

# Активные фильтры

Исполнитель: Фамина В.С.  
Денисов И. С.  
группа 106224  
Руководитель: Бладыко Ю.В.

Минск 2006

В электрических, радиотехнических и телемеханических установках часто решается задача: из совокупного сигнала, занимающего широкую полосу частот, выделить один или несколько составляющих сигналов с более узкой полосой. Сигналы заданной полосы выделяют при помощи *частотных электрических фильтров*.

Активными называются фильтры, использующие для формирования частотной характеристики заданного вида как пассивные (в основном резисторы и конденсаторы), так и активные (усилительные) элементы.

# Преимущества

К преимуществам активных фильтров в первую очередь следует отнести:

- способность усиливать сигнал, лежащий в полосе их пропускания;
- возможность отказаться от применения таких нетехнологичных элементов, как индуктивности, использование которых несовместимо с методами интегральной технологии;
- лёгкость настройки;
- малые масса и объем, которые слабо зависят от полосы пропускания, что особенно важно при разработке устройств, работающих в низкочастотной области;
- простота каскадного включения при построении фильтров высоких порядков.

# Недостатки

Вместе с тем данному классу устройств свойственны следующие **недостатки**, которые ограничивают их область применения:

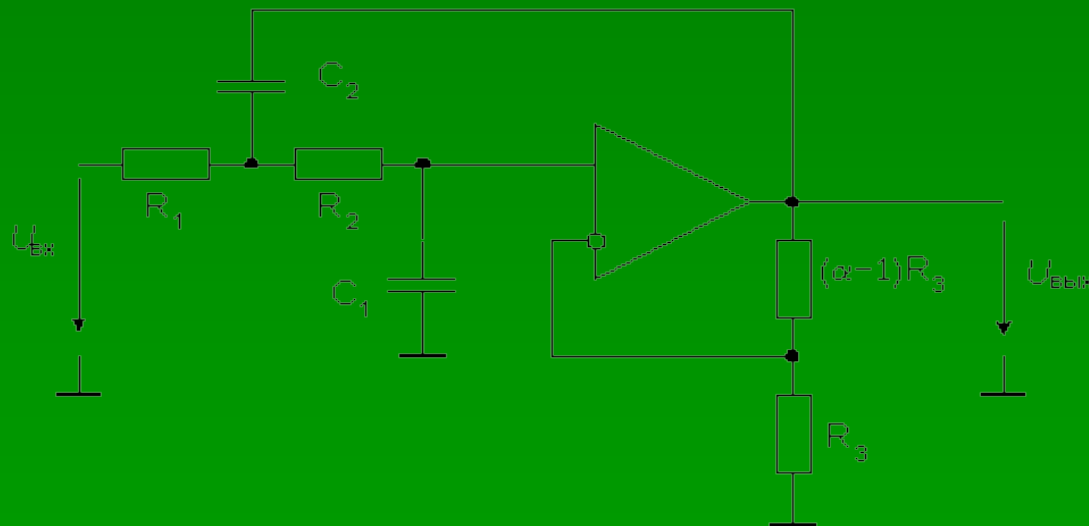
- невозможность использования в силовых цепях, например в качестве фильтров выпрямителей;
- необходимость источника, предназначенного для питания усилителя;
- ограниченный частотный диапазон, определяемый собственными частотными свойствами используемых усилителей.

# Классификация

Как и фильтры на пассивных элементах, активные фильтры классифицируются на:

- фильтры низких частот;
- фильтры высоких частот;
- полосовые фильтры;
- режекторные (заградительные) фильтры

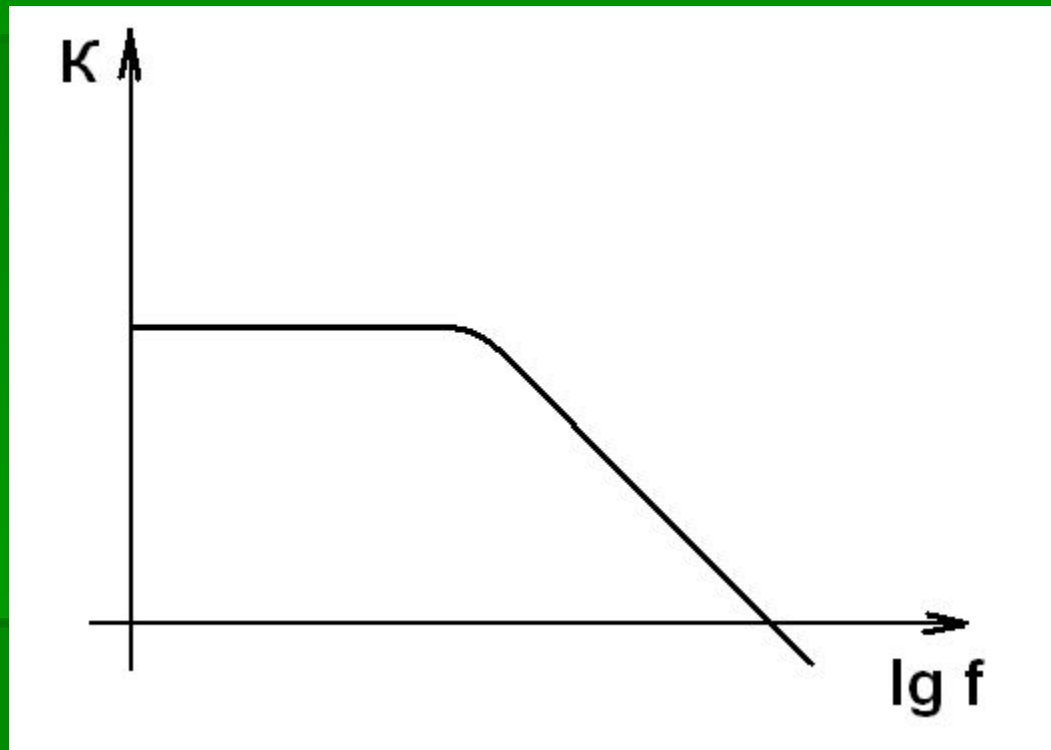
# Активный фильтр нижних частот второго порядка



- Назад
- [АЧХ](#)

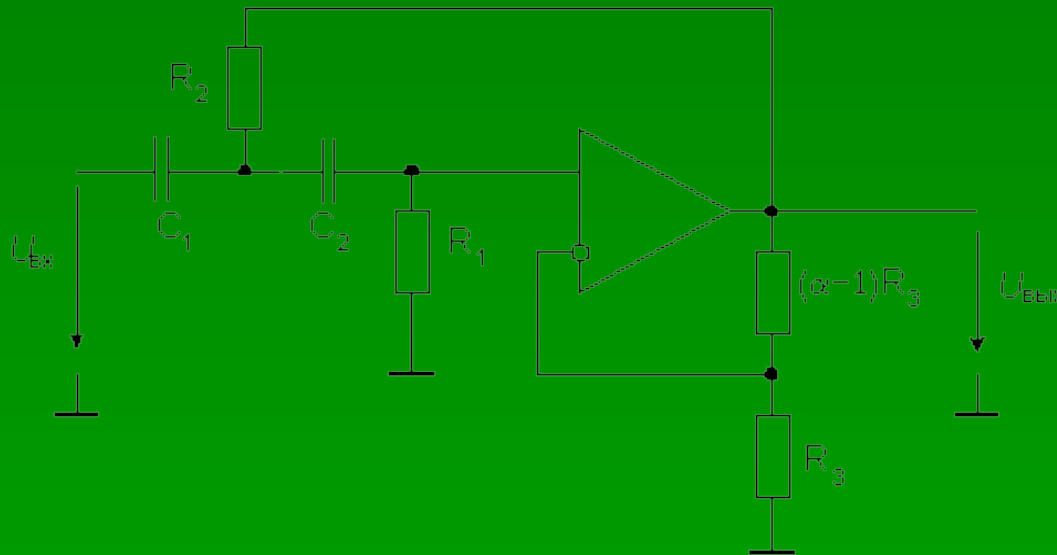
**Выход**

# АЧХ фильтра нижних частот



- Назад

# Активный фильтр верхних частот второго порядка

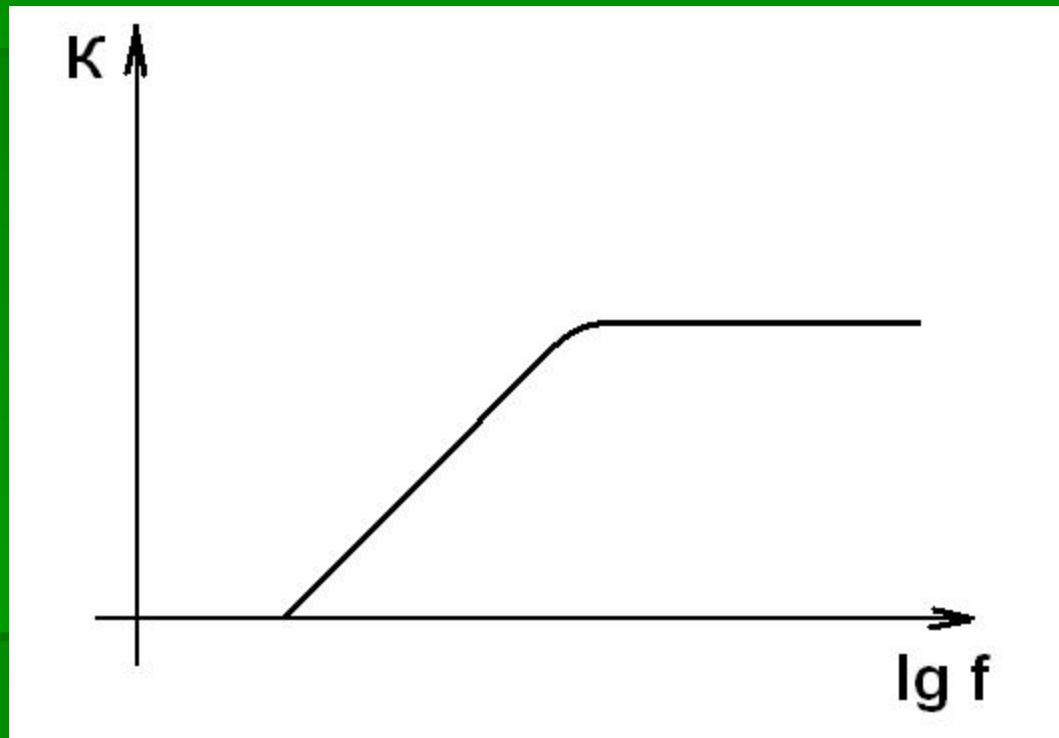


- [Назад](#)
- [АЧХ](#)
- [Файлы Electronics Workbench](#)

**Выход**

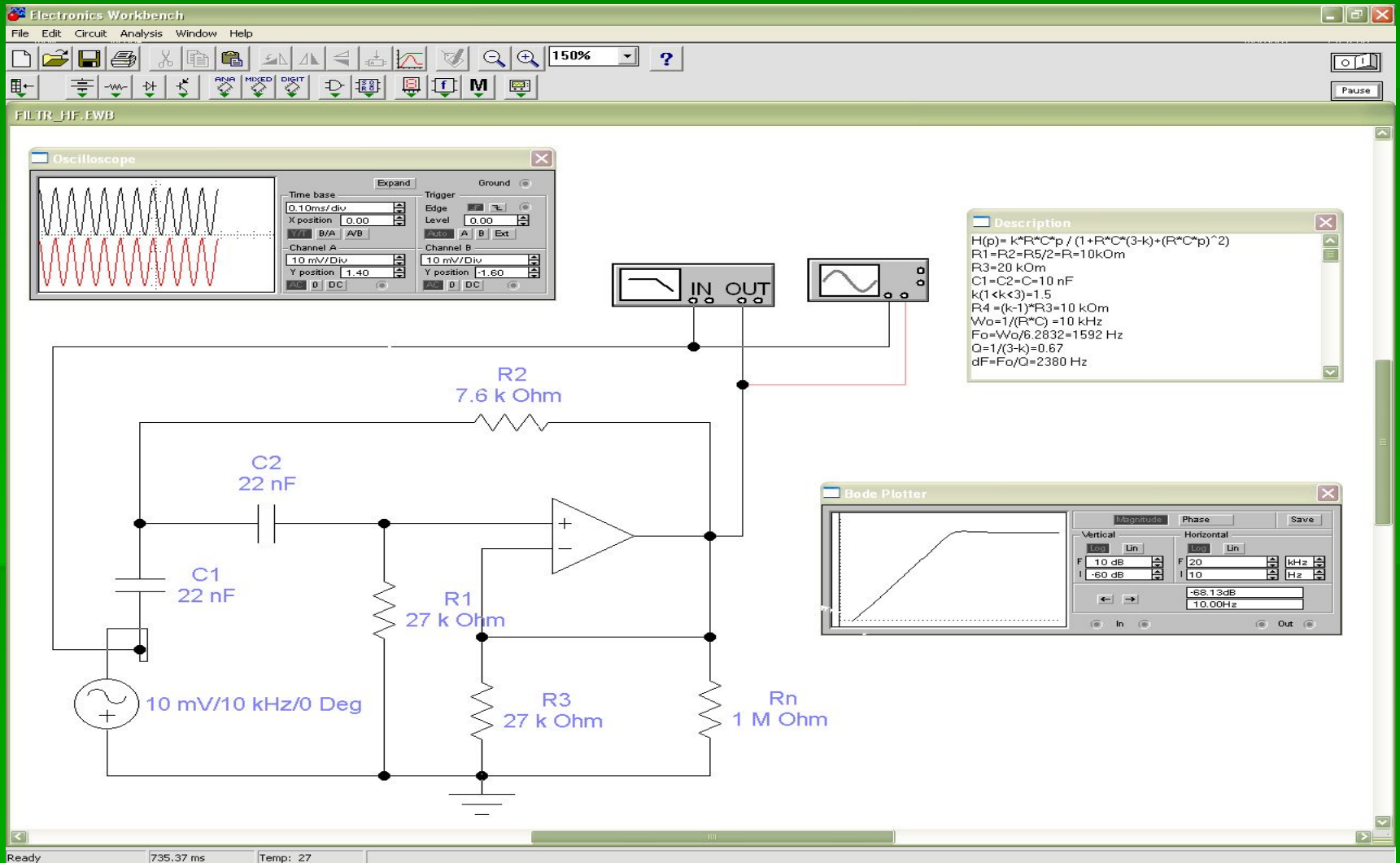


# АЧХ фильтра верхних частот



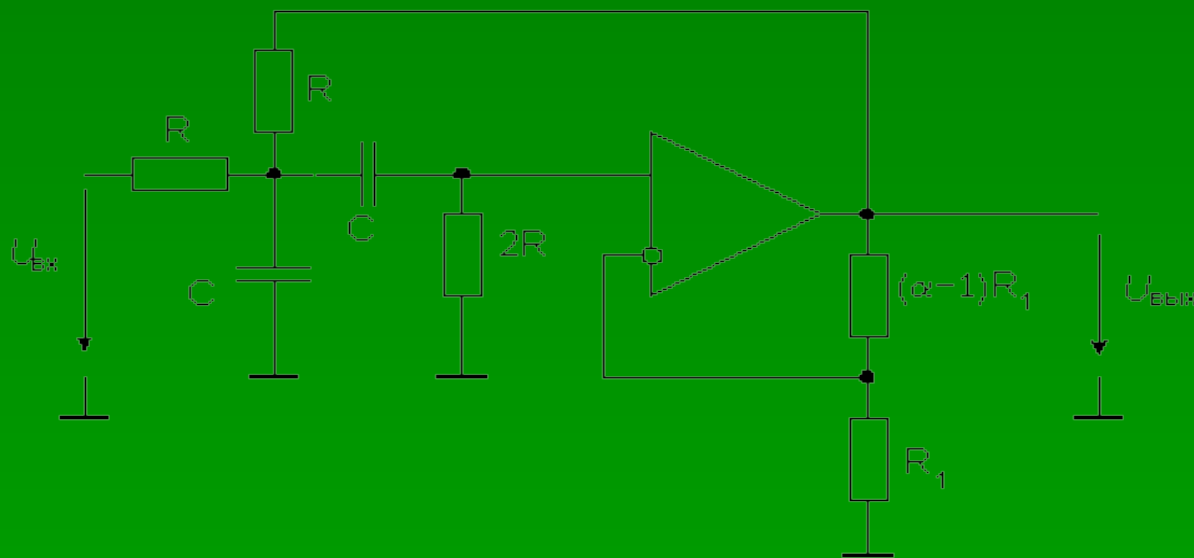
- Назад

# Активный фильтр верхних частот второго порядка



[вернуться\\_назад](#)

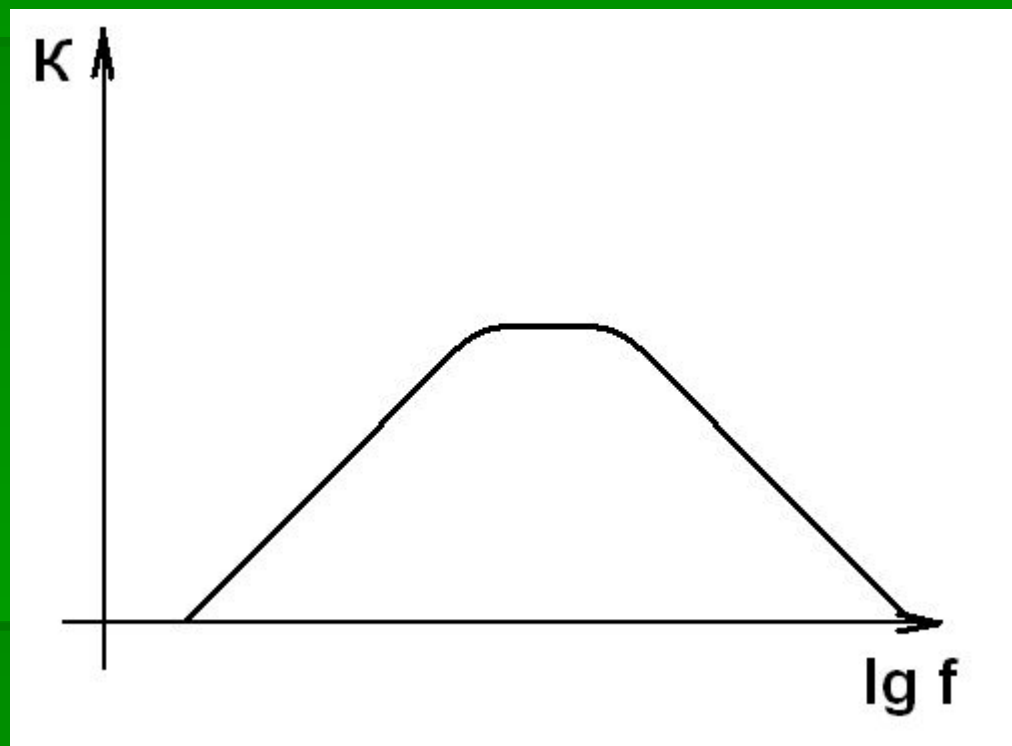
# Схема полосового фильтра второго порядка



- [Назад](#)
- [АЧХ](#)
- [Файлы Electronics Workbench](#)

**Выход**

# АЧХ полосового фильтра второго порядка



- Назад

Electronics Workbench

File Edit Circuit Analysis Window Help

80%

banda2a1.ewb

### Bode Plotter

Magnitude Phase Save

Vertical: Log Lin Horizontal: Log Lin

F 1 0.01 kHz 200 Hz

0.277 200.0Hz

In Out

### Oscilloscope

Expand Ground

Time base: 1.00ms/div

Trigger: Edge Level: 0.00

Y1 B/A A/B Channel A: 5 mV/Div Y position: 0.00

Channel B: 5 mV/Div Y position: 0.00

AC 0 DC

### Active RC Bandpass Filter (R - input)

IN OUT

Function Generator

Frequency: 417 Hz

Duty cycle: 50 %

Amplitude: 10 mV

Offset: 0

Common

### Description

R5 = ∞

C1 = C2 = C 10 nF

$F_o = 1 / (2 * \pi * C * \sqrt{R1 * R3}) = f(R2)$  417 Hz

$B = F2 - F1 = F_o / Q = 1 / (\pi * R3 * C) = f(R3)$  208 Hz

$H_o = -R3 / (2 * R1) = f(R1)$  -1

$H(p) = -p / (R1 * C) / (p^2 + p^2 / (R3 * C) + 1 / (R1 * R3 * C^2))$

$\omega_o = 2 * \pi * F_o$  2620 rad/s

$Q = F_o / B = \sqrt{R3 / R1} / 2$  2.1

$R3 = 2 * Q / (\omega_o * C)$  160 kOhm

$R1 = Q / (C * H_o * \omega_o * C) = R3 / (-2 * H_o)$  80 kOhm

$R12 = 1 / (2 * C * \omega_o * Q) = R1 || R2$  8.89 kOhm

$R2 = R1 * R12 / (R1 - R12) = -H_o * R1 / (2 * Q^2 + H_o)$  10 kOhm

Ready 0.00 ns Temp: 27

Electronics Workbench

File Edit Circuit Analysis Window Help

80%

banda2a1.ewb

### Bode Plotter

Magnitude Phase Save

Vertical: Log Lin Horizontal: Log Lin

F 1 kHz I 0.01 Hz

0.277  
200.0Hz

In Out

### Oscilloscope

Expand Ground

Time base: 1.00ms/div

X position: 0.00

Y1 B/A A/B

Channel A: 5 mV/Div Y position: 0.00

Channel B: 5 mV/Div Y position: 0.00

Trigger: Edge Level: 0.00

Auto A B Ext

AC 0 DC

### Active RC Bandpass Filter (R - input)

Circuit components: R1 (80 k Ohm), R2 (10 k Ohm), R3 (160 k Ohm), R4 (1 Ohm), Rn (1 k Ohm), C1 (10 nF), C2 (10 nF).

### Function Generator

Frequency: 417 Hz

Duty cycle: 50 %

Amplitude: 10 mV

Offset: 0

Common +

### Description

R5 = ∞

C1=C2=C 10 nF

$F_o = 1/(2\pi C \sqrt{R1R3}) = f(R2)$  417 Hz

$B = F2-F1 = F_o/Q = 1/(\pi R3 C) = f(R3)$  208 Hz

$H_o = -R3/(2R1) = f(R1)$  -1

$H(p) = -p/(R1 C)/(p^2 + p^2/(R3 C) + 1/(R1^2 R3 C^2))$

$\omega_o = 2\pi F_o$  2620 rad/s

$Q = F_o/B = \sqrt{R3/R1}/2$  2.1

$R3 = 2^2 Q^2 / (\omega_o^2 C)$  160 k Ohm

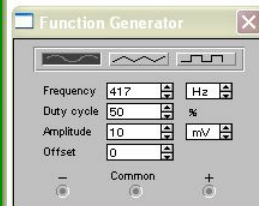
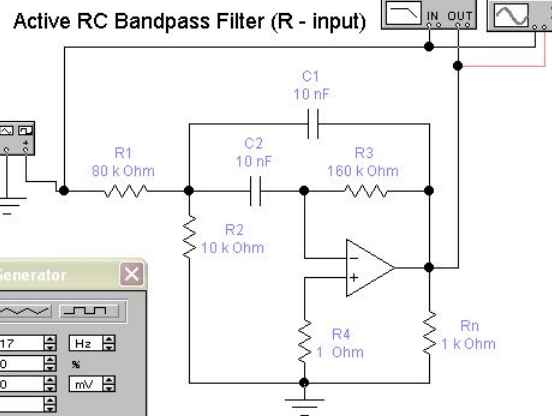
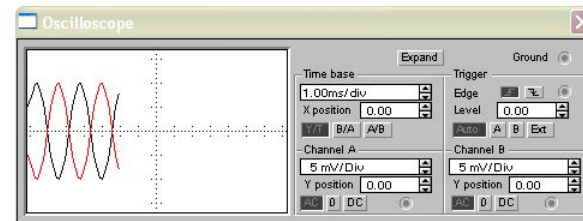
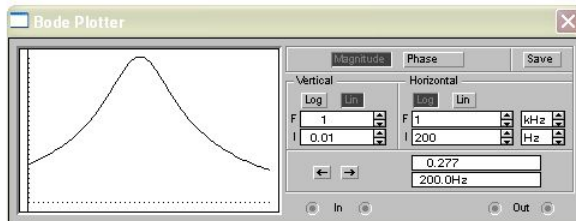
$R1 = Q / (C H_o \omega_o^2) = R3 / (-2 H_o)$  80 k Ohm

$R12 = 1 / (2^2 C^2 \omega_o^2 Q) = R1 \parallel R2$  8.89 k Ohm

$R2 = R1 R12 / (R1 - R12) = -H_o R1 / (2^2 Q^2 + H_o)$  10 k Ohm

Ready 240.16 ms Temp: 27

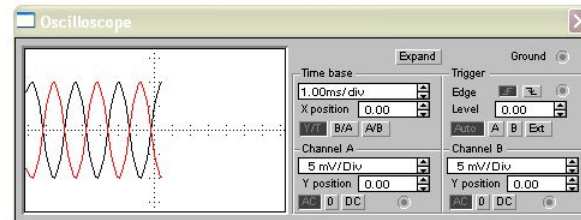
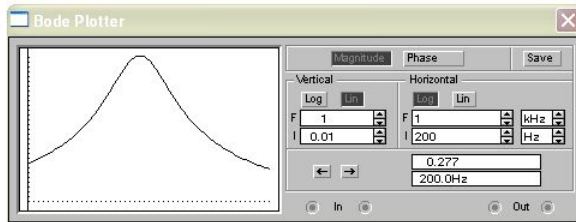
banda2a1.ewb



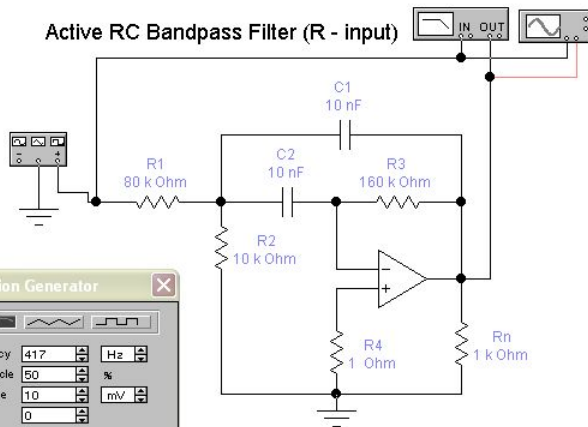
**Description**

R5 = ∞  
 C1 = C2 = C 10 nF  
 $F_o = 1 / (2 * \pi * C * \sqrt{R1 * R3}) = f(R2)$  417 Hz  
 $B = F2 - F1 = F_o / Q = 1 / (\pi * R3 * C) = f(R3)$  208 Hz  
 $H_o = -R3 / (2 * R1) = f(R1)$  -1  
 $H(p) = -p / (R1 * C) / (p^2 + p^2 / (R3 * C) + 1 / (R1 * R3 * C^2))$   
 $\omega_o = 2 * \pi * F_o$  2620 rad/s  
 $Q = F_o / B = \sqrt{R3 / R1} / 2$  2.1  
 $R3 = 2 * Q / (\omega_o * C)$  160 kOhm  
 $R1 = Q / (C * H_o * \omega_o * C) = R3 / (-2 * H_o)$  80 kOhm  
 $R12 = 1 / (2 * C * \omega_o * Q) = R1 || R2$  8.89 kOhm  
 $R2 = R1 * R12 / (R1 - R12) = -H_o * R1 / (2 * Q^2 + H_o)$  10 kOhm

banda2a1.ewb



Active RC Bandpass Filter (R - input)



**Function Generator**

Frequency: 417 Hz  
 Duty cycle: 50 %  
 Amplitude: 10 mV  
 Offset: 0

Common +

**Description**

R5 = ∞  
 C1=C2=C 10 nF  
 $F_o = 1/(2*\pi*C*\sqrt{R12*R3}) = f(R2)$  417 Hz  
 $B = F2-F1 = F_o/Q = 1/(\pi*R3*C) = f(R3)$  208 Hz  
 $H_o = -R3/(2*R1) = f(R1)$  -1  
 $H(p) = -p/(R1*C)/(p^2+p^2/(R3*C)+1/(R12*R3*C^2))$   
 $\omega_o = 2*\pi*F_o$  2620 rad/s  
 $Q = F_o/B = \sqrt{R3/R12}/2$  2.1  
 $R3 = 2*Q / (\omega_o*C)$  160 kOhm  
 $R1 = Q / (C*H_o*\omega_o^2) = R3/(-2*H_o)$  80 kOhm  
 $R12 = 1/(2*C*\omega_o*Q) = R1||R2$  8.89 kOhm  
 $R2 = R1*R12/(R1-R12) = -H_o*R1/(2*Q^2+H_o)$  10 kOhm



Electronics Workbench

File Edit Circuit Analysis Window Help

80%

banda2a1.ewb

### Bode Plotter

Magnitude Phase Save

Vertical: Log Lin Horizontal: Log Lin

F 1 kHz I 0.01 Hz

0.277  
200.0Hz

In Out

### Oscilloscope

Expand Ground

Time base: 1.00ms/div X position: 0.00

Y1 B/A A/B Y2 B/A A/B

Channel A: 5 mV/Div Y position: 0.00

Channel B: 5 mV/Div Y position: 0.00

AC 0 DC Trigger: Edge Level: 0.00

Auto A B Ext Channel A: AC 0 DC Channel B: AC 0 DC

### Active RC Bandpass Filter (R - input)

Circuit components: R1 (80 k Ohm), R2 (10 k Ohm), R3 (160 k Ohm), R4 (1 Ohm), Rn (1 k Ohm), C1 (10 nF), C2 (10 nF).

### Function Generator

Frequency: 417 Hz Duty cycle: 50% Amplitude: 10 mV Offset: 0

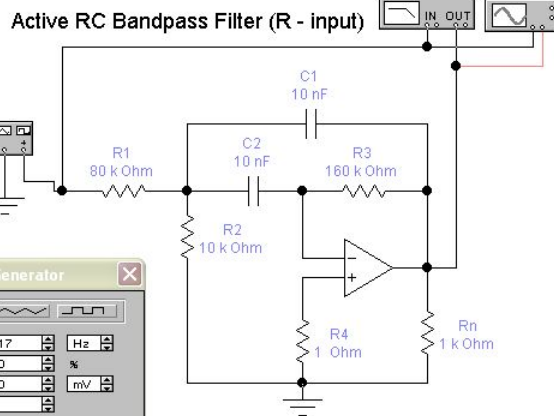
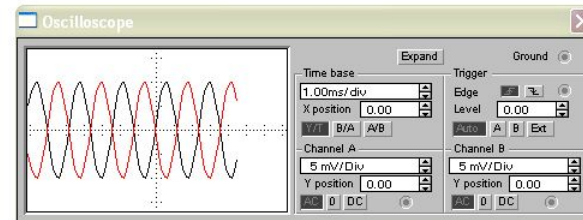
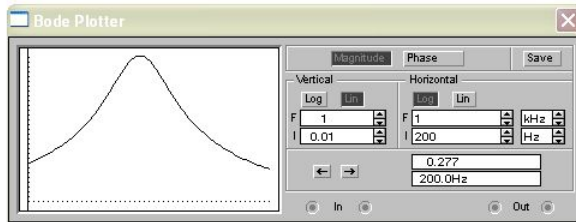
Common +

### Description

R5 = ∞  
 C1=C2=C 10 nF  
 $F_o = 1/(2\pi C \sqrt{R1R2R3}) = f(R2)$  417 Hz  
 $B = F2-F1 = F_o/Q = 1/(\pi R3^2 C) = f(R3)$  208 Hz  
 $H_o = -R3/(2R1) = f(R1)$  -1  
 $H(p) = -p/(R1^2 C)/(p^2 + p^2/(R3^2 C) + 1/(R1^2 R3^2 C^2))$   
 $\omega_o = 2\pi F_o$  2620 rad/s  
 $Q = F_o/B = \sqrt{R3/R1^2}/2$  2.1  
 $R3 = 2^2 Q / (\omega_o^2 C)$  160 k Ohm  
 $R1 = Q / (C H_o^2 \omega_o^2) = R3 / (-2 H_o)$  80 k Ohm  
 $R12 = 1 / (2^2 C^2 \omega_o^2 Q) = R1 \parallel R2$  8.89 k Ohm  
 $R2 = R1 R12 / (R1 - R12) = -H_o R1 / (2^2 Q^2 + H_o)$  10 k Ohm

Ready 0.00 ns Temp: 27

banda2a1.ewb



**Function Generator**

Frequency: 417 Hz  
 Duty cycle: 50 %  
 Amplitude: 10 mV  
 Offset: 0

Common +

**Description**

R5 = ∞  
 C1=C2=C 10 nF  
 $F_o = 1/(2*\pi*C*\sqrt{R12*R3}) = f(R2)$  417 Hz  
 $B = F2-F1 = F_o/Q = 1/(\pi*R3*C) = f(R3)$  208 Hz  
 $H_o = -R3/(2*R1) = f(R1)$  -1  
 $H(p) = -p/(R1*C)/(p^2+p^2/(R3*C)+1/(R12*R3*C^2))$   
 $\omega_o = 2*\pi*F_o$  2620 rad/s  
 $Q = F_o/B = \sqrt{R3/R12}/2$  2.1  
 $R3 = 2*Q / (\omega_o*C)$  160 kOhm  
 $R1 = Q / (C*H_o*\omega_o) = R3/(-2*H_o)$  80 kOhm  
 $R12 = 1/(2*C*\omega_o*Q) = R1||R2$  8.89 kOhm  
 $R2 = R1*R12/(R1-R12) = -H_o*R1/(2*Q^2+H_o)$  10 kOhm

Electronics Workbench

File Edit Circuit Analysis Window Help

80%

banda2a1.ewb

### Bode Plotter

Magnitude Phase Save

Vertical: Log Lin Horizontal: Log Lin

F 1 kHz I 0.01 Hz

0.277 200.0Hz

In Out

### Oscilloscope

Expand Ground

Time base: 1.00ms/div X position: 0.00

Y1 B/A A/B Y2 B/A A/B

Channel A: 5 mV/Div Y position: 0.00

Channel B: 5 mV/Div Y position: 0.00

AC 0 DC Trigger: Edge Level: 0.00

Auto A B Ext

AC 0 DC

### Active RC Bandpass Filter (R - input)

R1 80 k Ohm C1 10 nF R3 160 k Ohm

C2 10 nF R2 10 k Ohm R4 1 Ohm Rn 1 k Ohm

### Function Generator

Frequency: 417 Hz

Duty cycle: 50 %

Amplitude: 10 mV

Offset: 0

Common +

### Description

R5 = ∞

C1 = C2 = C 10 nF

$F_o = 1 / (2 * \pi * C * \sqrt{R1 * R3}) = f(R2)$  417 Hz

$B = F2 - F1 = F_o / Q = 1 / (\pi * R3 * C) = f(R3)$  208 Hz

$H_o = -R3 / (2 * R1) = f(R1)$  -1

$H(p) = -p / (R1 * C) / (p^2 + p^2 / (R3 * C) + 1 / (R1 * R3 * C^2))$

$\omega_o = 2 * \pi * F_o$  2620 rad/s

$Q = F_o / B = \sqrt{R3 / R1} / 2$  2.1

$R3 = 2 * Q / (\omega_o * C)$  160 k Ohm

$R1 = Q / (C * \omega_o * Q) = R3 / (-2 * H_o)$  80 k Ohm

$R12 = 1 / (2 * C * \omega_o * Q) = R1 || R2$  8.89 k Ohm

$R2 = R1 * R12 / (R1 - R12) = -H_o * R1 / (2 * Q^2 + 2 * H_o)$  10 k Ohm

Ready 98.37 s Temp: 27

[вернуться назад](#)

[Далее](#)

# Активный полосовой фильтр (с R-входом)

Electronics Workbench

File Edit Circuit Analysis Window Help

banda1.ewb

Description

$R12 = R1 \parallel R2$   
 $\omega_0 = 1/\sqrt{R12 \cdot R3 \cdot C1 \cdot C2}$   
 $F_0 = \omega_0 / 6.2832$   
 $Q = \sqrt{C1 \cdot C2 \cdot R3 / R12} / (1 + C1/C2 \cdot R3 \cdot R4 / R12 / R5)$   
 $dF = F_0 / Q$   
 $H_0 = -R2 / (R1 + R2) \cdot Q \cdot (1 + R4/R5) \cdot \sqrt{R3 / R12 \cdot C2 / C1}$   
 $H(\omega) = H_0 \cdot Q \cdot \omega \cdot W / \omega_0 \cdot \sqrt{1 + (W/\omega_0)^2 \cdot (1/Q^2 - 2) + (W/\omega_0)^4}$   
Given:  $R1 = R2 = R3 = R4 = R5 = 10 \text{ k}\Omega$ ;  $C1 = C2 = 10 \text{ nF}$   
Find:  $F_0 = 2250 \text{ Hz}$ ;  $dF = 1590 \text{ Hz}$ ;  $Q = 1.41$ ;  $H_0 = -1.5$

Bode Plotter

Magnitude Phase Save

Vertical: Log Lin Horizontal: Log Lin

F 1 0.01 20 MHz Hz

0.00943 20.00Hz

In Out

Active RC Bandpass Filter (R - input)  
Активный полосовой фильтр (с R-входом)

0.2 V/2250 Hz/0 Deg

C1 10 nF

C2 10 nF

R1 10 k Ohm

R2 10 k Ohm

R3 10 k Ohm

R4 10 k Ohm

R5 20 k Ohm

Rn 10 k Ohm

Oscilloscope

Time base: 0.20ms/div

X position: 0.00

Y position: 0.00

Channel A: 200 mV/Div

Channel B: 200 mV/Div

Trigger: Edge Level: 0.00

Auto A B Ext

DC DC

Ready 432.17 ms Temp: 27

# Активный полосовой фильтр (с C-входом)

Electronics Workbench

File Edit Circuit Analysis Window Help

BANDA3.LWB

Active RC Bandpass Filter (C - input)  
Активный полосовой фильтр (с C-входом)

0.2 V/1125 Hz/0 Deg

C1 10 nF

R1 10 k Ohm

R2 10 k Ohm

C2 10 nF

R3 10 k Ohm

R4 20 k Ohm

C3 10 nF

27V

IN OUT

Bode Plotter

Magnitude Phase Save

Vertical: Log Lin Horizontal: Log Lin

F: 1 0 F: 10 100 kHz Hz

0.0948

100.0Hz

Oscilloscope

Expand Ground

Time base: 0.20ms/div

Trigger: Edge Level: 0.00

Channel A: 200 mV/Div Y position: 0.00

Channel B: 200 mV/Div Y position: 0.00

Description

$C12 = C1 + C2$   
 $\omega_0 = 1/\sqrt{C12 \cdot R1 \cdot R2 \cdot C3}$   
 $F_0 = \omega_0 / 6.2832$   
 $Q = \sqrt{C12 \cdot C3 \cdot R2 / R1} / (1 + R2 / R1 - C12 \cdot R3 \cdot C3 / R4)$   
 $dF = F_0 / Q$   
 $H_0 = -C1 / C12 \cdot Q \cdot (1 + R3 / R4) \cdot \sqrt{C12 \cdot C3 \cdot R1 / R2}$   
 $H(W) = H_0 \cdot Q \cdot W / \omega_0 \cdot \sqrt{1 + (W / \omega_0)^2} \cdot (1 / Q^2 - 2) + (W / \omega_0)^4$   
 $F_i(W) = \text{atan2}(Q \cdot (W_0 \cdot W - W / W_0), W)$   
 Given:  $R1 = R2 = R3 = R4 / 2 = 10 \text{ k Ohm}$ ;  $C1 = C2 = C3 = 10 \text{ nF}$   
 Find:  $F_0 = 1125 \text{ Hz}$ ;  $dF = 800 \text{ Hz}$ ;  $Q = 1.41$ ;  $H_0 = -1.5$

Ready 730.10 ms Temp: 27

# Полосовой фильтр с ПОС (Саллена и Кей)

Electronics Workbench

File Edit Circuit Analysis Window Help

BANDA4.LWB

Active RC Bandpass Filter (Sallen & Key)  
Полосовой фильтр с ПОС (Саллен и Кей)

IN OUT

10 mV/1590 Hz/0 Deg

R1 10 k Ohm

C2 10 nF

R2 10 k Ohm

C1 10 nF

R5 20 k Ohm

R4 10 k Ohm

R3 20 k Ohm

Rn 1 M Ohm

Bode Plotter

Magnitude Phase Save

Vertical Horizontal

Log Lin Log Lin

F 1 F 100 kHz

I 0.1 I 100 Hz

0.0942

100.0Hz

Oscilloscope

Expand Ground

Time base 0.50ms/div

X position 0.00

Y1 B/A AVB

Y position 1.40

Channel A 10 mV/Div

Channel B 10 mV/Div

Y position -1.40

Description

$H(p) = k \cdot R^* C^* p / (1 + R^* C^* (3-k) + (R^* C^* p)^2)$

$R1 = R2 = R5/2 = R = 10 \text{ kOhm}$

$R3 = 20 \text{ kOhm}$

$C1 = C2 = C = 10 \text{ nF}$

$k(1 < k < 3) = 1.5$

$R4 = (k-1) \cdot R3 = 10 \text{ kOhm}$

$\omega_0 = 1/(R^* C) = 10 \text{ kHz}$

$F_0 = \omega_0 / 6.2832 = 1592 \text{ Hz}$

$Q = 1/(3-k) = 0.67$

$dF = F_0 / Q = 2380 \text{ Hz}$

$H_0 = k / (3-k) = 1$

Ready 470.08 ms Temp: 27

# Высокодобротный фильтр

Electronics Workbench

File Edit Circuit Analysis Window Help

banda7.ewb

**Bode Plotter**

Magnitude Phase Save

Vertical: Log Lin Horizontal: Log Lin

F: 1 kHz I: 0 dB

F: 10 kHz I: 100 Hz

0.00155

100.0Hz

In Out

**Oscilloscope**

Expand Ground

Time base: 0.10ms/div X position: 0.00

Trigger: Edge Level: 0.00

Channel A: 200mV/div Y position: 0.00

Channel B: 200mV/div Y position: 0.00

AC 0

Active Filter with High Q-factor  
Высокодобротный фильтр

R1 2.7 k Ohm

R2 2.7 k Ohm

R3 2.7 k Ohm

R4 2.7 k Ohm

R5 160 k Ohm

C1 27 nF

C2 27 nF

A1

A2

0.1 V/2.155 kHz/0 Deg

**Description**

$W_0 = \sqrt{R_2 / (R_1 * R_3 * R_4 * C_1 * C_2)}$   $F_0 = W_0 / 6.2832$

$Q = R_5 * C_2 * W_0$   $dF = F_0 / Q$   $H_0 = R_2 / R_4 + 1$

$H(W) = H_0 / Q * W / W_0 / \sqrt{1 + (W / W_0)^2 * (1 / Q^2 - 2) + (W / W_0)^4}$

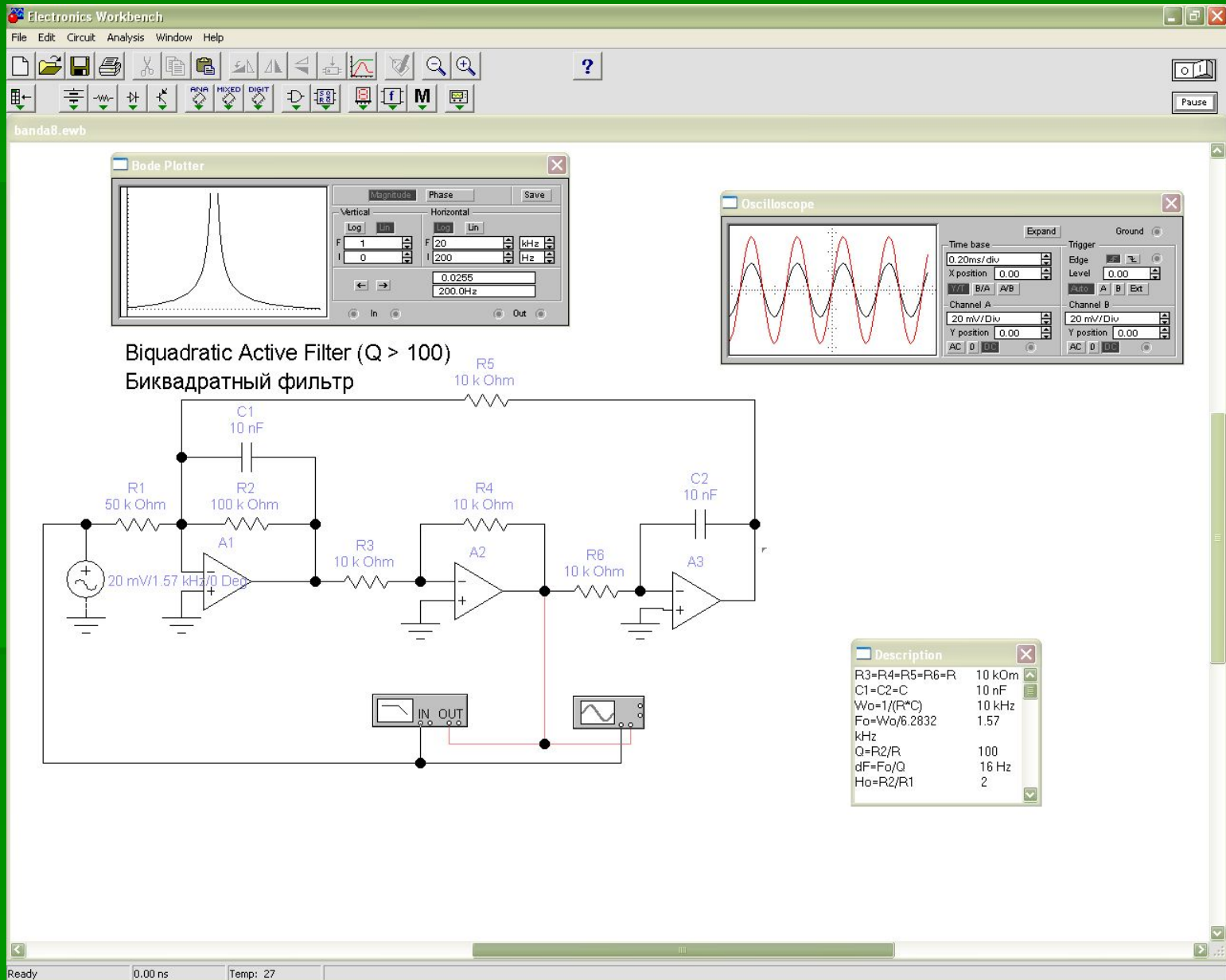
$F_i(W) = \text{atan2}(Q * (W_0 / W - W / W_0), W)$

Given:  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 2.7 \text{ kOhm}$ ;  $R_5 = 160 \text{ kOhm}$ ;  $C_1 = C_2 = 27 \text{ nF}$

Find:  $Q = 60$ ;  $F_0 = 2200 \text{ Hz}$ ;  $dF = 37 \text{ Hz}$ ;  $H_0 = 2$



# Биквадратный фильтр





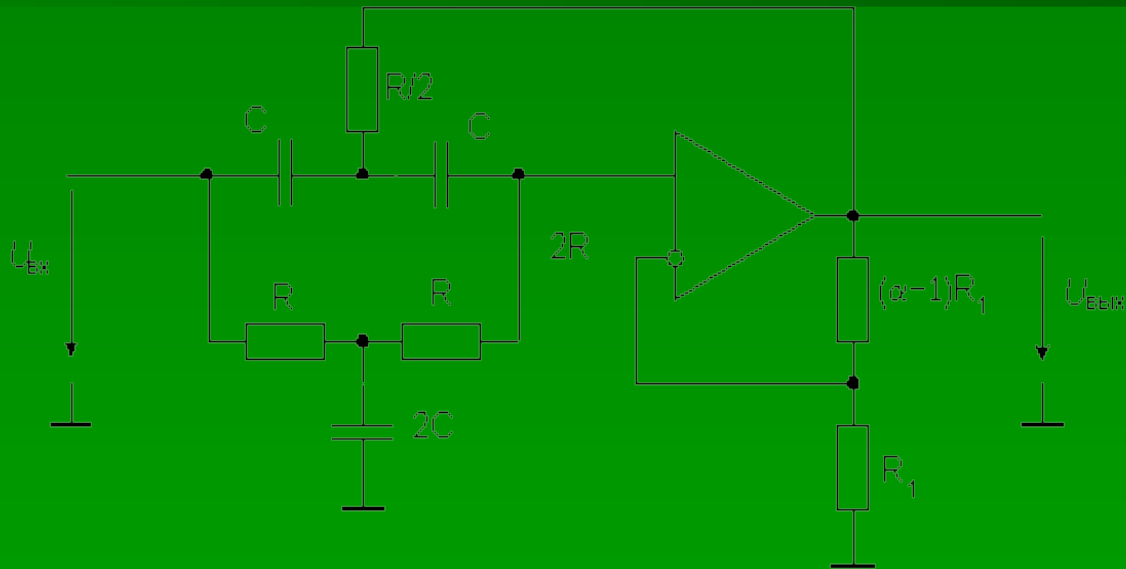
# Избирательный усилитель с 2Т-мостом

The screenshot displays the Electronics Workbench interface with the following components and settings:

- Function Generator:** Frequency: 157 Hz, Duty cycle: 50%, Amplitude: 10 mV, Offset: 0.
- Bode Plotter:** Magnitude plot showing a resonance peak. Vertical axis: Log, Horizontal axis: Log. Frequency range: 10 Hz to 1 MHz. A zoomed-in view shows a peak at 4.000 MHz.
- Oscilloscope:** Two channels showing waveforms. Channel A: 50 mV/Div, 5.00ms/div. Channel B: 20 V/Div, 2.00ms/div. Trigger: Edge, Level: 0.00.
- Circuit Diagram:** A bandpass filter with a 2T-bridge. Components include a 1 k Ohm resistor, a 1 uF capacitor, a 500 Ohm resistor, a 2 uFuF capacitor, and a 1 k Ohm resistor. The bridge is connected to an op-amp. A potentiometer is labeled [1] 1 k Ohm / 50%.
- Description:**  $F0 = 1 / (2 * \pi * R * C)$

[вернуться назад](#)

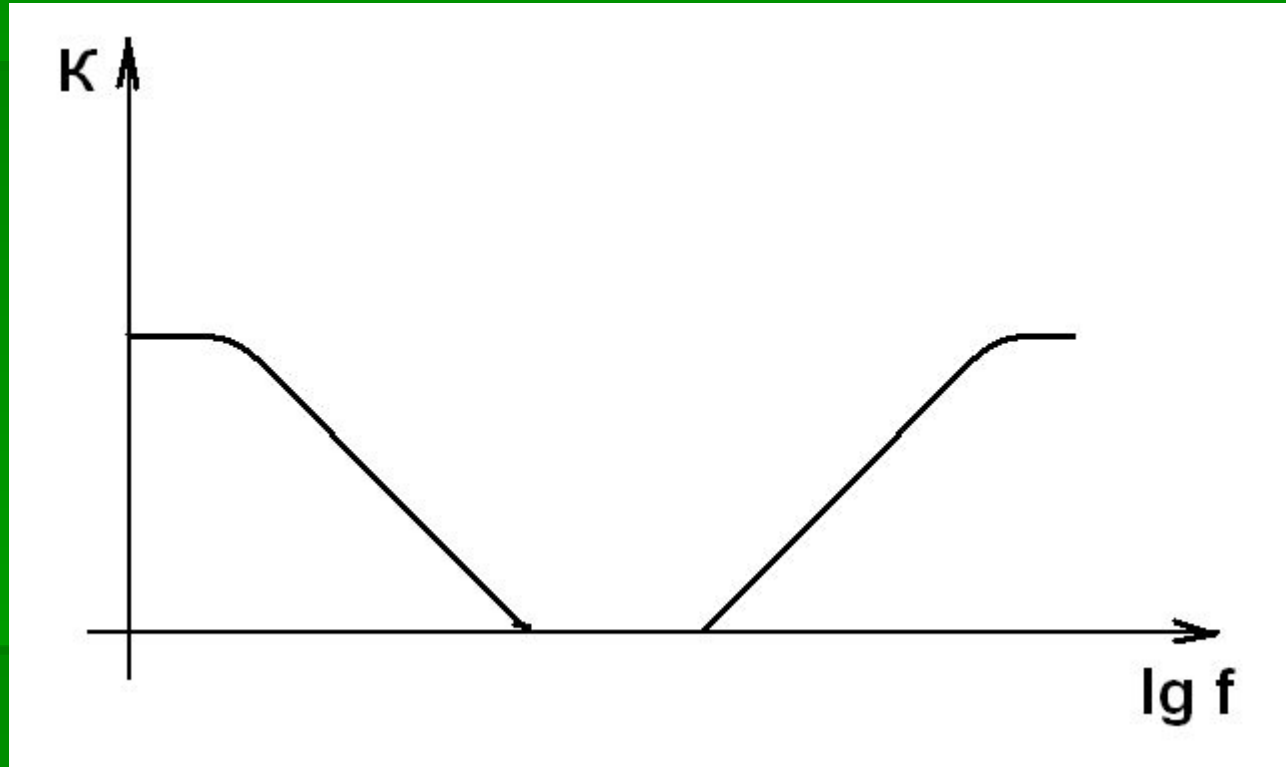
# Активный заграждающий фильтр с двойным Т-образным мостом



- Назад
- [АЧХ](#)

Выход

# АЧХ заграждающего фильтра



- Назад

## Список использованной литературы

- *Г.Н.Горбачёв, Е.Е.Чаплыгин.* Промышленная электроника: учебник для вузов/ Под ред. *В.А. Лабунцова.* – М.: «Энергоатомиздат», 1988.
- *В.Г.Гусев, Ю.М.Гусев.* Электроника: учебное пособие для вузов. – М.: «Высшая школа», 1982.
- *Ю.Ф.Опадчий, О.П.Глудкин, А.И.Гуров.* Аналоговая и цифровая электроника: учебник для вузов/ Под ред. *О.П.Глудкина.* – М.: «Горячая линия -- Телеком», 2005.
- Файлы Electronics Workbench.

[Назад](#)

[Выход](#)