

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:

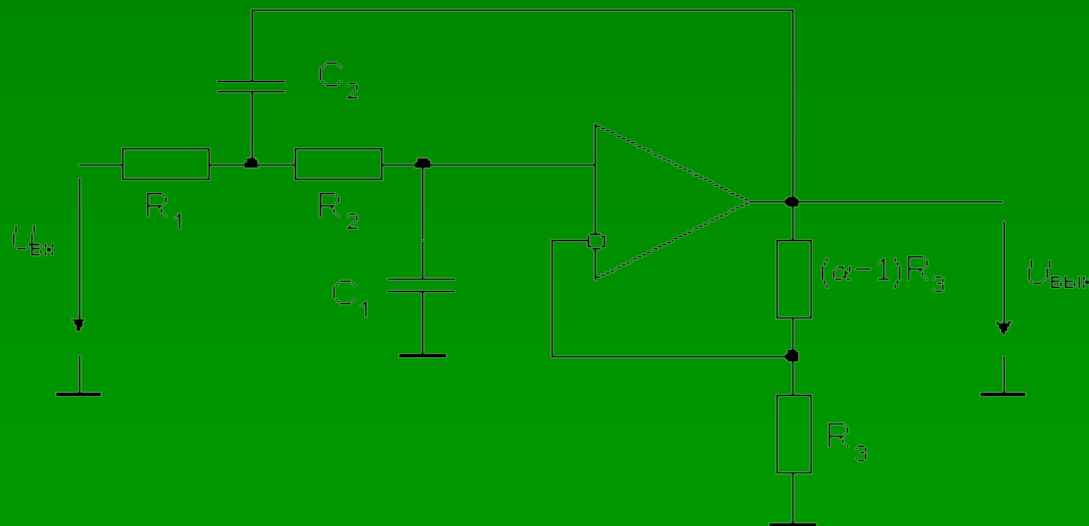
- невозможность использования в силовых цепях, например в качестве фильтров выпрямителей;
- необходимость источника, предназначенного для питания усилителя;
- ограниченный частотный диапазон, определяемый собственными частотными свойствами используемых усилителей.

Классификация

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

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

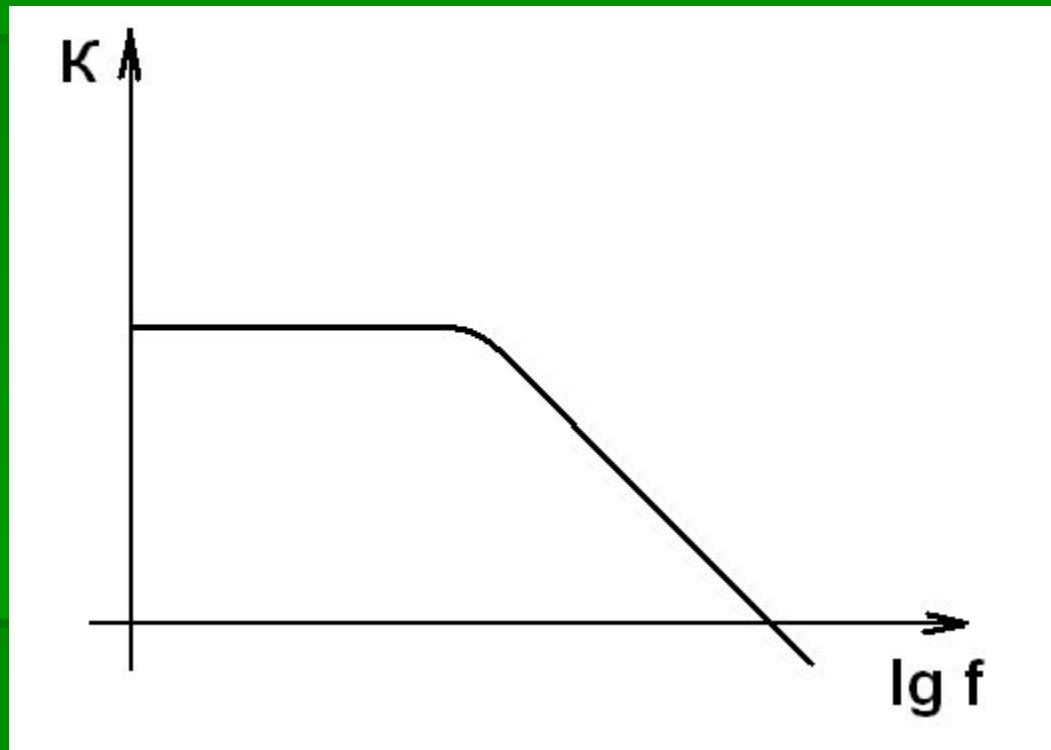
Активный фильтр нижних частот второго порядка



- Назад
- [АЧХ](#)

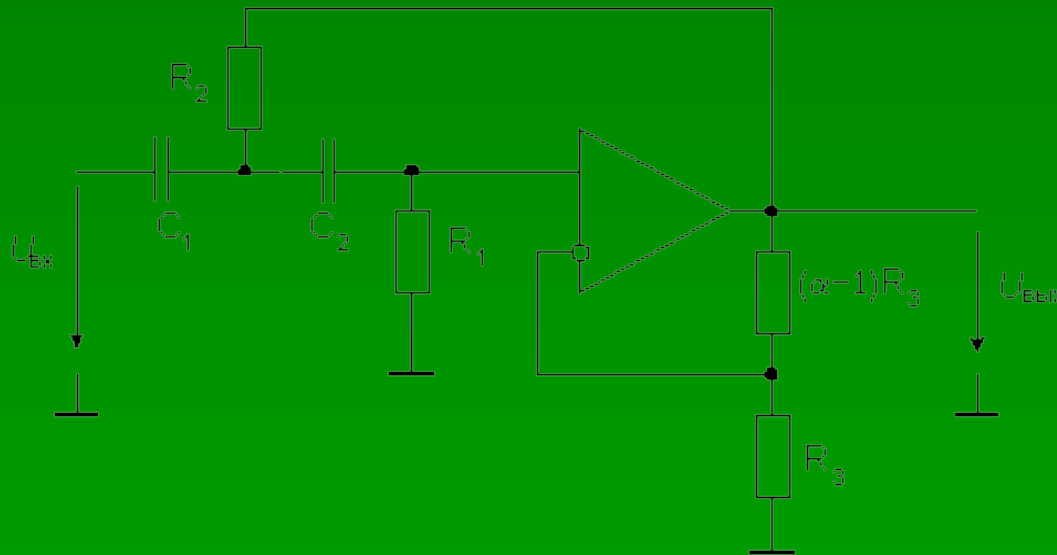
Выход

АЧХ фильтра нижних частот



- Назад

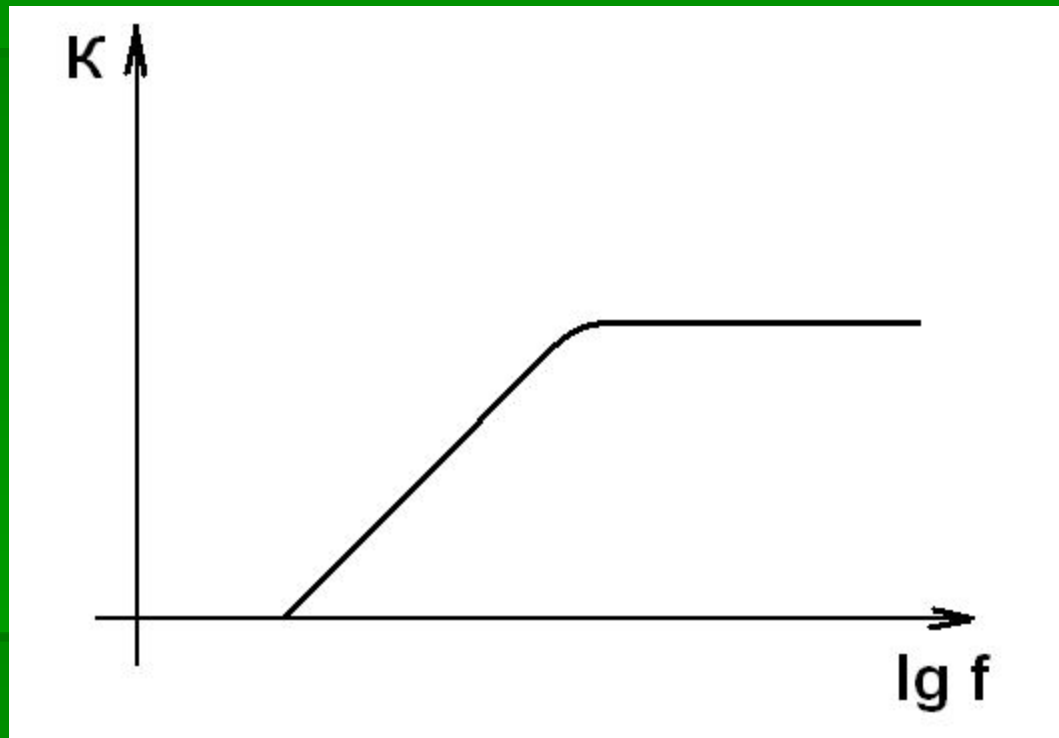
Активный фильтр верхних частот второго порядка



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

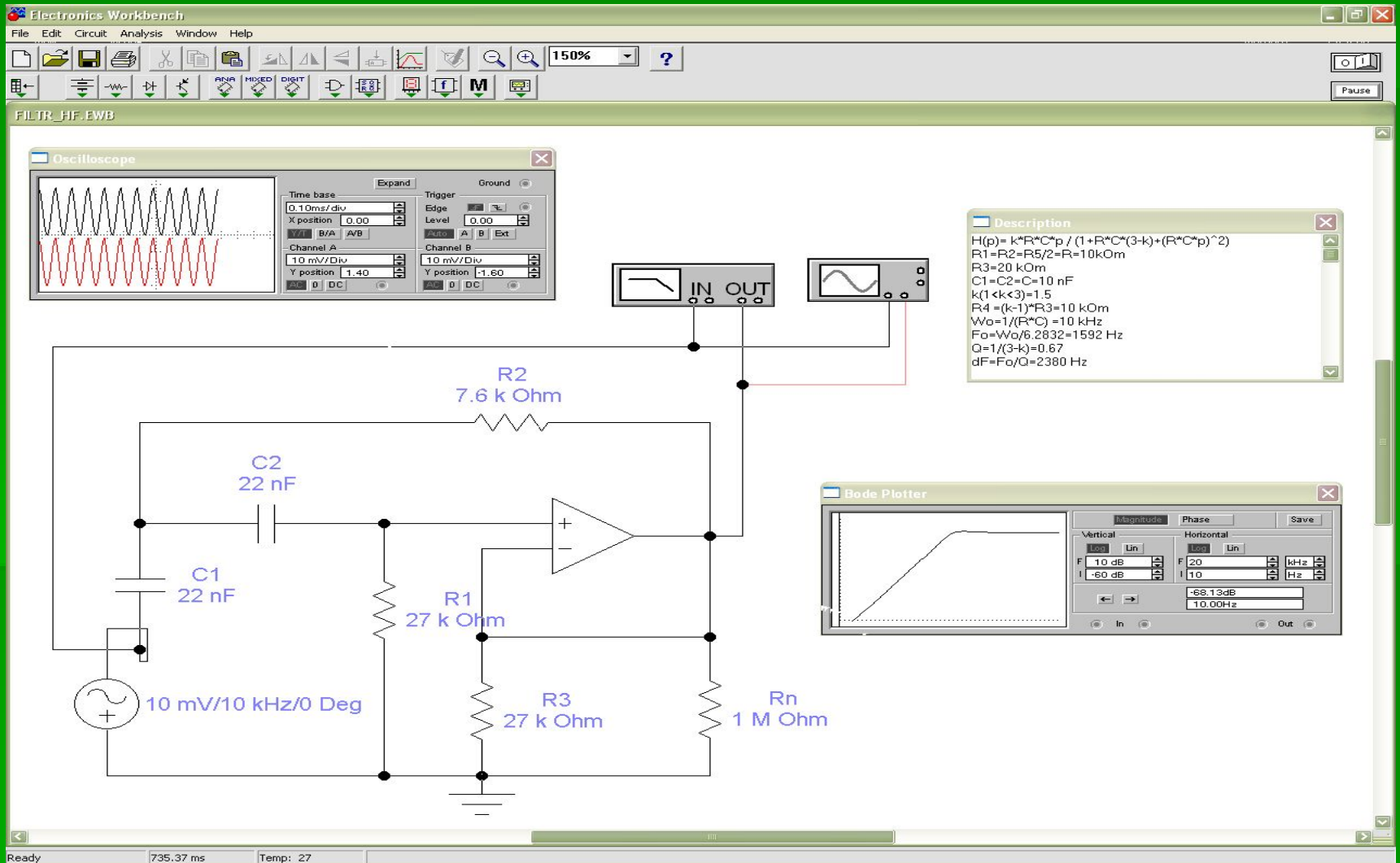
Выход

АЧХ фильтра верхних частот



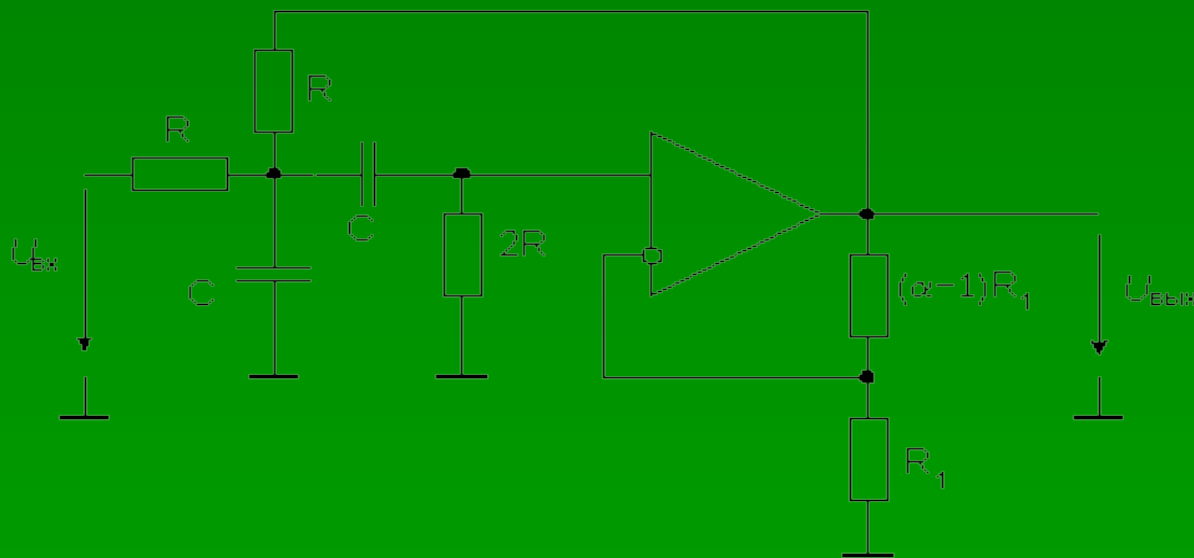
- Назад

Активный фильтр верхних частот второго порядка



[вернуться_назад](#)

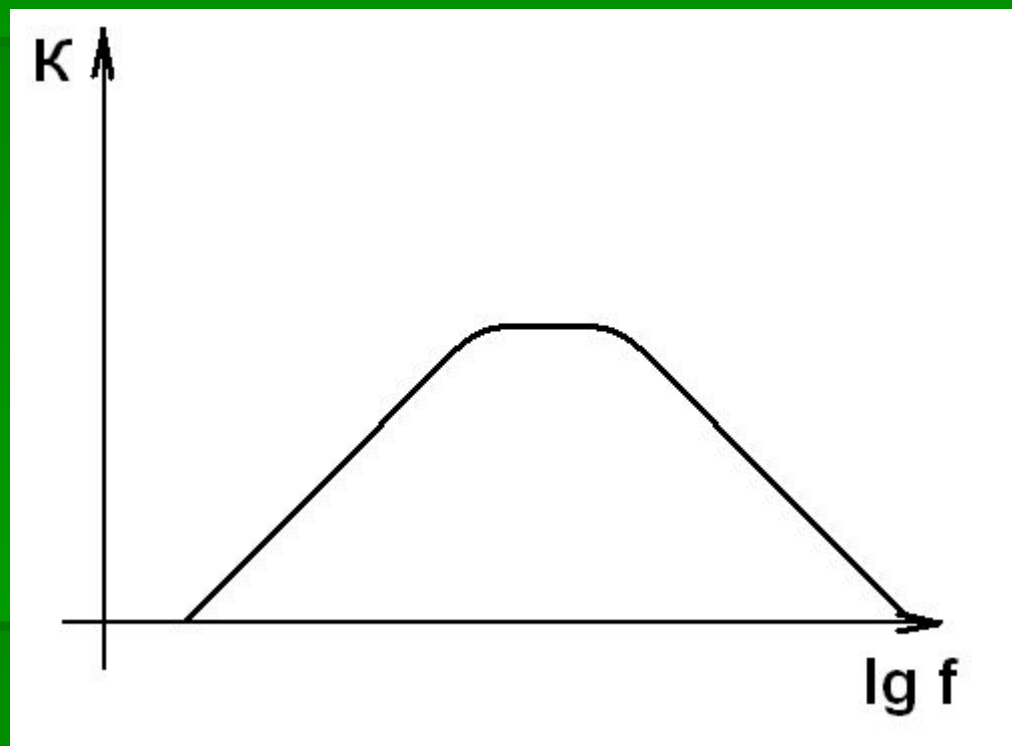
Схема полосового фильтра второго порядка



- [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 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 AC 0 DC

Trigger: Edge Level: 0.00 Auto A B Ext
Channel B: 5 mV/Div Y position: 0.00 AC 0 DC

Active RC Bandpass Filter (R - input)

IN OUT

R1 80 k Ohm
C1 10 nF
C2 10 nF
R3 160 k Ohm
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
 $R1 = Q / (C * H_o * \omega_o * C) = R3 / (-2 * H_o)$ 80 k Ohm
 $R12 = 1 / (2 * C * \omega_o * Q) = R1 || R2$ 8.89 k Ohm
 $R2 = R1 * R12 / (R1 - R12) = -H_o * R1 / (2 * Q^2 + H_o)$ 10 k Ohm

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

F 1 kHz I 200 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)

R1 80 k Ohm

C1 10 nF

C2 10 nF

R2 10 k Ohm

R3 160 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

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

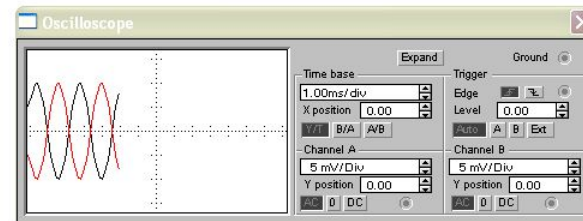
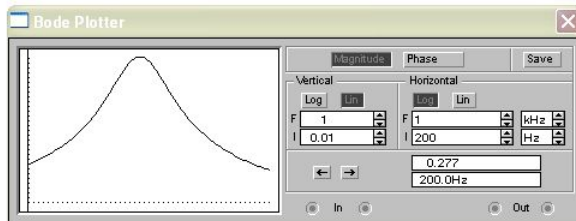
$R1 = Q / (C H_o \omega_o^2) = R3 / (-2 H_o)$ 80 k Ohm

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

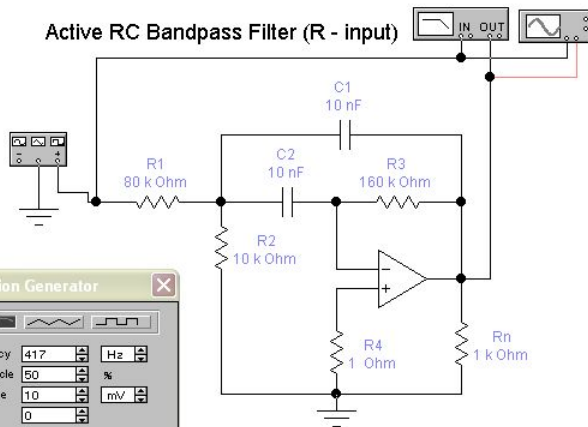
$R2 = R1 R12 / (R1 - R12) = -H_o R1 / (2^2 Q^2 + H_o)$ 10 k Ohm

Ready 240.16 ms Temp: 27

banda2a1.ewb



Active RC Bandpass Filter (R - input)



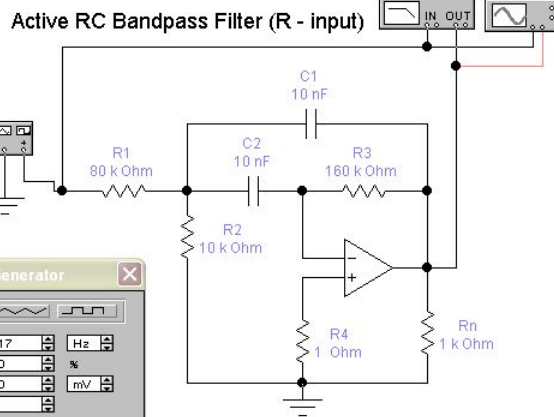
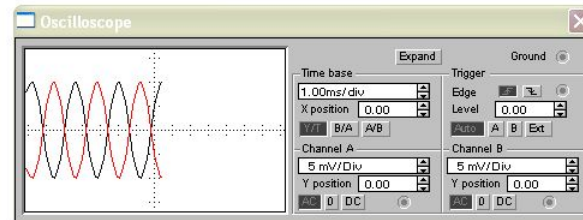
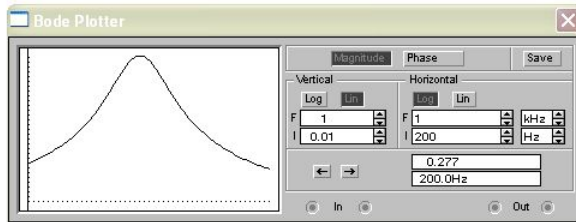
Function Generator

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

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
 $H(p) = -p/(R1C)/(p^2 + p^2/(R3^2 C) + 1/(R1^2 R3^2 C^2))$
 $\omega_o = 2\pi F_o$ 2620 rad/s
 $Q = F_o/B = \sqrt{R3/R1^2}/2$ 2.1
 $R3 = 2^2 Q^2 / (\omega_o^2 C)$ 160 kOhm
 $R1 = Q / (C \omega_o^2) = R3 / (-2^2 H_o)$ 80 kOhm
 $R12 = 1 / (2^2 C \omega_o^2 Q) = R1 \parallel R2$ 8.89 kOhm
 $R2 = R1 R12 / (R1 - R12) = -H_o R1 / (2^2 Q^2 + H_o)$ 10 kOhm

banda2a1.ewb



Function Generator

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

Common +

Description

R5 = ∞
 C1=C2=C 10 nF
 $F_o = 1/(2\pi C \sqrt{R1R3}) = f(R2)$ 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

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

$F_o = 1/(2\pi C \sqrt{R_1 R_2 R_3}) = f(R_2)$ 417 Hz

$B = F_2 - F_1 = F_o / Q = 1/(\pi R_3 C) = f(R_3)$ 208 Hz

$H_o = -R_3 / (2 R_1) = f(R_1)$ -1

$H(p) = -p / (R_1 C) / (p^2 + p^2 / (R_3 C) + 1 / (R_1^2 R_3 C^2))$

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

$Q = F_o / B = \sqrt{R_3 / R_1} / 2$ 2.1

$R_3 = 2^2 Q^2 / (\omega_o^2 C)$ 160 k Ohm

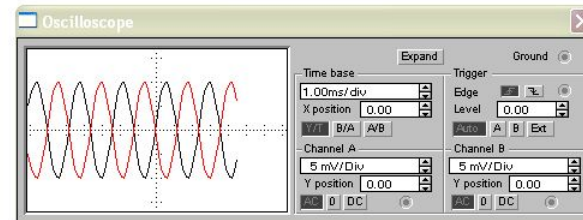
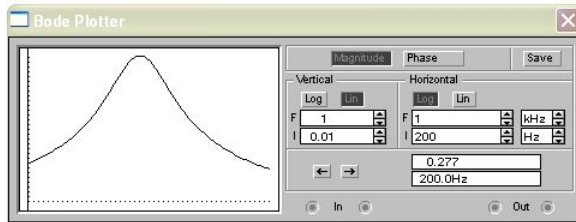
$R_1 = Q / (C H_o \omega_o^2) = R_3 / (-2 H_o)$ 80 k Ohm

$R_2 = 1 / (2^2 C \omega_o^2 Q) = R_1 \parallel R_2$ 8.89 k Ohm

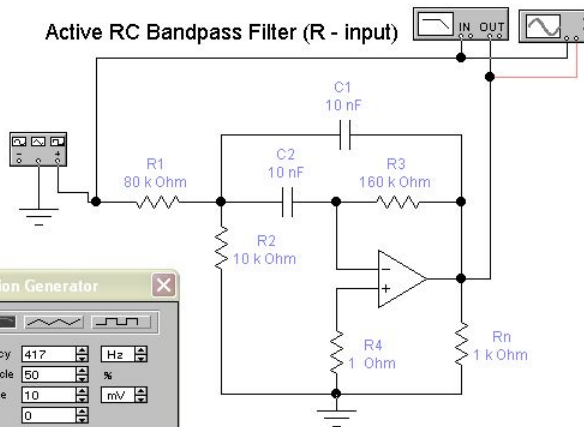
$R_2 = R_1 R_2 / (R_1 - R_2) = -H_o R_1 / (2^2 Q^2 + H_o)$ 10 k Ohm

Ready 0.00 ns Temp: 27

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

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)

R1 80 k Ohm

C1 10 nF

C2 10 nF

R3 160 k Ohm

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

$F_o = 1/(2\pi C \sqrt{R_1 R_2 R_3}) = f(R_2)$ 417 Hz

$B = F_2 - F_1 = F_o / Q = 1/(\pi R_3 C) = f(R_3)$ 208 Hz

$H_o = -R_3 / (2 R_1) = f(R_1)$ -1

$H(p) = -p / (R_1 C) / (p^2 + p^2 / (R_3 C) + 1 / (R_1 R_2 R_3 C^2))$

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

$Q = F_o / B = \sqrt{R_3 / R_1} / 2$ 2.1

$R_3 = 2 Q / (\omega_o C)$ 160 k Ohm

$R_1 = Q / (C H_o \omega_o) = R_3 / (-2 H_o)$ 80 k Ohm

$R_2 = 1 / (2 C \omega_o Q) = R_1 \parallel R_2$ 8.89 k Ohm

$R_2 = R_1 R_2 / (R_1 - R_2) = -H_o R_1 / (2 Q^2 + H_o)$ 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

$$R12 = R1 \parallel R2$$

$$\omega_0 = 1 / \sqrt{R12 * R3 * C1 * C2}$$

$$f_0 = \omega_0 / 6.2832$$

$$Q = \sqrt{C1 * C2 * R3 / R12} / (1 + C1 / C2 * R3 * R4 / R12 / R5)$$

$$dF = f_0 / Q$$

$$H_0 = -R2 / (R1 + R2) * Q * (1 + R4 / R5) * \sqrt{R3 / R12 * C2 / C1}$$

$$H(\omega) = H_0 / Q * \omega / \omega_0 / \sqrt{1 + (\omega / \omega_0)^2 * (1/Q^2 - 2) + (\omega / \omega_0)^4}$$

Given: R1=R2=R3=R4=R5=10kOhm; C1=C2=10nF
 Find: f0= 2250 Hz; dF= 1590 Hz; Q= 1.41; H0= -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)

Oscilloscope

Expand Ground

Time base: 0.20ms/div

Trigger: Edge Level 0.00

Channel A: 200 mV/Div

Channel B: 200 mV/Div

0 DC 0 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
 $W_o=1/\sqrt{C1^2 \cdot R1 \cdot R2 \cdot C3}$
 $F_o=W_o/6.2832$
 $Q=\sqrt{C12 \cdot C3 \cdot R2 / R1} / (1 + R2 / R1 - C12 \cdot R3 / C3 / R4)$
 $dF=F_o/Q$
 $H_o=-C1/C12 \cdot Q \cdot (1 + R3/R4) \cdot \sqrt{C12/C3 \cdot R1/R2}$
 $H(W)=-H_o/Q \cdot W/W_o / \sqrt{1 + (W/W_o)^2 \cdot (1/Q^2 - 2) + (W/W_o)^4}$
 $Fi(W)=\text{atan2}(Q \cdot (W_o \cdot W - W/W_o), W)$
 Given: R1=R2=R3=R4/2=10kOhm; C1=C2=C3=10nF
 Find: Fo= 1125 Hz; dF= 800 Hz; Q= 1.41; Ho= -1.5

Ready 730.10 ms Temp: 27

Полосовой фильтр с ПОС (Саллена и Кея)

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

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 Trigger Edge

X position 0.00 Level 0.00

Y1 B/A AVB

Auto A B Ext

Channel A 10 mV/Div Channel B 10 mV/Div

Y position 1.40 Y position -1.40

0 DC 0 DC

Description

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

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

$R3 = 20 \text{ kOhm}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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 F: 10 kHz

I: 0 I: 100 Hz

0.00155

100.0Hz

In Out

Oscilloscope

Expand Ground

Time base: 0.10ms/div

Trigger: Edge Level: 0.00

X position: 0.00

Channel A: 200 mV/Div Y position: 0.00

Channel B: 200 mV/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

R4: 2.7 k Ohm

R3: 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

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

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

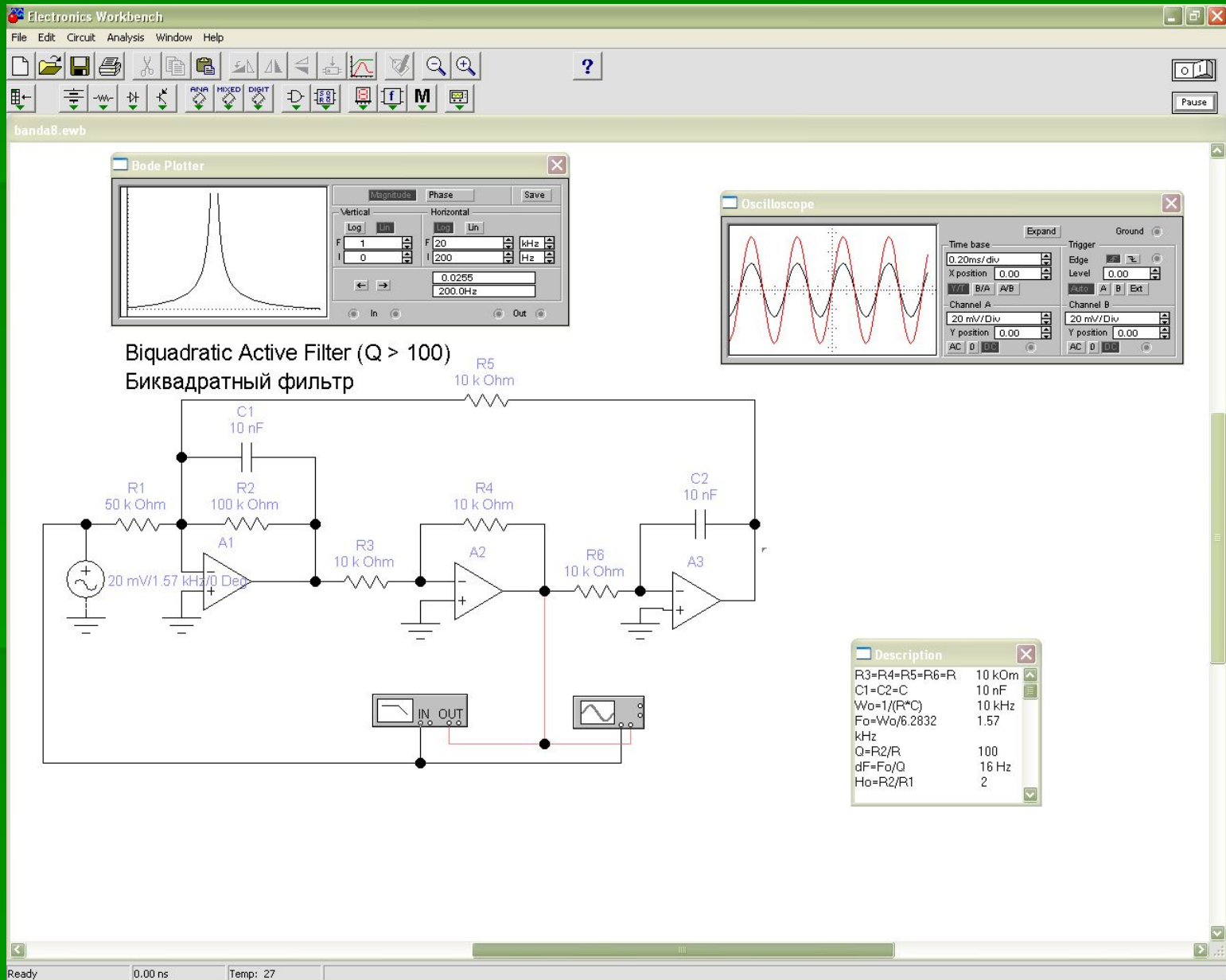
$H(W) = H_0 / Q * W / W_0 / \sqrt{1 + (W/W_0)^2 * (1/Q^2 - 2) + (W/W_0)^4}$

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

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 a circuit simulation titled "ИУс дв Т мостом.ewb". The main circuit is a bandpass filter with a 2T-bridge, consisting of an operational amplifier, a 500 Ohm resistor, and a network of 1 k Ohm resistors and 1 uF and 2 uF capacitors. A potentiometer is set to [1]1 k Ohm /50%.

Three analysis windows are open:

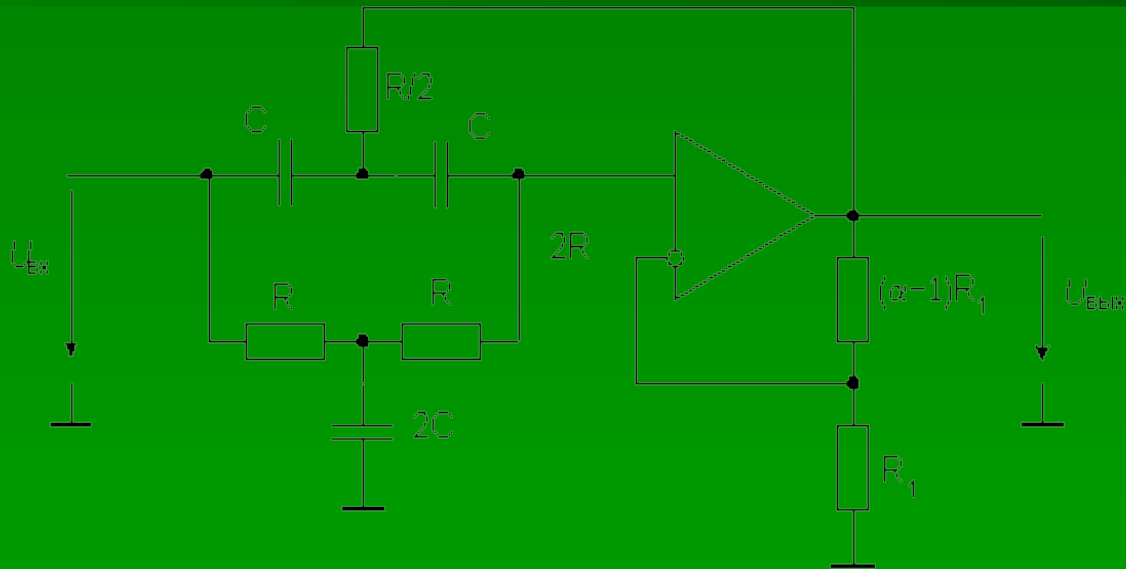
- Function Generator:** Frequency: 157 Hz, Duty cycle: 50%, Amplitude: 10 mV, Offset: 0.
- Bode Plotter:** Magnitude plot showing a resonance peak. Vertical scale: Log, Horizontal scale: Log. Frequency range: 10 Hz to 1 MHz. A zoomed-in view shows a peak at 4 kHz with a magnitude of 1.000mHz.
- Oscilloscope:** Time base: 5.00ms/div, X position: 0.00. Channel A: 50 mV/Div, Y position: -2.20. Channel B: 20 V/Div, Y position: 2.00. Trigger: Edge, Level: 0.00.

A description window shows the formula: $F0 = 1 / (2 * \pi * R * C)$.

At the bottom of the window, the status bar shows: Ready, 240.43 ms, Temp: 27.

[вернуться назад](#)

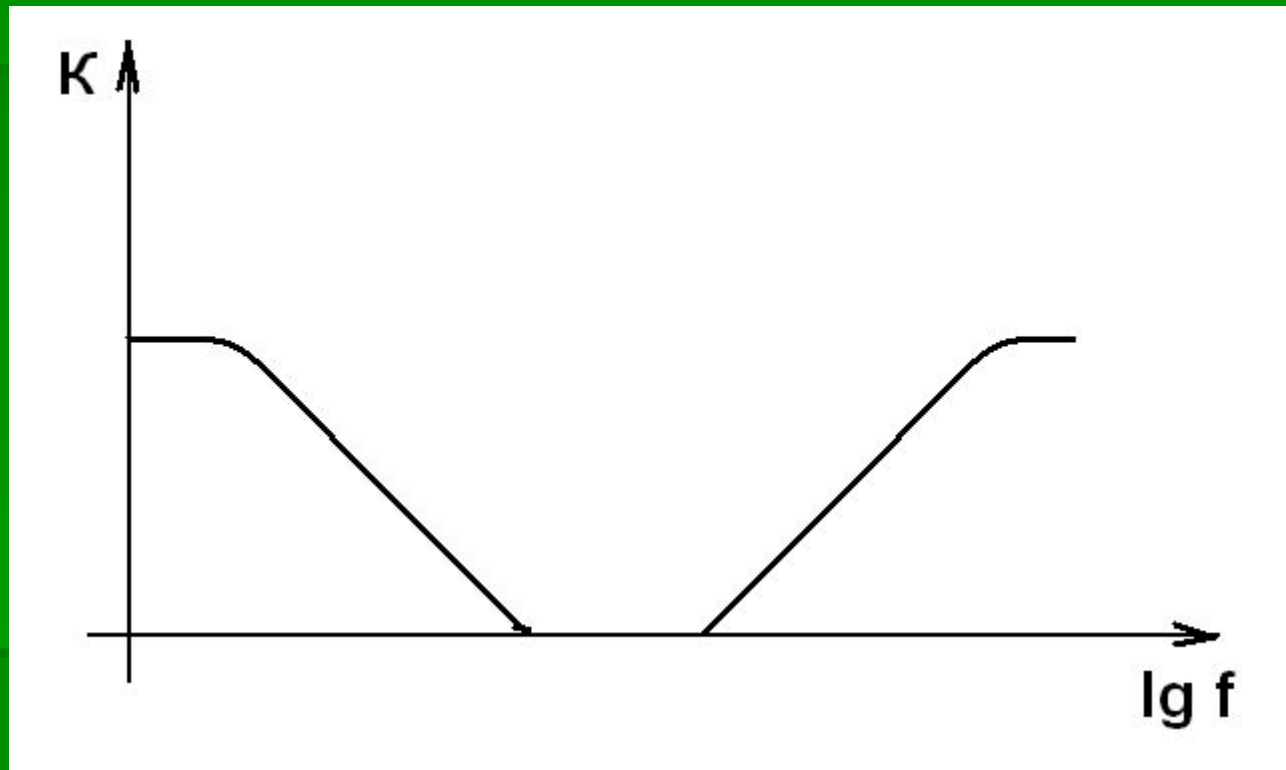
Активный заграждающий фильтр с двойным T-образным мостом



- 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](#)