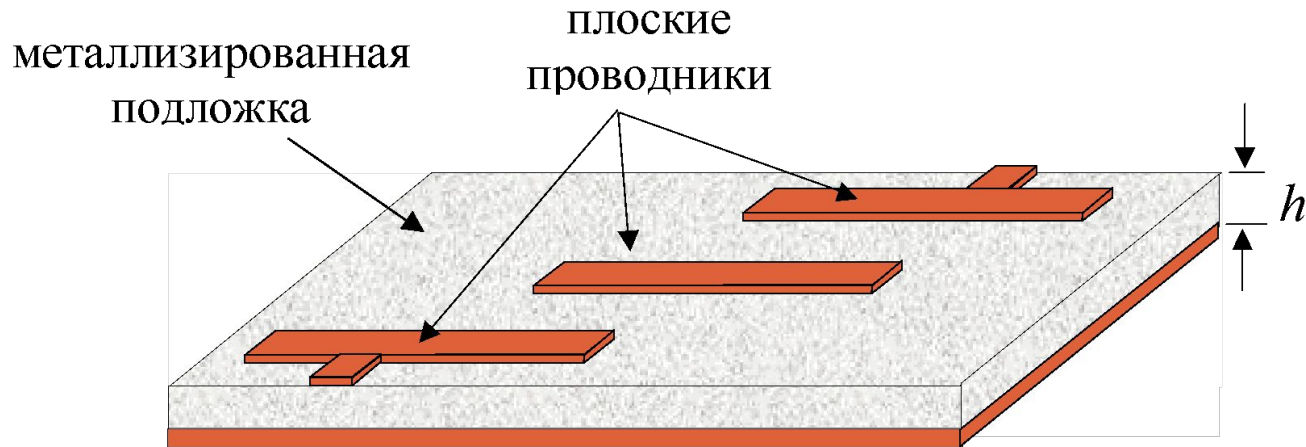
# ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА FILTECH32 ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Беляев Б.А., Бутаков С.В., Лалетин Н.В., Лексиков А.А., Тюрнев В.В.

Лаборатории Электродинамики и СВЧ электроники Института физики им. Л.  
В. Киренского СО РАН



## МИКРОПОЛОСКОВЫЕ СВЧ ФИЛЬТРЫ (МПФ)



### ПРИМЕНЕНИЕ МПФ

- ✓ Спутниковая связь, телевидение
- ✓ Сотовая связь
- ✓ Радиолокация и радионавигация
- ✓ Метрология
- ✓ Специальная аппаратура

### ОТ МПФ ЗАВИСИТ

- ✓ Количество и сложность отдельных функциональных блоков
- ✓ Чувствительность и помехоустойчивость
- ✓ Габариты и вес аппаратуры в целом

## **СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МПФ**

### **УНИВЕРСАЛЬНЫЕ САПР СВЧ**

- ✓ Serenade, © Ansoft Corporation (USA)
- ✓ Microwave Office, © Applied Wave Research, Inc. (USA)
- ✓ CST Microwave Studio, © Stirling Technologies, Ltd.(Germany)
- ✓ ЛЯМБДА+, © НПО «АЛМАЗ» (РФ)

### **СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ САПР МПФ**

- ✓ Microwave Filter, © Мордовский тех. ун-т связи и информатики
- ✓ Полюс СВЧ, © МП «Техника Связи и Телевидение»

## НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ САПР СВЧ

- ✓ Требуется высокая квалификация конструктора.
- ✓ Вариация параметра конструкции не может быть описана в рамках одной схемы (одной топологии проводников), что не позволяет выполнять оптимизацию сразу во всей области допустимых значений параметра.
- ✓ Невозможно задать в ТЗ\* относительный уровень затухания для полос пропускания и заграждения (только абсолютный уровень).
- ✓ Невозможно в явном виде задать в ТЗ требуемую ширину полосы пропускания МПФ (только косвенно).
- ✓ Отсутствуют готовые конструкции МПФ\*\*.
- ✓ Используются медленные универсальные методы оптимизации, в которых МПФ рассматривается как «чёрный ящик». Априорные свойства МПФ и характерные особенности их ТЗ не учитываются.

---

\* Техническое задание

\*\* Микрополосковый фильтр

## НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ САПР МПФ

- ✓ Ограниченный набор готовых конструкций МПФ\*.
- ✓ Отсутствие конструкций широкополосных МПФ.
- ✓ Использование медленных универсальных методов оптимизации, в которых оптимизируемые конструкции рассматривается как «чёрный ящик». При этом априорные свойства каждого фильтра не учитываются.
- ✓ Использование фильтров-прототипов не позволяет выполнять синтез МПФ сложных конструкций с дальними связями.
- ✓ Невозможно в ТЗ\*\* строго задать в явном виде требуемую ширину полосы пропускания МПФ с учетом потерь.
- ✓ Невозможно задать в ТЗ относительный уровень затухания для полос пропускания и заграждения (только абсолютный уровень).

---

\* Микрополосковый фильтр

\*\* Техническое задание

## ХАРАКТЕРИСТИКА САПР FILTEX32

### Filter Expert System

#### НАЗНАЧЕНИЕ

- ✓ Анализ конструкции (расчёт АЧХ, ФЧХ)
- ✓ Синтез фильтра (нахождение значений параметров конструкции)
- ✓ Исследование фильтра (сканируемый синтез)

#### МИНИМАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

- ✓ Windows 95/98/2000/XP
- ✓ Pentium 133 (рекомендуется Pentium-4)
- ✓ RAM – 32 Мб (рекомендуется 128 Мб)
- ✓ SVGA, 800 × 600 pixels, 256 colors
- ✓ CD-ROM
- ✓ Занимаемый на HD объём 50 Мб

#### ПАРАМЕТРЫ ФИЛЬТРОВ

- ✓ Диапазон частот: 0.020 ... 20 ГГц
- ✓ Полоса пропускания: 2 ... 100 %

#### СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ

- ✓ Delphi, v. 5.0 (exe-программа, интерфейс, диалоги)
- ✓ Compaq Visual Fortran, v. 6.6 (dll-библиотеки конструкций)

## ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ДОСТОИНСТВА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ FILTECH32

1. Большой выбор конструкций полосно-пропускающих фильтров, включая сверхширокополосные.
2. Наличие оригинальных конструкций.
3. Возможность автоматического задания начальных значений всем конструктивным параметрам.
4. Оригинальный метод ускоренной оптимизации фильтра.
5. Указание причины и выдача рекомендации пользователю в случае, когда техническое задание оказывается невыполнимым.

## ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ДОСТОИНСТВА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ FILTECH32

6. Возможность сканируемого синтеза, то есть исследования влияния выбранного конструктивного параметра или параметра технического задания на электрические или конструктивные параметры настроенного фильтра.
7. Прозрачность и подконтрольность работы экспертной системы на всех шагах оптимизационного процесса.
8. Удобный интерфейс ввода технического задания и выбора конструкции.
9. Не требуется доработка управляющей программы при подключении новых конструкций.
10. Интеграция экспертной системы с производством микрополосковых плат.



## СТРУКТУРА САПР FILTEX32

### Инсталлирующая программа

#### Управляющая программа:

- ✓ Инспектор конструкций
- ✓ Блок отображения схемы ВК\*
- ✓ Блок редактирования параметров ВК
- ✓ Блок отображения рисунка проводников ВК
- ✓ Блок отображения рассчитанных АЧХ, ФЧХ, ГВЗ
- ✓ Инспектор графики
- ✓ Блок ввода технического задания
- ✓ Блок вывода сообщений
- ✓ Блок создания отчёта

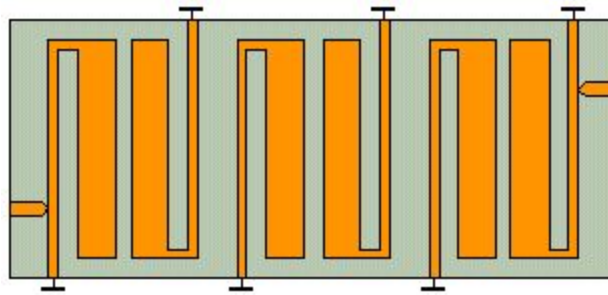
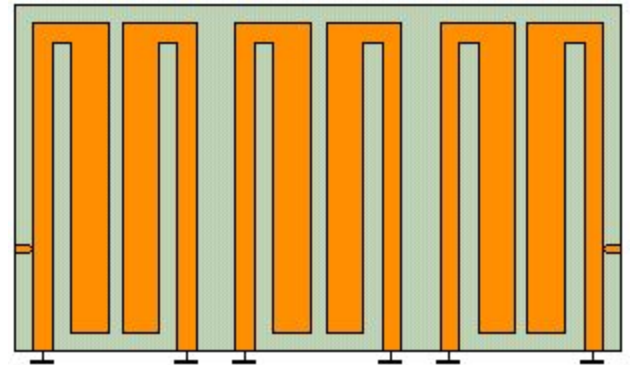
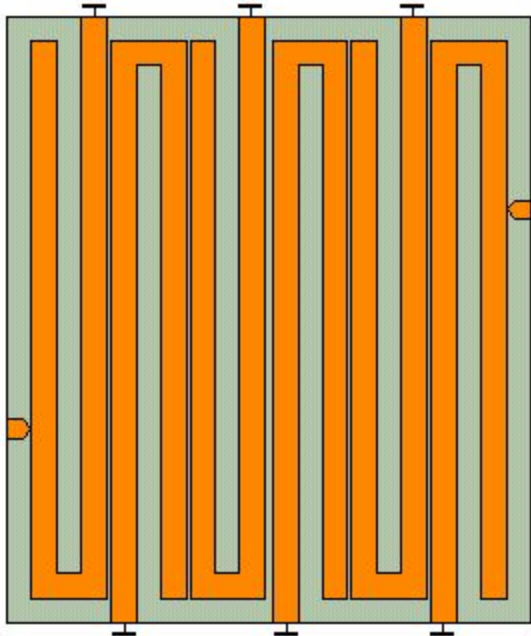
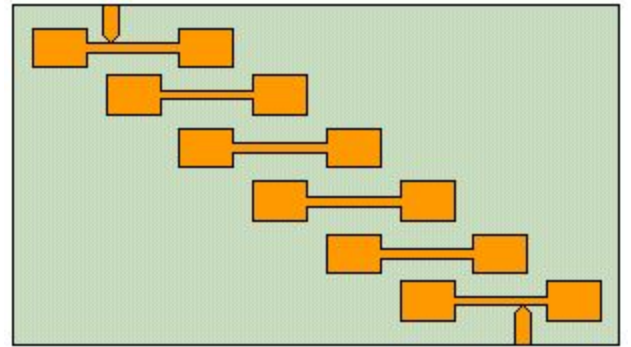
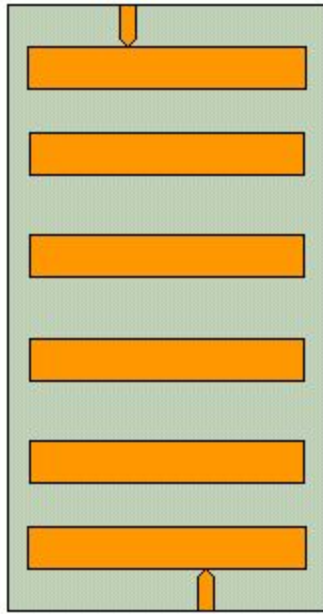
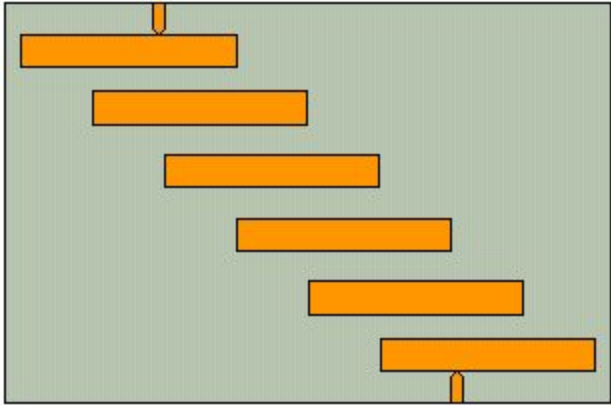
\* Выбранная конструкция

### Справочная система

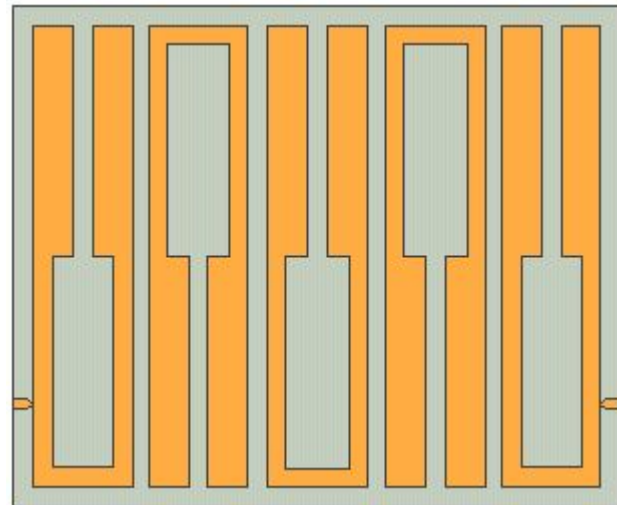
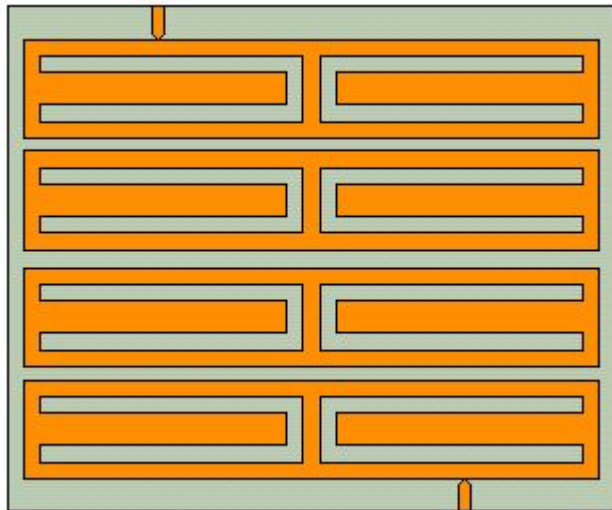
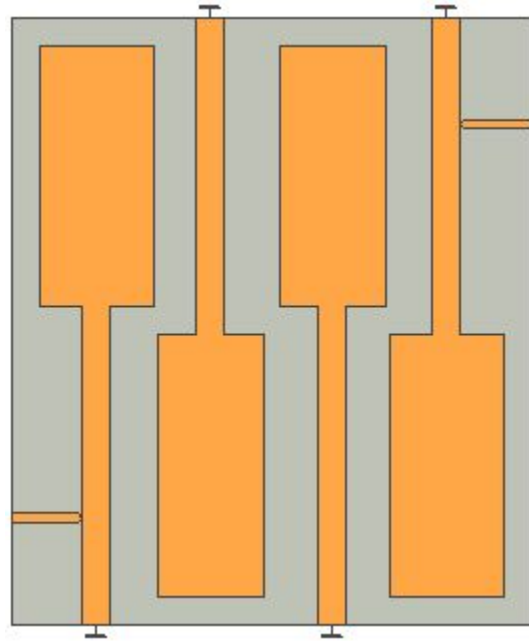
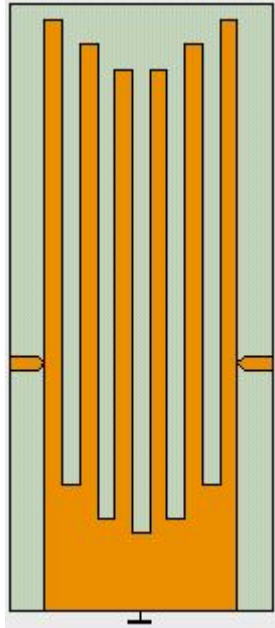
#### Готовые конструкции:

- ✓ Интерфейсный блок
- ✓ Рисунок схемы
- ✓ Список параметров конструкции
- ✓ Блок построения таблицы координат вершин проводников
- ✓ Блок расчёта S-матрицы
- ✓ Блок анализа АЧХ
- ✓ Блок формирования начальных значений параметров конструкции
- ✓ Блок оптимизации
- ✓ Блок диагностики и заключений

# КОНСТРУКЦИИ МПФ



# КОНСТРУКЦИИ МПФ



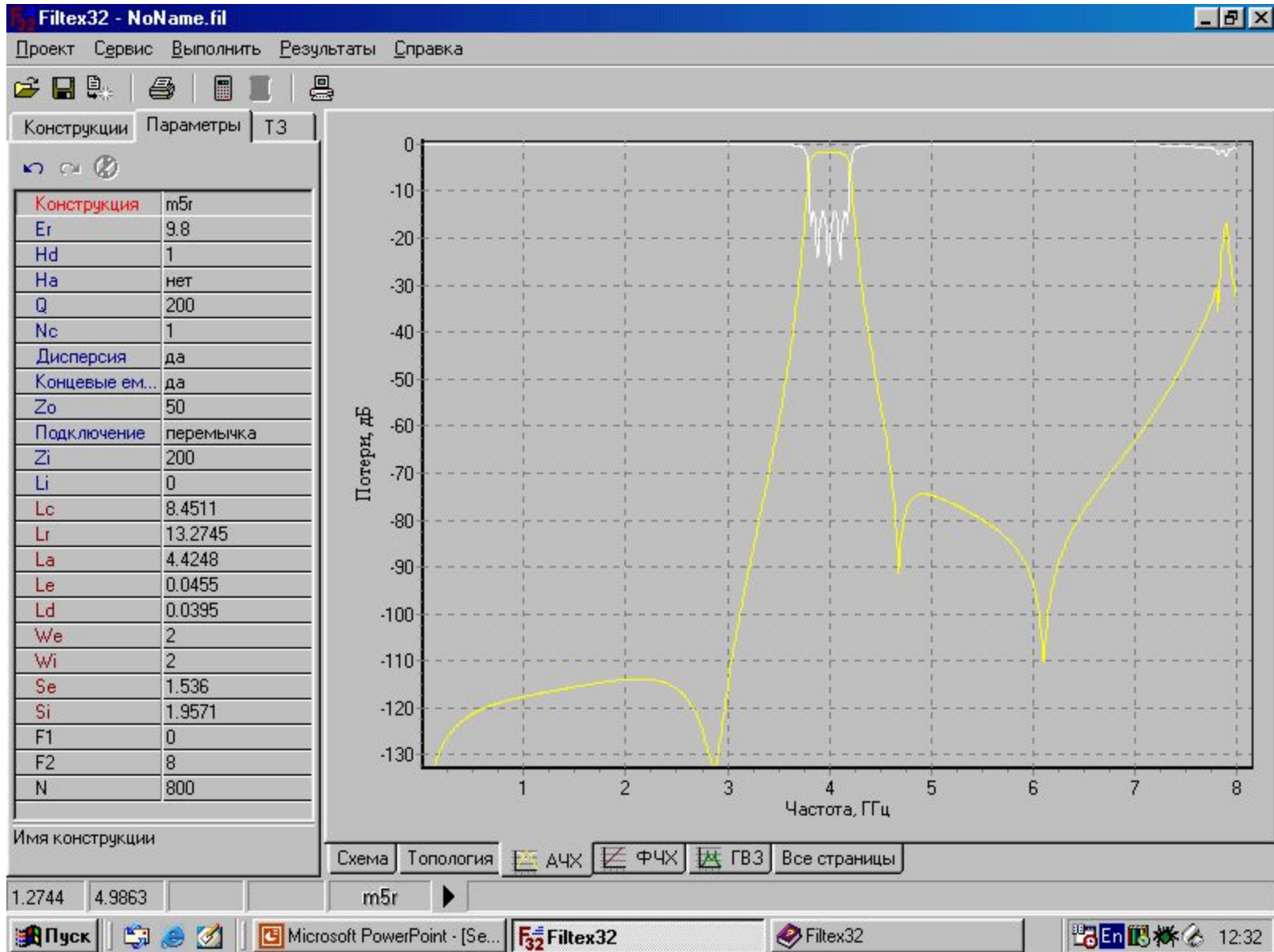
# Интерфейс "FILTEX" - Выбор конструкции

The screenshot displays the Filtex32 software interface. The window title is "Filtex32 - NoName.fil". The menu bar includes "Проект", "Сервис", "Выполнить", "Результаты", and "Справка". The main interface is divided into several sections:

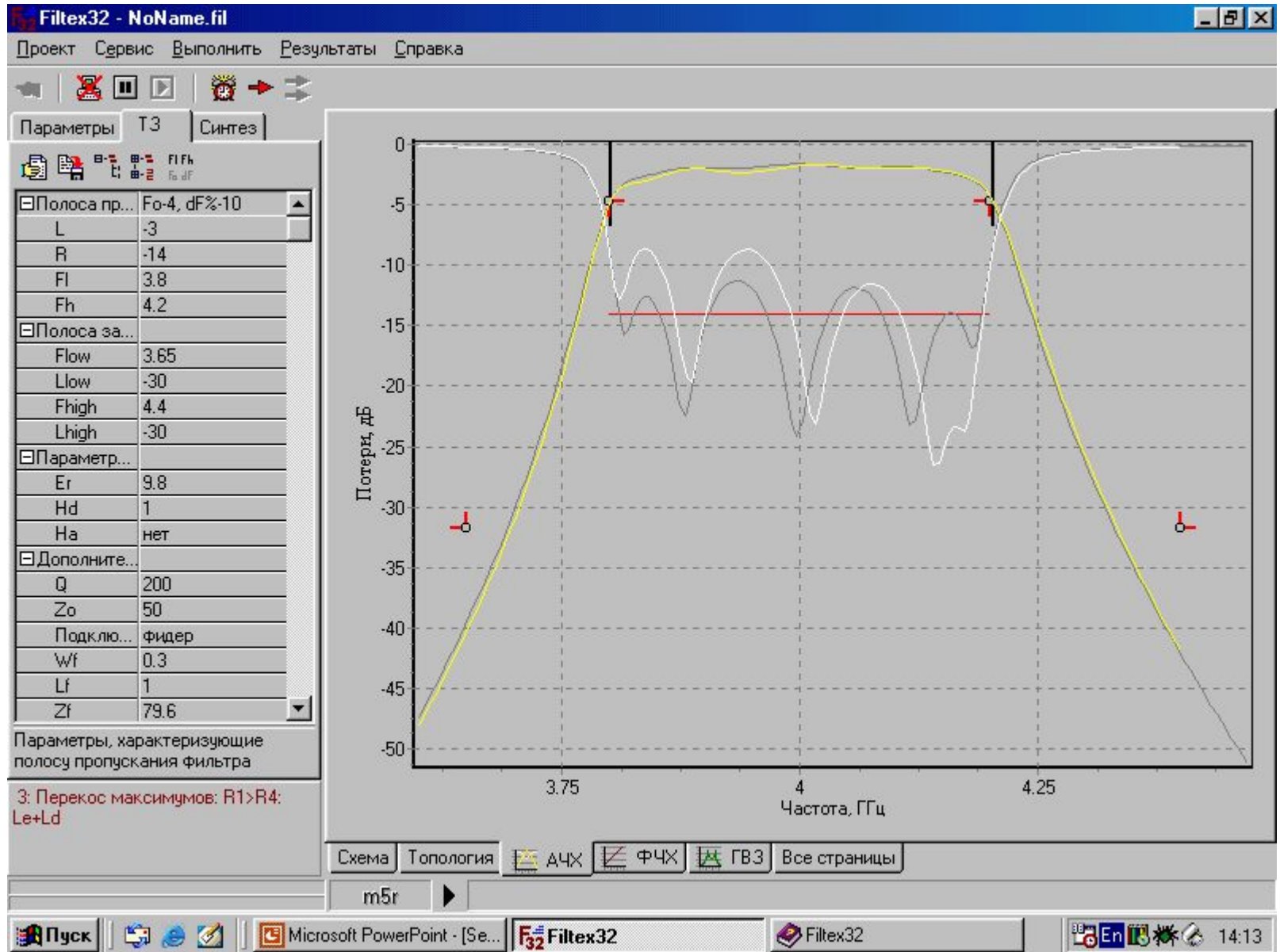
- Left Panel (Конструкции):** A tree view showing construction options:
  - m-X-r (parent folder)
  - m2r
  - m3r
  - m4r
  - m5r** (highlighted in blue)
  - m6r
  - m-X-iun
  - m-X-ipdg
  - m-X-idpg
  - m-X-wg
  - m-X-il
  - m-X-ipqg
- Right Panel:** A technical diagram of a multi-layered structure. It shows five horizontal layers with various dimensions and parameters:
  - Top layer:  $Z_i, W_f$  (width),  $L_f, L_i$  (lengths),  $W_e$  (width),  $S_e$  (spacing).
  - Second layer:  $L_a$  (length),  $L_e$  (length),  $S_i$  (spacing),  $W_i$  (width).
  - Third layer:  $2L_a$  (length),  $L_d$  (length),  $S_i$  (spacing),  $W_i$  (width).
  - Fourth layer:  $3L_a$  (length),  $L_e$  (length),  $S_e$  (spacing),  $W_i$  (width).
  - Fifth layer:  $4L_a$  (length),  $L_c$  (length),  $W_e$  (width).
  - Bottom layer:  $L_r$  (total length).
- Bottom Panel:** A navigation bar with buttons for "Схема", "Топология", "АЧХ", "ФЧХ", "ГВЗ", and "Все страницы". The current selection is "m5r".

The Windows taskbar at the bottom shows the Start button, taskbar icons for Windows Commander 5.0, Microsoft PowerPoint, and Filtex32, along with the system clock showing 11:10.

# Интерфейс “FILTEX” - Параметры конструкции и расчёт АЧХ



# Интерфейс "FILTEX" - Ввод ТЗ и оптимизация





# Интерфейс “FILTEX” - Синтез (оптимизация) завершён

**Filtext32** - D:\filtext32\WorkDir\NoName.fil

Проект Сервис Выполнить Результаты Справка

Параметры T3 Синтез

1+1	0:00:12	0:00:12
Конструкция	m5ipqg	
Fl (-3 дБ)	0.95	
Fh (-3 дБ)	1.05	
Fo	1	
dF	0.09994	
dF%	9.994	
Lmin	-1.118	
Fl (-3 дБ)	0.95	
Fh (-3 дБ)	1.05	
Fl (-30 дБ)	0.9219	

Потери, дБ

ГВЗ, нсек

Частота, ГГц

Правая ось

- Фаза
- Групповое время запаздывания

**Filtext32**

Синтез успешно завершён. После просмотра результатов, для продолжения работы, выйдите из режима синтеза.

OK

L (1.12 ГГц)	-53.05
--------------	--------

Имя конструкции

Схема Топология АЧХ ФЧХ ГВЗ Все страницы

m5ipqg ▶

Пуск Windows Commander 5.0 ... Filtext32 Microsoft PowerPoint - [Se... 15:04

# Интерфейс “FILTEX” - Исследование $K_s(L_a/L_r)$

Filtex32 - D:\filtex32\WorkDir\global.fil

Проект Сервис Выполнить Результаты Справка

Параметры T3 Синтез

Конструкция	mbr
E <sub>r</sub>	9.8
H <sub>d</sub>	1
H <sub>a</sub>	нет
Q	300
N <sub>c</sub>	1
Дисперсия	да
Концевые ем...	да
Z <sub>o</sub>	50
Подключение	перемычка
Z <sub>i</sub>	200
L <sub>i</sub>	0
L <sub>c</sub>	17.71
L <sub>r</sub>	26.7
L <sub>a</sub>	10.68
L <sub>e</sub>	-1.295
L <sub>d</sub>	-1.296
W <sub>e</sub>	3.5
W <sub>i</sub>	0.5
S <sub>e</sub>	1.302
S <sub>i</sub>	1.884

Имя конструкции

Ось X  
La/Lr  
от -- 0.15  
до -- .4  
с шагом -- 0.005  
всего шагов -- 51

Ось Y  
 параметры кон.  
L<sub>r</sub>  
 параметры АЧХ  
K<sub>s</sub>(-30дБ)

259 51 0.1589 1.875 D:\filtex32\WorkDir\research.txt

Схема Топология АЧХ ФЧХ ГВЗ Все страницы Исследование

mbr ▶

Пуск Windows Commander 5.0 ... Filtex32 9:27



# Интерфейс "FILTEX" - 1. Отчёт для вывода на печать (начало)

**Filtex32 - отчет** [Иконки] [Закреть]

---

Отчет Filtex Страница - 1

**КОНСТРУКЦИЯ - m5ipqg**

Рис.1 Схема

Рис.2 Топология

— 20 Log(|S21|) - - - - 20 Log(|S11|)

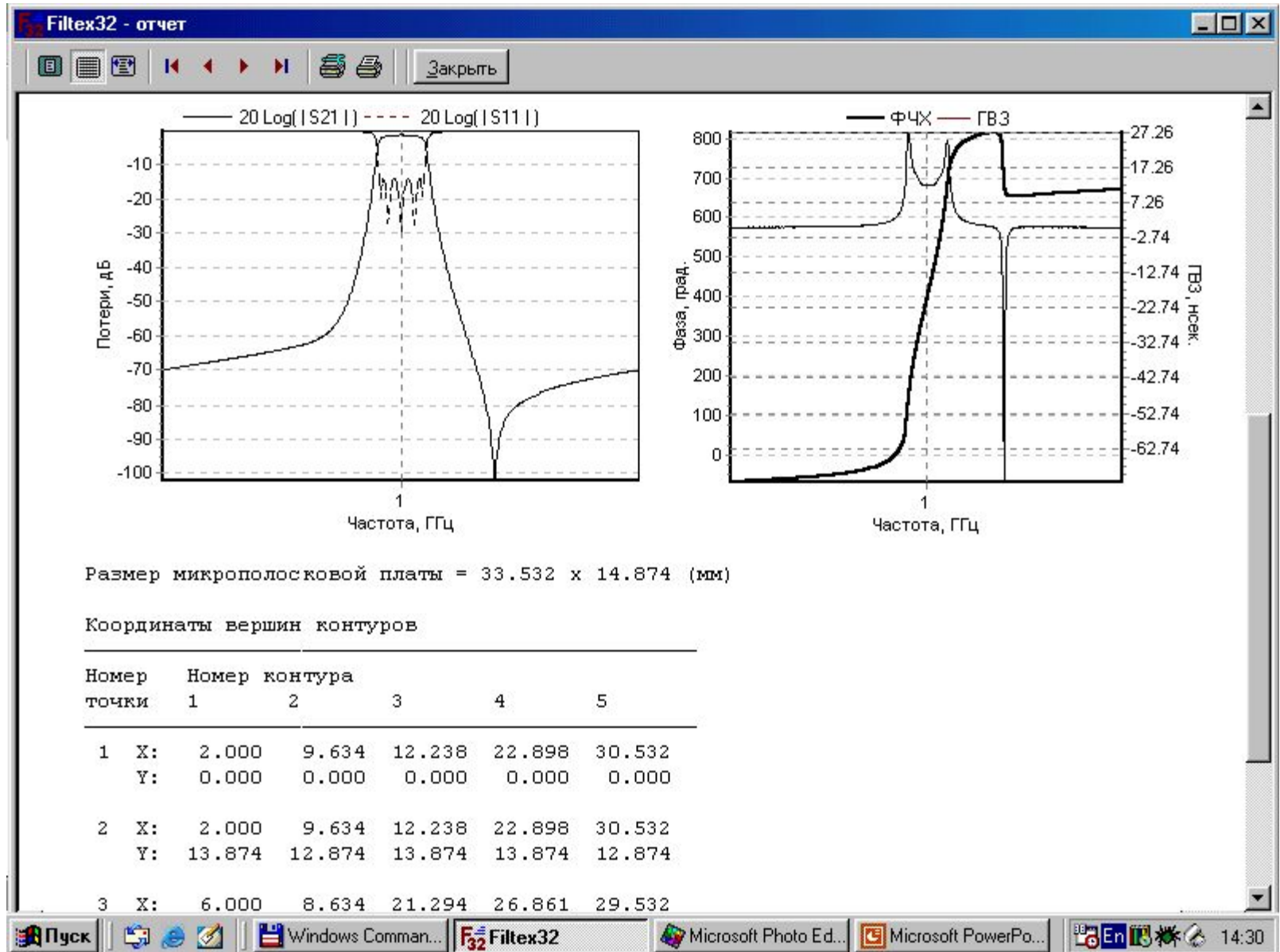
— ФЧХ — ГВЗ

800  
700  
600

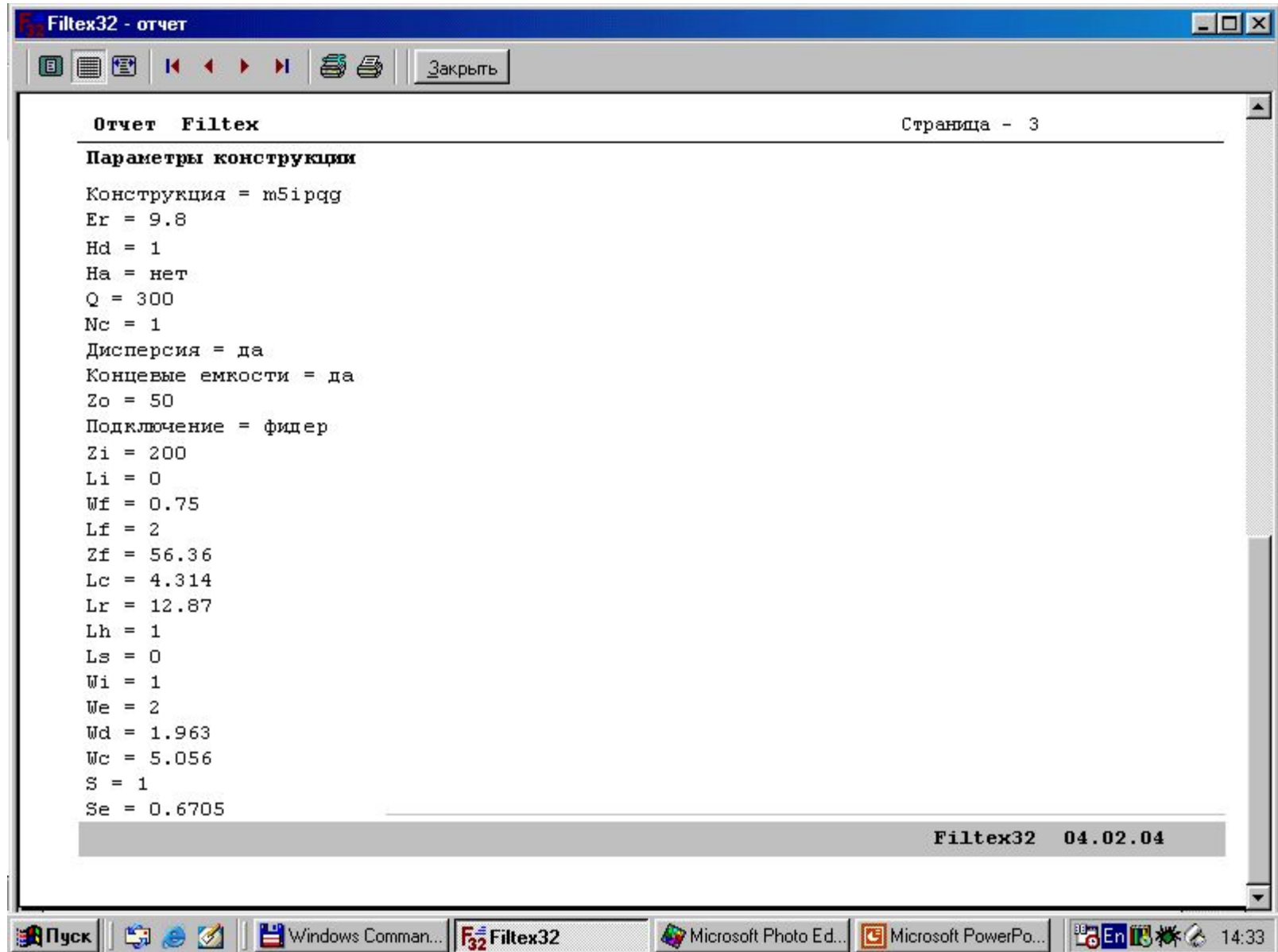
27.26  
17.26  
7.26

Windows Taskbar: Пуск | Windows Comman... | Filtex32 | Microsoft Photo Ed... | Microsoft PowerPo... | 14:22

## Интерфейс “FILTEX” - 2. Отчёт для вывода на печать (прод.)



## Интерфейс “FILTEX” - 3. Отчёт для вывода на печать (окончание)



The screenshot shows a window titled "Filtex32 - отчет" with a toolbar containing icons for document, list, print, navigation, and a "Закреть" button. The main area displays the following text:

Отчет Filtex Страница - 3

---

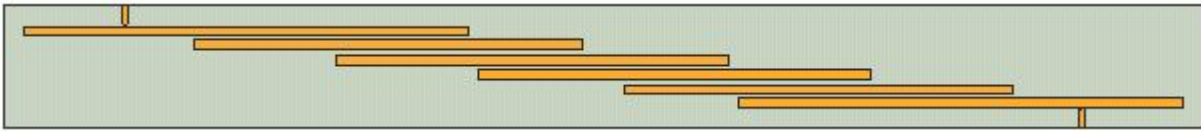
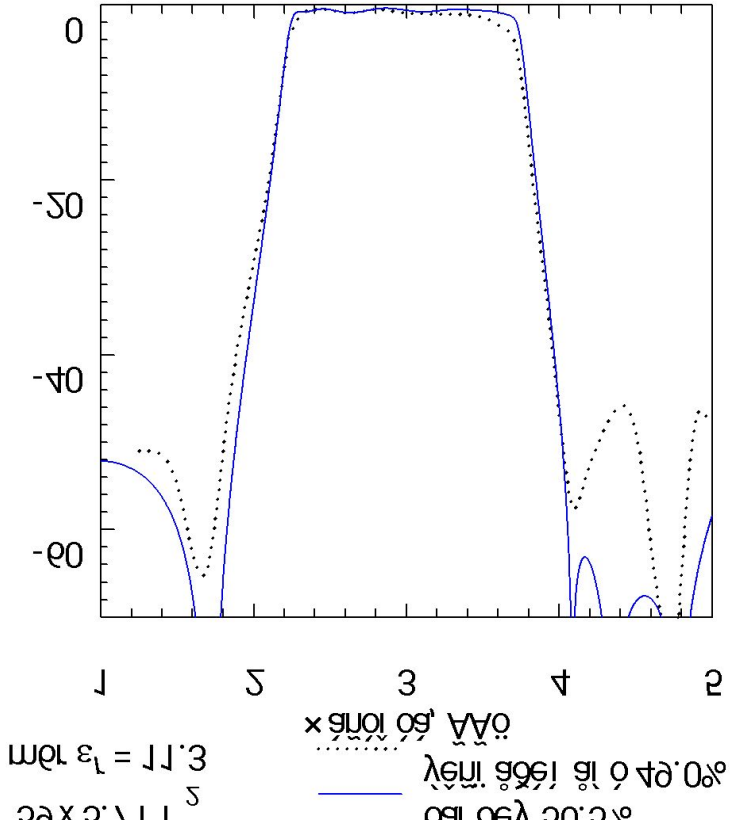
**Параметры конструкции**

Конструкция = m5ipqg  
Er = 9.8  
Hd = 1  
Ha = нет  
Q = 300  
Nc = 1  
Дисперсия = да  
Концевые емкости = да  
Zo = 50  
Подключение = фидер  
Zi = 200  
Li = 0  
Wf = 0.75  
Lf = 2  
Zf = 56.36  
Lc = 4.314  
Lr = 12.87  
Lh = 1  
Ls = 0  
Wi = 1  
We = 2  
Wd = 1.963  
Wc = 5.056  
S = 1  
Se = 0.6705

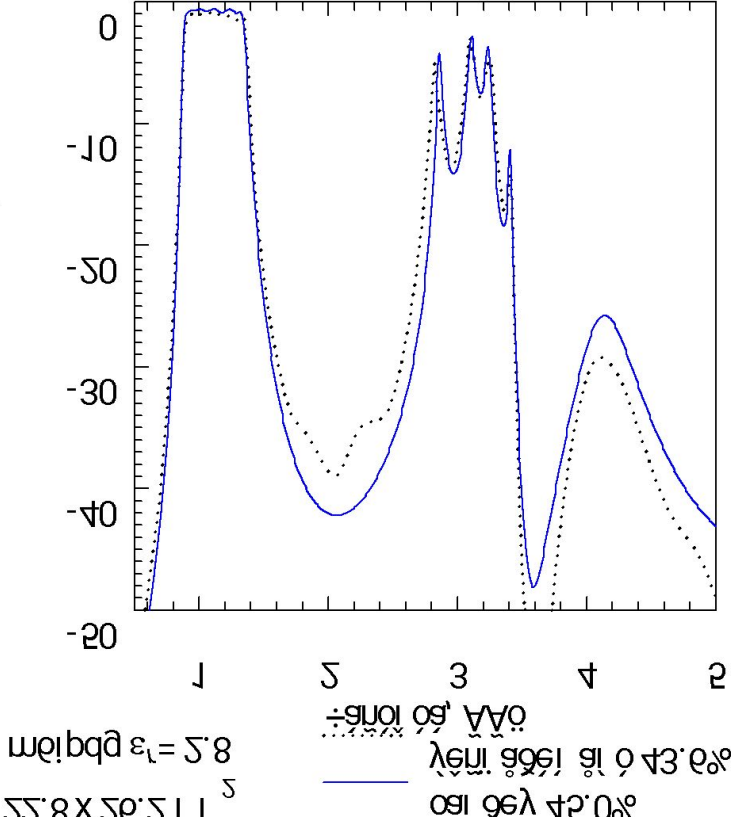
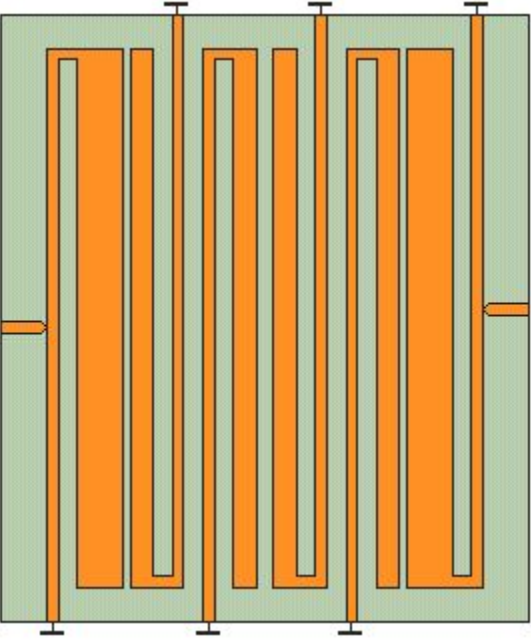
Filtex32 04.02.04

The Windows taskbar at the bottom shows the Start button, several icons, and the taskbar itself with the following items: "Пуск", "Windows Comman...", "Filtex32", "Microsoft Photo Ed...", "Microsoft PowerPo...", "En", and a system tray with a clock showing 14:33.

# СРАВНЕНИЕ РАСЧЁТА С ЭКСПЕРИМЕНТОМ



# СРАВНЕНИЕ РАСЧЁТА С ЭКСПЕРИМЕНТОМ



## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

### САПР FILTEX32

- ✓ Б.А. Беляев, С.В. Бутаков, Н.В. Лалетин, А.А. Лексиков, В.В. Тюрнев. Труды Всеросс. конф. СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. Севастополь, 2005.
- ✓ Б.А. Беляев, С.В. Бутаков, Н.В. Лалетин, А.А. Лексиков, В.В. Тюрнев. Доклады Междунар. конф. Электронные средства и системы управления. Томск, 2005.

### ИССЛЕДОВАНИЯ МПФ С ПОМОЩЬЮ FILTEX32

- ✓ Б.А. Беляев, С.В. Бутаков, Н.В. Лалетин, А.А. Лексиков, В.В. Тюрнев, О.Н. Чесноков. Радиотехника и электроника. 2006.
- ✓ Б.А. Беляев, С.В. Бутаков, Н.В. Лалетин, А.А. Лексиков, В.В. Тюрнев, О.Н. Чесноков. Радиотехника и электроника. 2004.

### АКТЫ О ВНЕДРЕНИИ FILTEX32

- ✓ Открытое акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Радий» (г. Москва)
- ✓ Закрытое акционерное общество «СКАРД-Электроникс» (г. Курск)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, представлена новая, 32-х разрядная версия экспертной системы FILTEX32, предназначенная для анализа, синтеза и исследований микрополосковых полосно-пропускающих фильтров. Система содержит открытый для пополнения банк готовых конструкций МПФ.

В системе используется оригинальный метод оптимизации. Система отличается высокой скоростью и точностью расчета; проста в обращении; имеет удобный диалоговый интерфейс; снабжена справочной системой; предусмотрена возможность ее интеграции с оборудованием по изготовлению микрополосковых плат; подключение новых конструкций не требует доработки управляющей программы. Отсутствие у пользователя высокой квалификации не является препятствием при проектировании МПФ.