

Предисловие....

«Слышь, фильтруй базар!!!... И прочие аспекты  
обработки сигналов ;)»

Семинар №3

«Фильтрация. Классификация фильтров.  
Аналоговые фильтры»

# Что же такое фильтрация?

Фильтрация – выделение желательных компонентов спектра электрического сигнала с подавление нежелательных.

Спектр сигнала – результат разложения сигнала на ряд более простых базисных ортогональных функций. Для электротехники такими функциями чаще всего являются синусоидальные функции.

Для разложения сигнала чаще всего используют преобразование Фурье, разложение по функциям Уолша и вейвлет-преобразования.

# Виды фильтров

## - Аналоговые и цифровые

Аналоговые фильтры обрабатывают аналоговые сигналы и строятся на основании RLC компонентов, транзисторов, операционных усилителей и пр.

Цифровые фильтры обрабатывают цифровые сигналы и используют в качестве специализированного ПО.

## - Пассивные и активные

Пассивные фильтры не используют внешних источников питания.

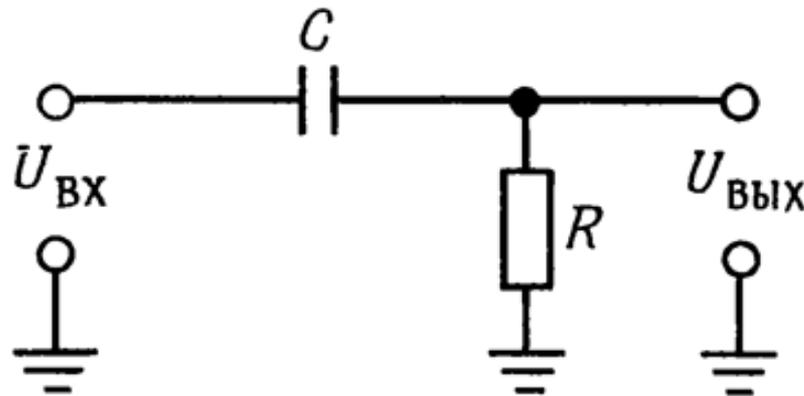
Активные фильтры используют внешние источники питания и могут быть слаботочными (применяются в измерительных каналах) либо силовыми (для фильтрации высших гармоник в силовых цепях.)

## - КИХ и БИХ

БИХ-фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (рекурсивные) и КИХ-фильтры с конечной импульсной характеристикой (нерекурсивные)

# Принцип работы пассивных фильтров

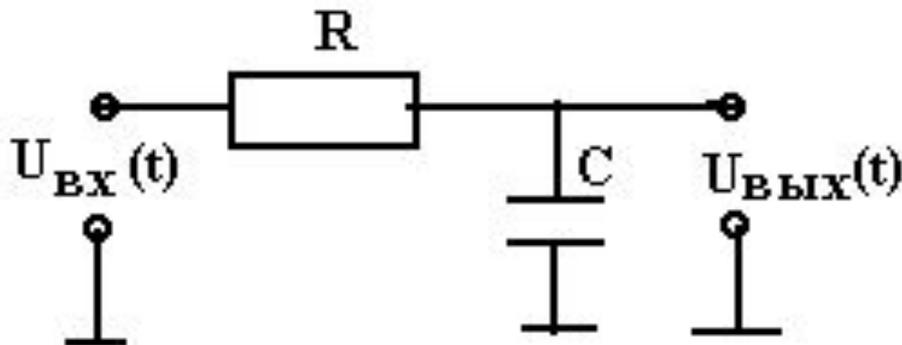
Основан на способностях емкости подавлять низкие частоты и способности индуктивности подавлять высокие частоты.



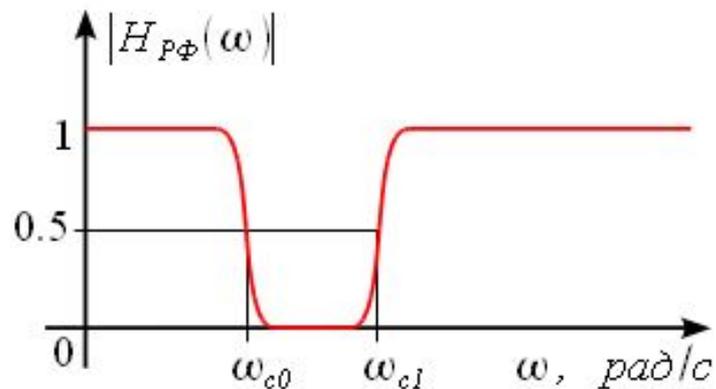
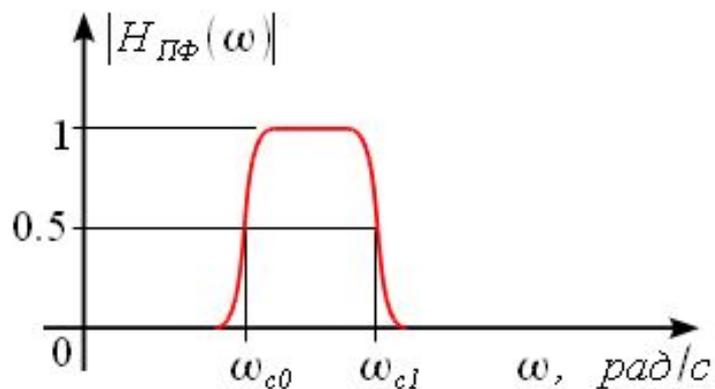
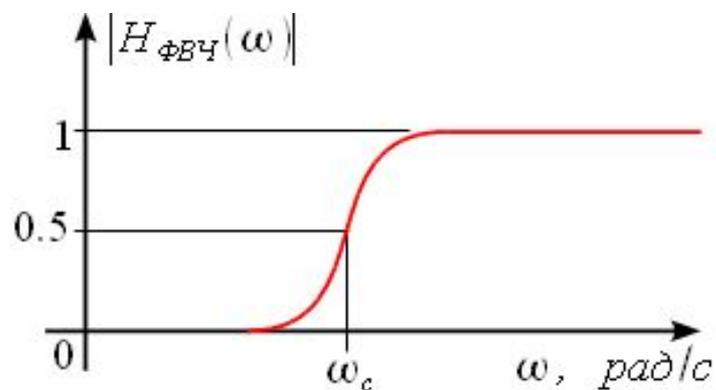
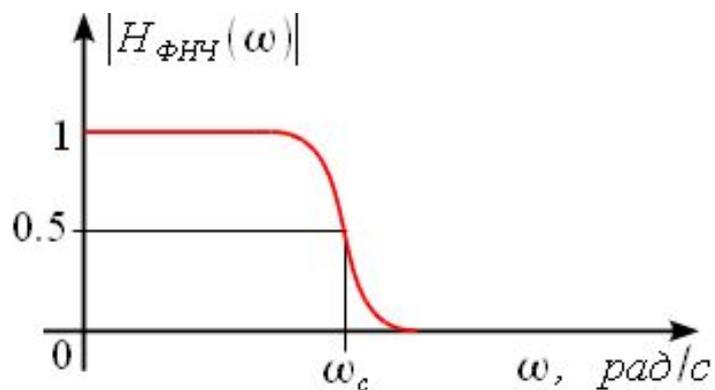
$$X = X_L - X_C$$

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

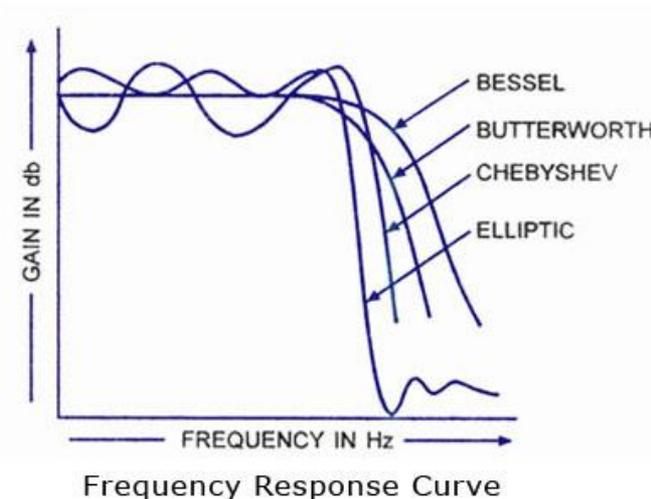


По типу выделения и подавления частотного спектра фильтры бывают:



# Среди рекурсивных фильтров по типу передаточной функции выделяют

- фильтры Чебышева 1го и 2го порядка
- фильтры Бесселя
- Фильтры Баттерворта
- Эллиптические фильтры
- фильтр Гаусса



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

Что же такое передаточная функция))??

Это один из способов математического описания динамической системы и дифференциальный оператор, выражающий связь между входом и выходом линейной стационарной системы

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

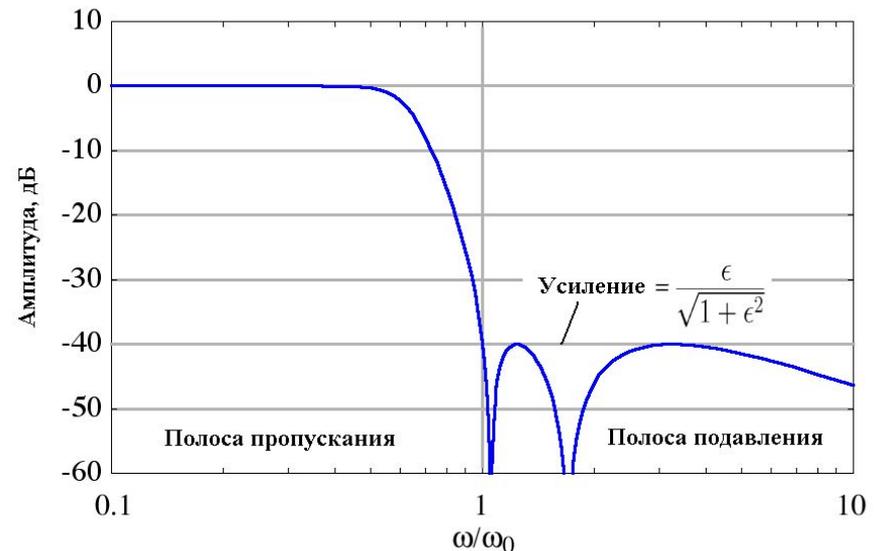
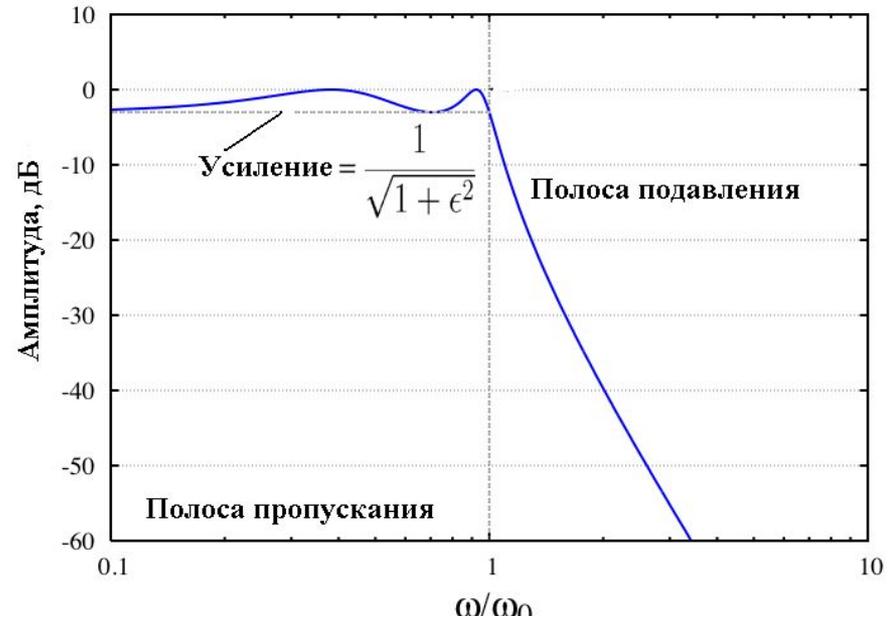
$$W(z) = \frac{Y(z)}{U(z)}$$

# Фильтры Чебышева

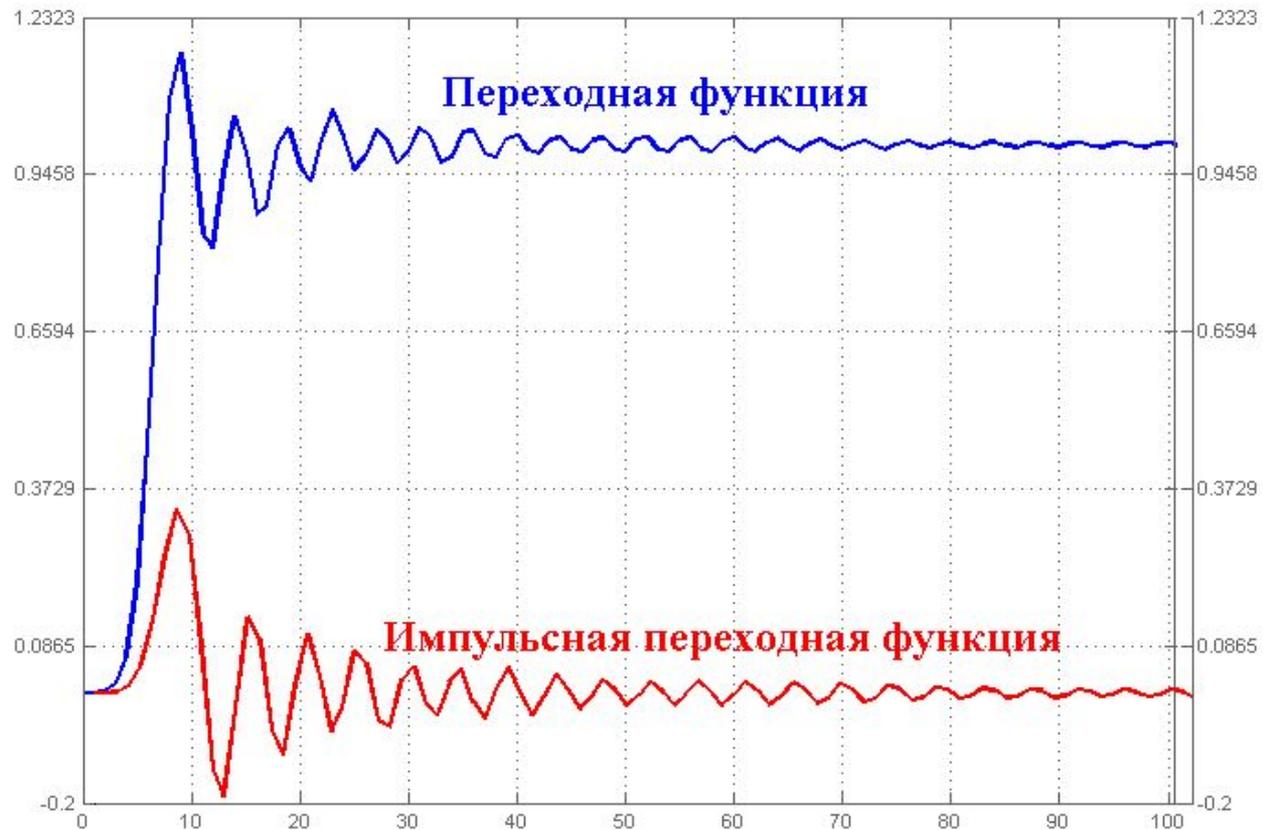
один из типов линейных аналоговых или цифровых фильтров, отличительной особенностью которого является более крутой спад амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и существенные пульсации амплитудно-частотной характеристики на частотах полос пропускания (фильтр Чебышёва I рода) и подавления (фильтр Чебышёва II рода), чем у фильтров других типов.

$$H(s) = \prod_{m=0}^{n-1} \frac{1}{(s - s_{pm})}$$

$$G_n(\omega) = |H_n(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2 T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}}$$



# Переходная и импульсная функция фильтра Чебышева



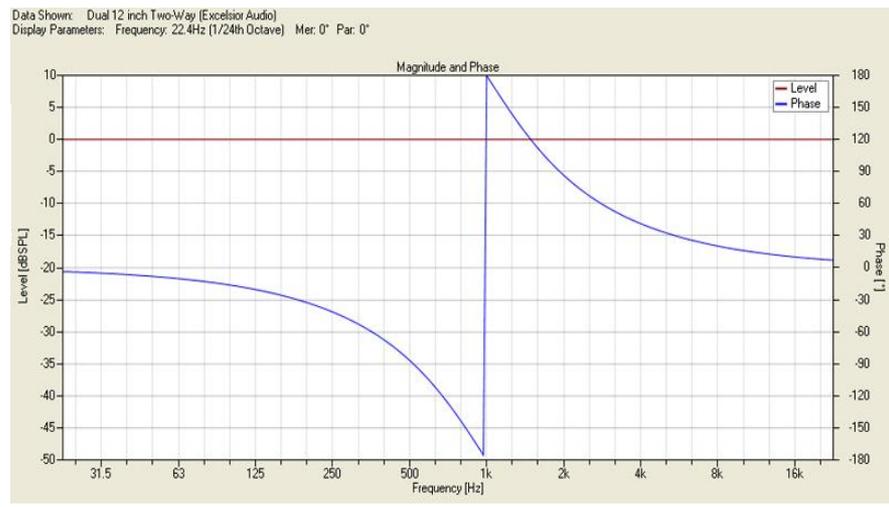
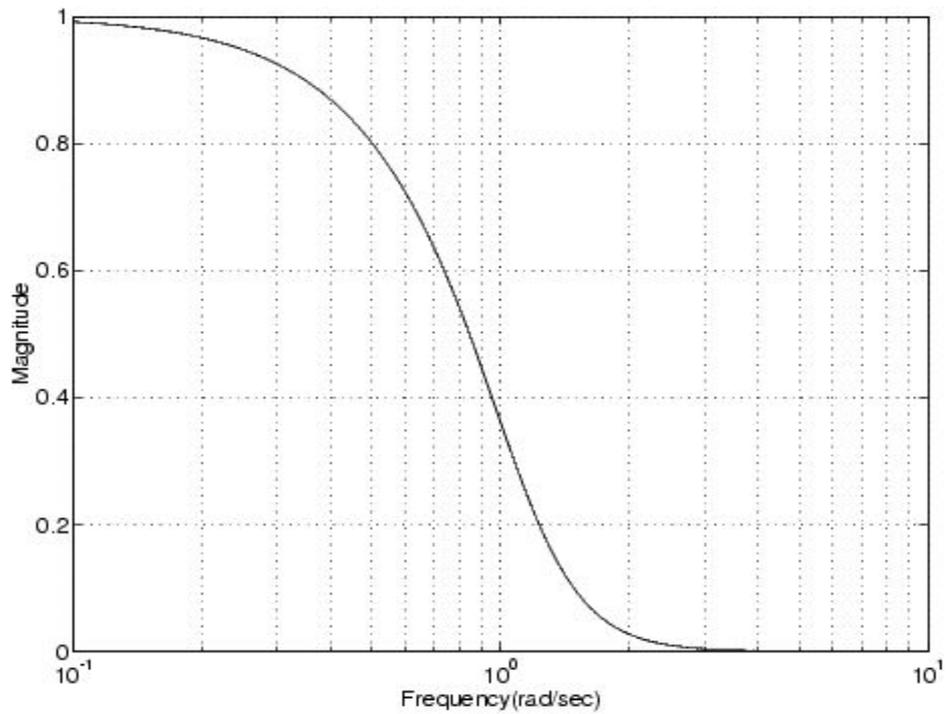
# Фильтр Бесселя

отличительной особенностью которого является максимально гладкая групповая задержка и линейная фазо-частотная характеристика.

Их групповая задержка практически не изменяется по частотам полосы пропускания, вследствие чего форма фильтруемого сигнала на выходе такого фильтра в полосе пропускания сохраняется практически неизменной

$$H(s) = \frac{\theta_n(0)}{\theta_n(s/\omega_0)} \quad H(s) = \frac{15}{s^3 + 6s^2 + 15s + 15}$$

$$G(\omega) = |H(j\omega)| = \frac{15}{\sqrt{\omega^6 + 6\omega^4 + 45\omega^2 + 225}}$$



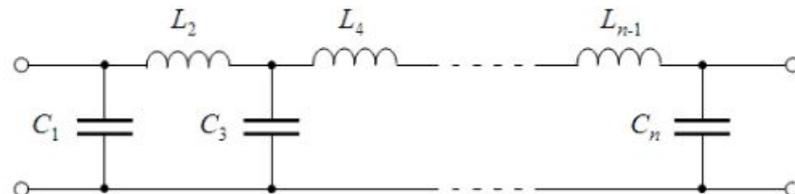
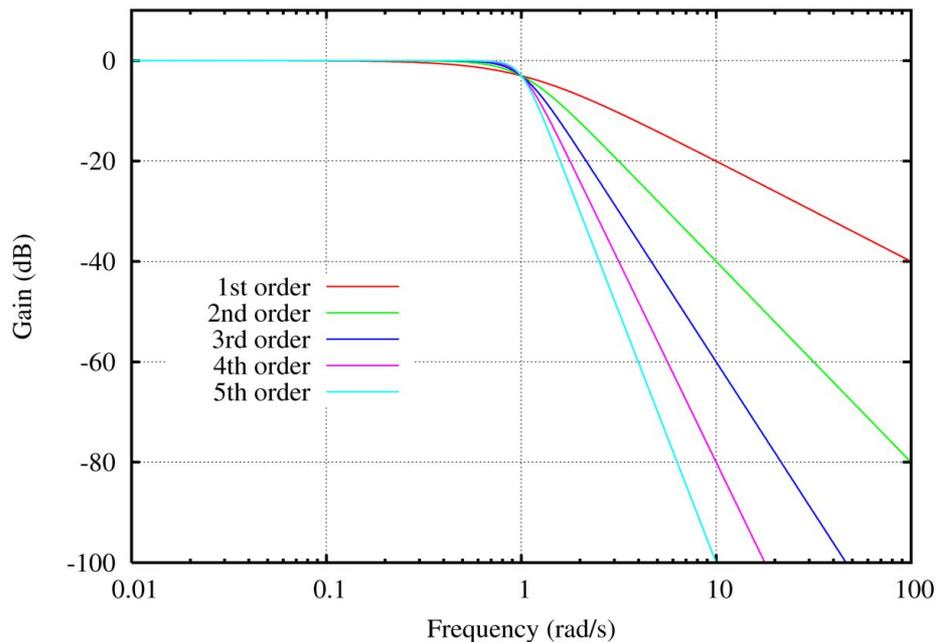
# Фильтр Баттерворта

АЧХ фильтра Баттерворта максимально гладкая на частотах полосы пропускания и снижается практически до нуля на частотах полосы подавления.

АЧХ фильтра Баттерворта — монотонно убывающая функция частоты. Фильтр Баттерворта — единственный из фильтров, сохраняющий форму АЧХ для более высоких порядков (за исключением более крутого спада характеристики на полосе подавления) тогда как многие другие разновидности фильтров (фильтр Бесселя, фильтр Чебышёва, эллиптический фильтр) имеют различные формы АЧХ при различных порядках

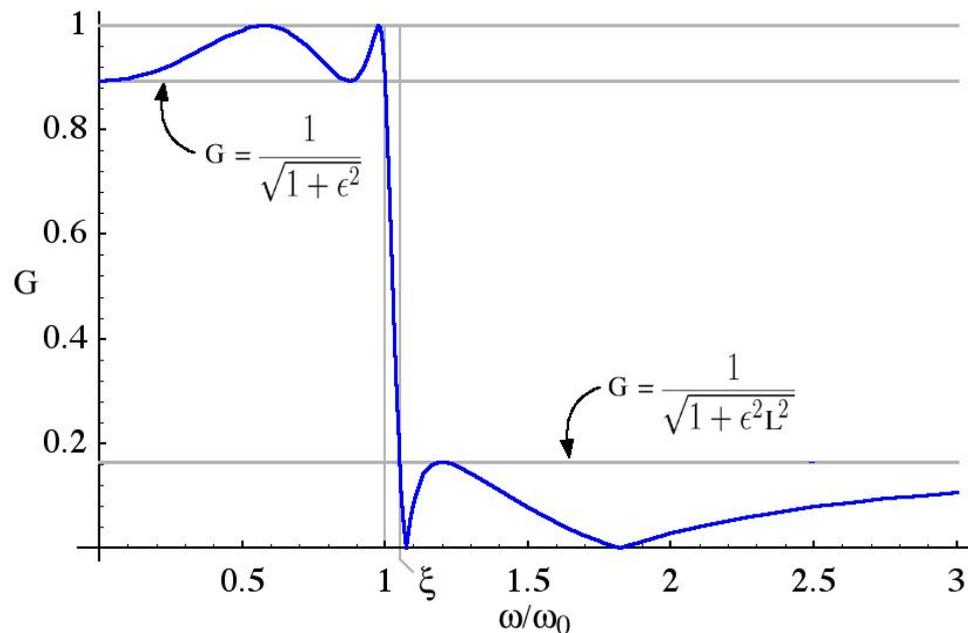
АЧХ

$$G^2(\omega) = |H(j\omega)|^2 = \frac{G_0^2}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}}$$



# Эллиптический фильтр

электронный фильтр, характерной особенностью которого являются пульсации амплитудно-частотной характеристики как в полосе пропускания, так и полосе подавления. Величина пульсаций в каждой из полос независима друг от друга. Другой отличительной особенностью такого фильтра является очень крутой спад амплитудной характеристики, поэтому с помощью этого фильтра можно достигать более эффективного разделения частот, чем с помощью других линейных фильтров.



$$G_n(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2 R_n^2(\xi, \omega/\omega_0)}}$$

# Реакция различных фильтров на единичное ступенчатое воздействие



# Практические аспекты синтеза фильтров

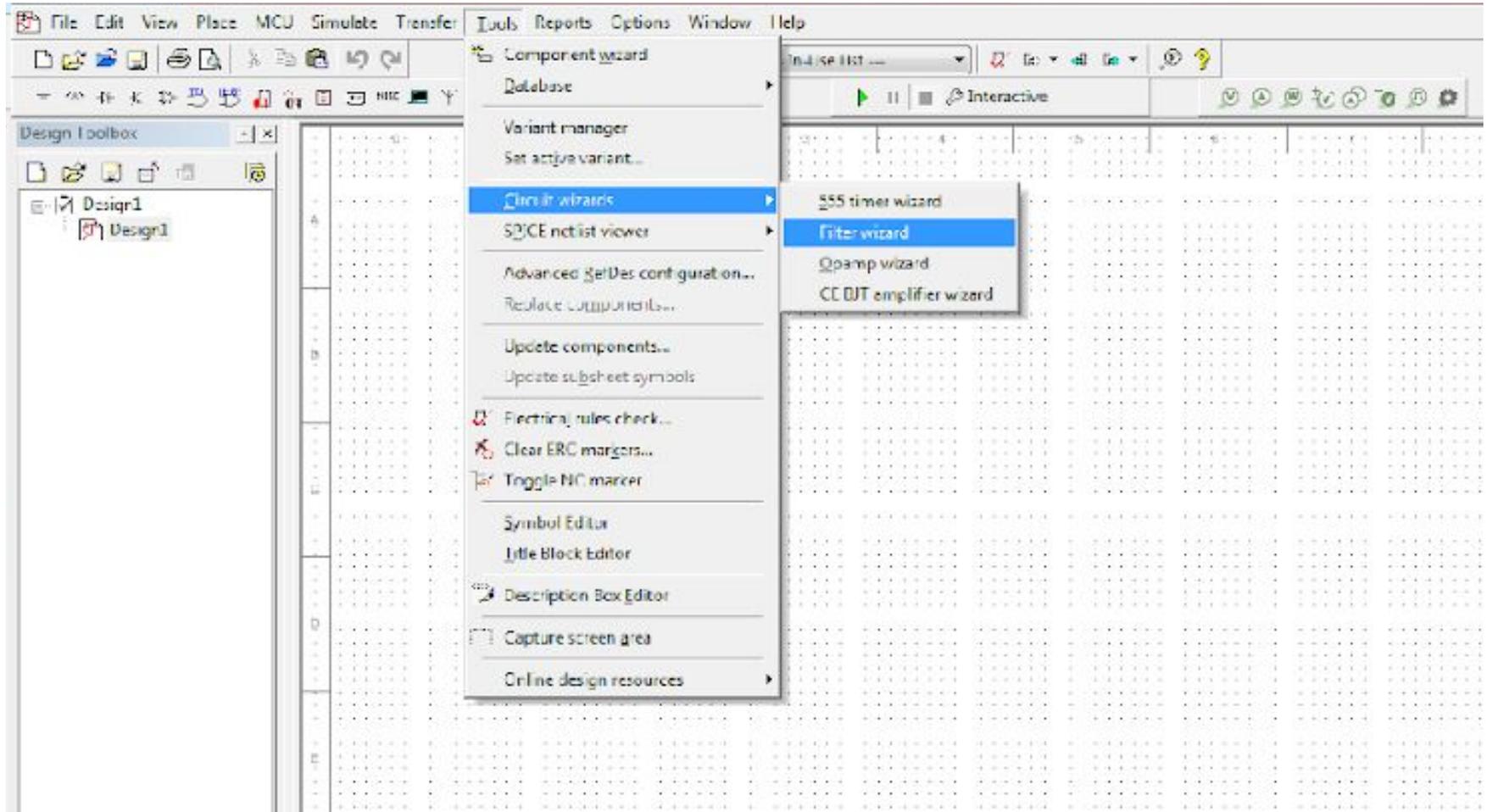
Процесс синтеза фильтров без применения дополнительных программных пакетов является очень-очень-очень сложным процессом!!! Требующий знаний преобразования преобразований Лапласа, Z-преобразований и решения множества полимиальных функций.

На практике существует огромное количество методик посвященных практическим расчетам

При проектировании аналоговых и цифровых фильтров применяются:

- Multisim синтезирует аналоговые (пассивные и активные фильтры)

# Интерфейс Multisim



# Выбираем требуемую АЧХ

The image displays four instances of the 'Filter Wizard' dialog box, each configured for a different filter type. Each window includes a graph of Gain (dB) versus Frequency (Hz) and configuration options for Type, Topology, and Source impedance.

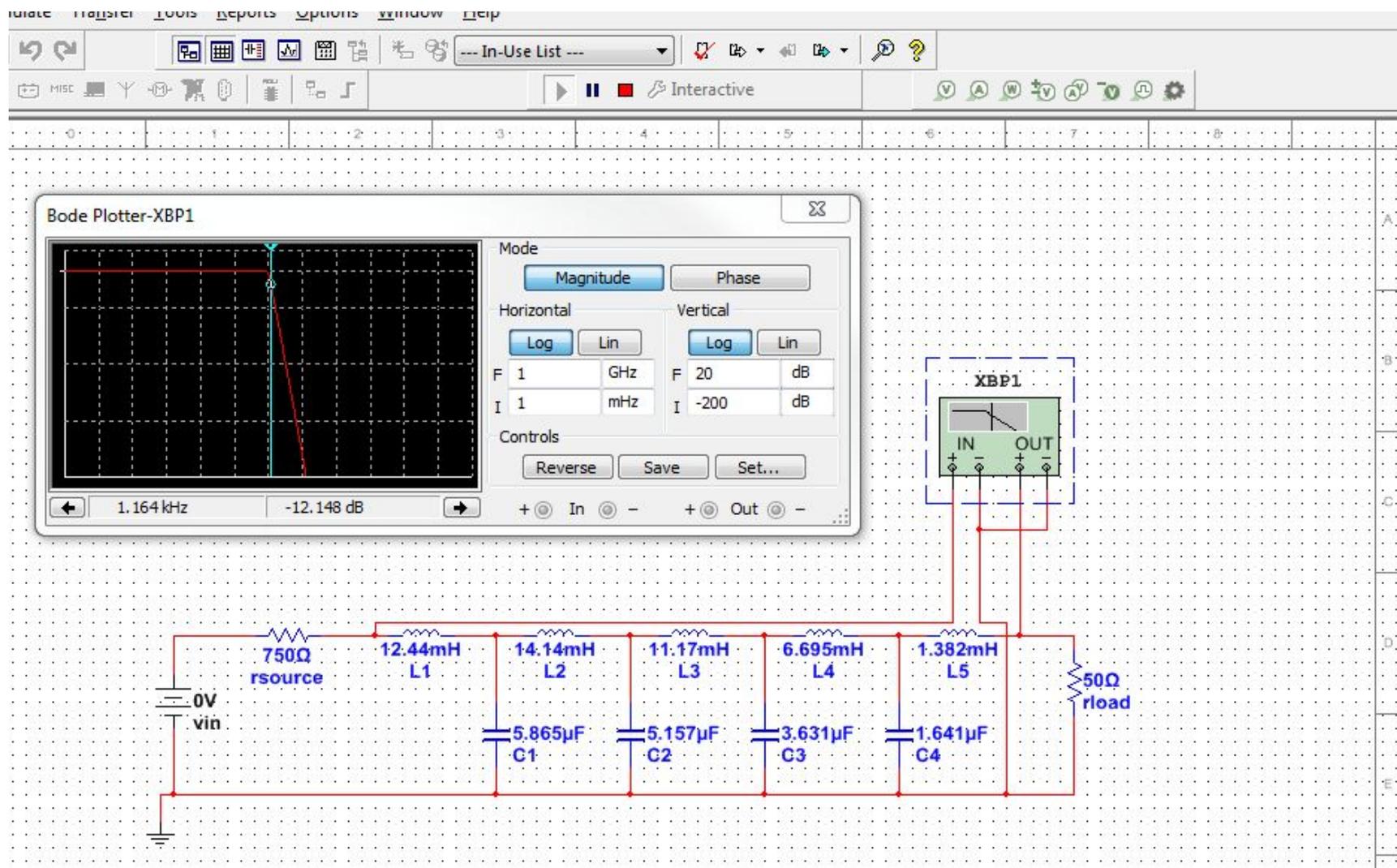
- Low pass filter:** Pass frequency: 1 kHz, Stop frequency: 1.5 kHz, Pass band gain: -1 dB, Stop band gain: -25 dB, Filter load: 50  $\Omega$ .
- High pass filter:** Pass frequency: 1 kHz, Stop frequency: 1.5 kHz, Pass band gain: -1 dB, Stop band gain: -25 dB, Filter load: 50  $\Omega$ .
- Band pass filter:** Low end pass frequency: 1.5 kHz, Low end stop frequency: 1 kHz, High end pass frequency: 2 kHz, High end stop frequency: 3 kHz, Pass band gain: -1 dB, Stop band gain: -25 dB, Filter load: 50  $\Omega$ .
- Band reject filter:** Low end pass frequency: 1 kHz, Low end stop frequency: 1.5 kHz, High end pass frequency: 3 kHz, High end stop frequency: 2 kHz, Pass band gain: -1 dB, Stop band gain: -25 dB, Filter load: 50  $\Omega$ .

Configuration options for all filters include:

- Type:  Butterworth,  Chebyshev
- Topology:  Passive,  Active
- Source impedance:  10 times > Load,  10 times < Load,  Equal to load

Buttons at the bottom of each window: Default settings, Build circuit, Verify, Close, Help.

# Результаты синтеза фильтра и проверка АЧХ



# Filter solutions

Filter Solutions 2009 Nuhertz Technologies, LLC

File Data License Options Window Parts Help

**Filter Type**

- Gaussian
- Bessel
- Butterworth
- Legendre
- Chebyshev I
- Chebyshev II
- Hourglass
- Elliptic
- Custom
- Raised Cos
- Matched
- Delay

**Filter Attributes**

Standard Pass Band Atten

Set Order: 3 Order

1 Pass Band Freq

1.1 Stop Band Ratio

Delay Equalize

Implementation

- Lumpec
- Distrib
- Active
- SwCap
- Digital

**Filter Class**

- Low Pass
- Band Pass
- High Pass
- Band Stop
- Diplexer 1
- Diplexer 2

**Freq Scale**

- Rad/Sec
- Hertz
- Log

**Graph Limits**

0.1 10 0 10

Min Freq Max Freq Min Time Max Time

**Lumped Design**

**Ideal Filter Response**

Transfer Function Time Response

Pole Zero Plots Frequency Response

Reflection Coefficient  Incl Source Bias

**Circuit Parameters**

- Current Source 1 Source Res
- Voltage Source 1 Load Res
- 1st Ele Shunt
- 1st Ele Series
- Min Inductors  BridgeT
- Complex Terminate

Synthesize Filter Real Paramters

Filter Solutions 2009 Nuhertz Technologies, LLC

File Data License Options Window Parts Help

**Filter Type**

- Gaussian
- Bessel
- Butterworth
- Legendre
- Chebyshev I
- Chebyshev II
- Hourglass
- Elliptic
- Custom
- Raised Cos
- Matched
- Delay

**Filter Attributes**

Standard Pass Band Atten

Set Order: 3 Order

1 Pass Band Freq

1 Pass Band Ripple (dB)

Add Tx Zeros  Constrict Ripple

Delay Equalize

Implementation

- Lumpec
- Distrib
- Active
- SwCap
- Digital

**Filter Class**

- Low Pass
- Band Pass
- High Pass
- Band Stop
- Diplexer 1
- Diplexer 2

**Freq Scale**

- Rad/Sec
- Hertz
- Log

**Graph Limits**

0.1 10 0 10

Min Freq Max Freq Min Time Max Time

**Lumped Design**

**Ideal Filter Response**

Transfer Function Time Response

Pole Zero Plots Frequency Response

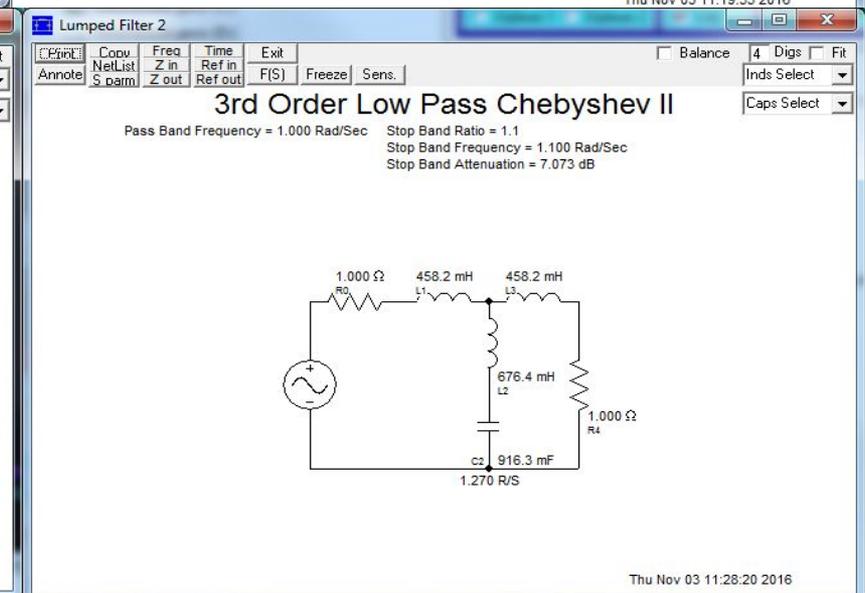
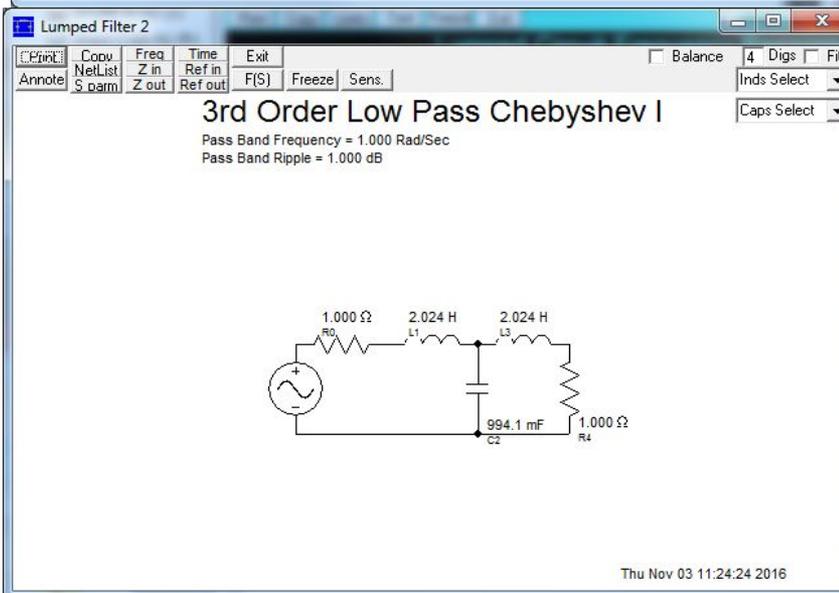
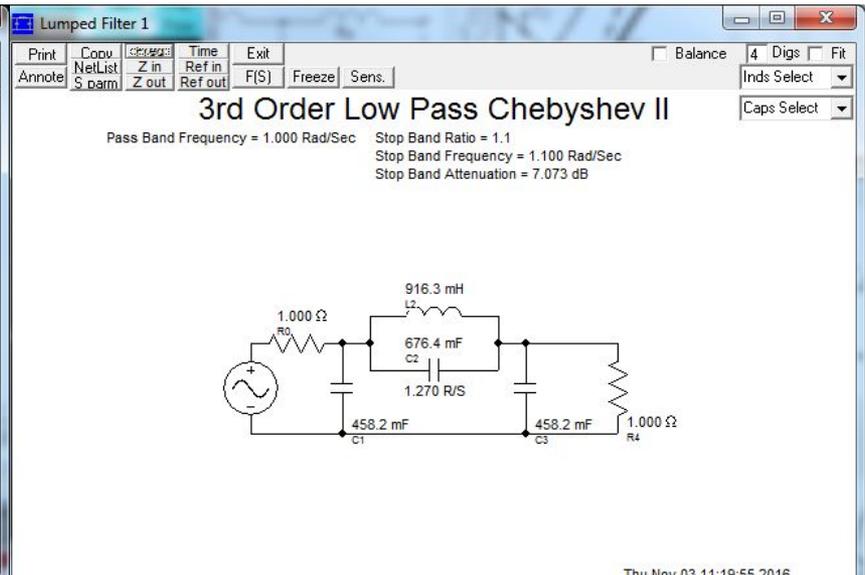
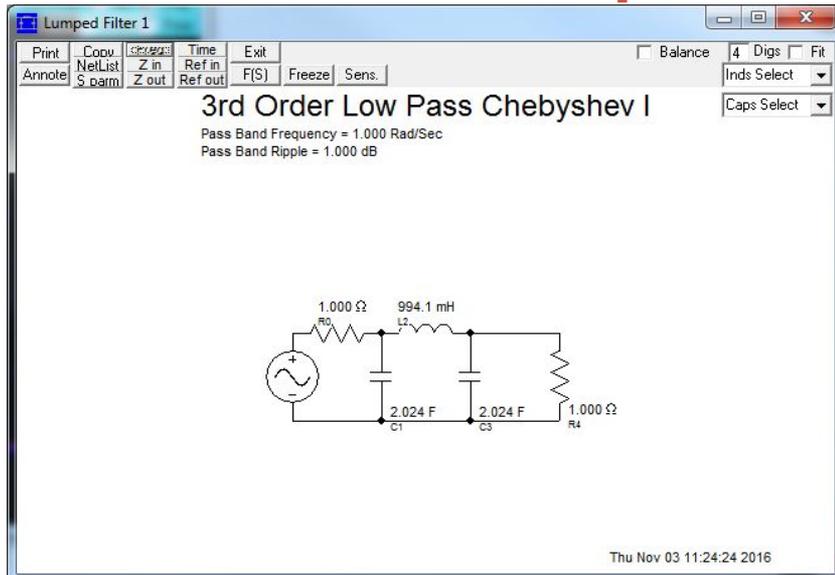
Reflection Coefficient  Incl Source Bias

**Circuit Parameters**

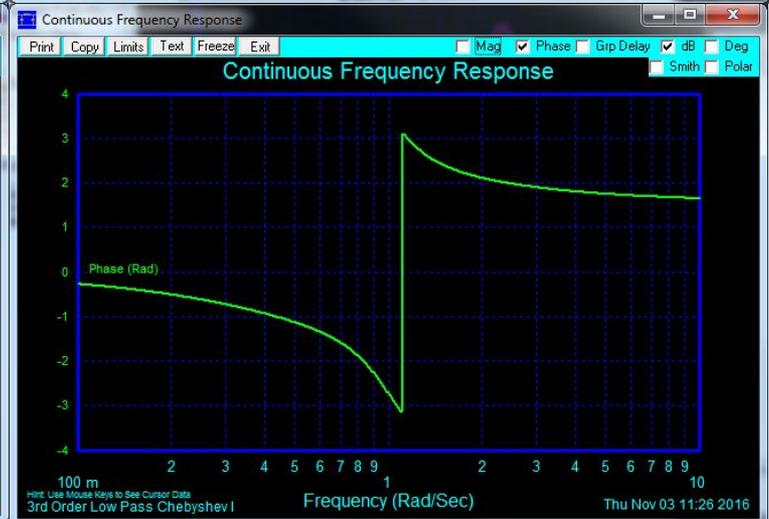
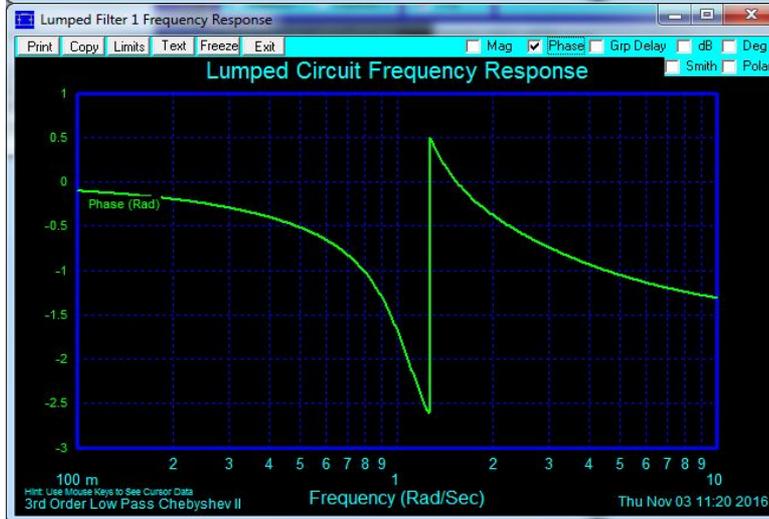
- Current Source 1 Source Res
- Voltage Source 1 Load Res
- 1st Ele Shunt
- 1st Ele Series
- Min Inductors
- Complex Terminate

Synthesize Filter Real Paramters

# Синтезированные схемы



# Проверка полученных АЧХ и ФЧХ



ВАЖНО ПОНИМАТЬ, ЧТО НАПИСАНИЕ  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММ НЕ  
ОСВОБОЖДАЕТ ИНЖЕНЕРА ОТ НЕОБХОДИМОСТИ  
ПОНИМАТЬ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
ПРОТЕКАЮЩИХ В ФИЛЬТРАХ.

Спасибо!

И да пребудет с вами СИЛА!