

# Операциски засилувач, осцилатори

Проф. д-р Јосиф Ќосев  
Доц. д-р Томислав Карталов

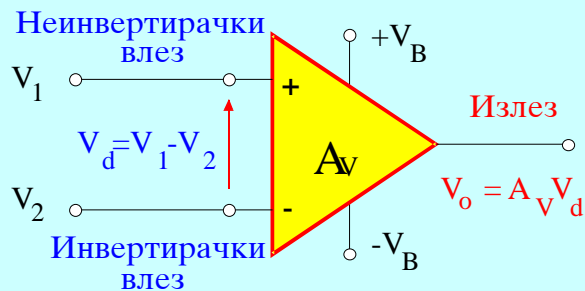
(во соработка со проф. д-р Методија Камиловски)

## Теми

- Структура и карактеристики на ОЗ
- Основни конфигурации
  - Неинвертирачки засилувач
  - Инвертирачки засилувач
  - Суматор
  - Засилувач на разлика
  - Интегратор и диференцијатор (аналоген компјутер)
- Специјални кола
  - Логаритамски и експоненцијален засилувач; множач
  - Инструментациски засилувач
  - Активни филтри
- Осцилатори
  - Винов мост
  - Кристален осцилатор

## Дефиниција и симбол на ОЗ

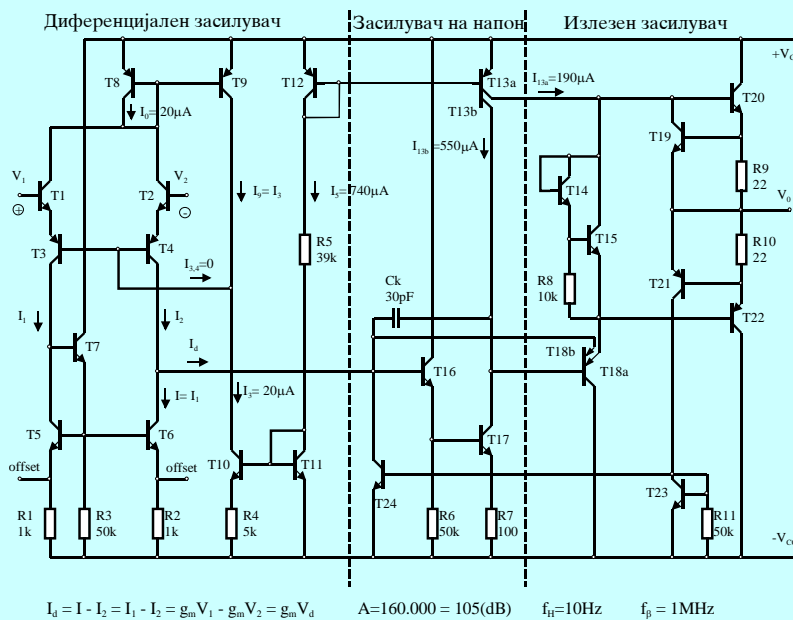
- Дефиниција:
  - Тристепен засилувач со диференцијален влез, асиметричен излез и големо засилување
- Симбол:



Електроника, 3FEIT05Z018

3

## Пример на ОЗ (741)



$$I_d = I_1 - I_2 = I_1 - I_2 = g_m V_1 - g_m V_2 = g_m V_d$$

$$A = 160,000 = 105(\text{dB})$$

$$f_{Hf} = 10\text{Hz}$$

$$f_p = 1\text{MHz}$$

Електроника, 3FEIT05Z018

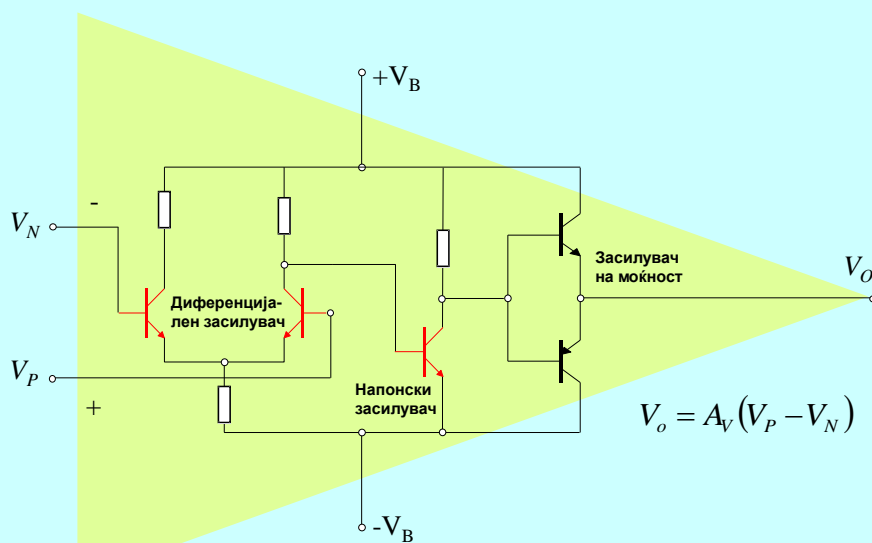
4

## Изведба на операциски засилувач

Операцискиот засилувач **741** има:

- 24 биполарни транзистори,
- 11 отпорници и
- еден кондензатор.

## Принципиелна блок-структура на ОЗ



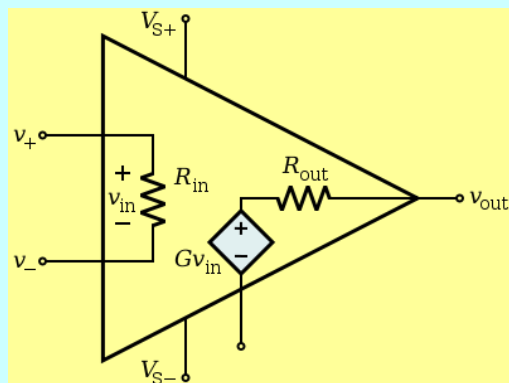
## Основни особини на ОЗ

- Основните карактеристики на ОЗ:
  - голема доверливост,
  - минијатурни димензии,
  - мала потрошувачка на ел. енергија,
  - ниска цена поради масовната изработка,
  - мала температурна зависност на параметрите при работа и
  - ниски напони и струи на офсет.

## Параметри на идеален ОЗ (и споредба со 741)

- Идеалниот ОЗ ги има следниве карактеристики:
  - напонско засилување  $A_v = \infty$  (741: 200000)
  - влезна отпорност  $R_i = \infty$  (741: 1M  $\Omega$ )
  - излезна отпорност  $R_o = 0$  (741: 100 $\Omega$ )
  - фреквенциски опсег  $B = \infty$  (741:  $f_L = 0$ ,  $f_H = 10\text{MHz}$ )
  - идеално балансиран, за  $V_1 = V_2$ ,  $V_o = 0$   
(741–офсет:  $V_1 - V_2 \in [-2\text{mV}, 2\text{mV}]$  за да  $V_o = 0$ )
  - карактеристиките не зависат од температурата и др.  
(741 – дрифт на офсетот:  $\pm 10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )
  - брзина на излезот  $S = \infty$  (741: Slew Rate = 0,5V/ $\mu\text{s}$ )
  - потиснување на заедничкиот сигнал  $\rho = \infty$   
(741: CMRR = 100dB)

## Еквивалентна шема на ОЗ = реален диференцијален засилувач

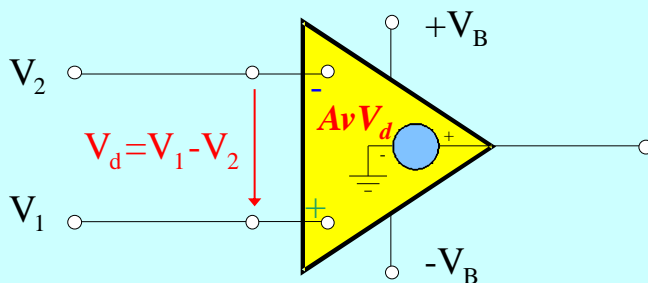


Електроника, 3FEIT05Z018

9

## Еквивалентна шема на идеален ОЗ = идеален диференцијален засилувач

- Влезовите „висат“ (отворено коло)
- Излезот е идеален зависен напонски генератор
- Засилувањето е многу големо  $A_V \rightarrow \infty$



Електроника, 3FEIT05Z018

10

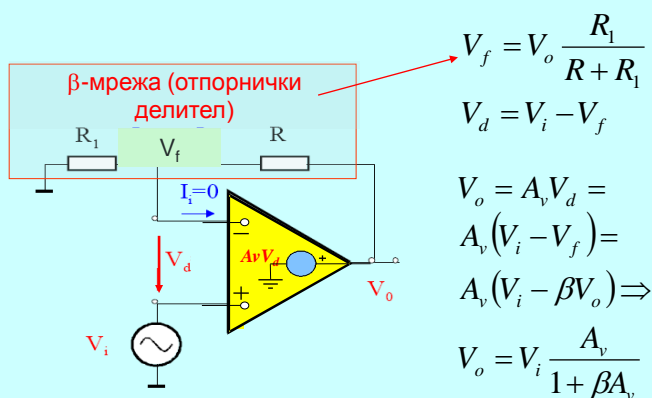
## Негативна повратна врска кај ОЗ

Може да се оствари на два начина:

- НПВ кај ОЗ постои, ако постои начин вредноста на потенцијалот на излезот **истофазно** да влијае врз вредноста на потенцијалот на **инвертирачкиот влез**.
- НПВ кај ОЗ постои, ако постои начин вредноста на потенцијалот на излезот **противфазно** да влијае врз вредноста на потенцијалот на **неинвертирачкиот влез**.

## Основни кола со ОЗ

- Неинвертирачки засилувач (ОЗ+НПВ) (информативно):



$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{\frac{1}{A_v} + \beta}$$

$$A_v \rightarrow \infty \Rightarrow A \rightarrow \frac{1}{\beta}$$

$$A = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R}{R_1}$$

## Виртуелна куса врска кај ОЗ (или виртуелна нула)

- Ако засилувачот работи во линеарен режим:

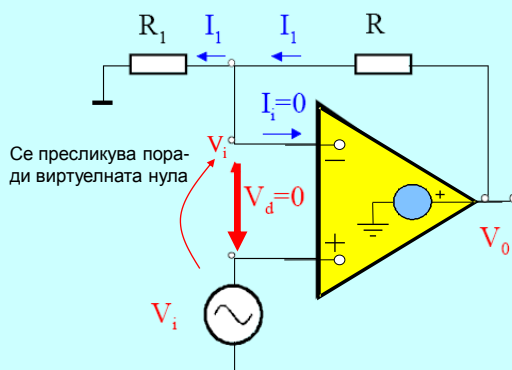
$$V_o = A_v V_d \Rightarrow V_d = \frac{V_o}{A_v}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_o - \text{конечно} \\ A_v \rightarrow \infty \end{array} \right\} \Rightarrow V_d = 0$$

$$R_i \rightarrow \infty \Rightarrow I_i = 0$$

}  $\Rightarrow$  виртуелна куса врска  
(куса врска со струја нула)

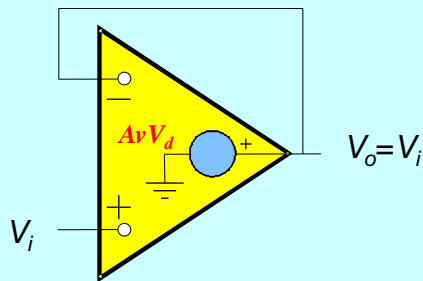
## Неинвертирачки засилувач (со користење виртуелна нула)



$$I_1 = \frac{V_i}{R_1} = \frac{V_o - V_i}{R}$$

$$A = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R}{R_1}$$

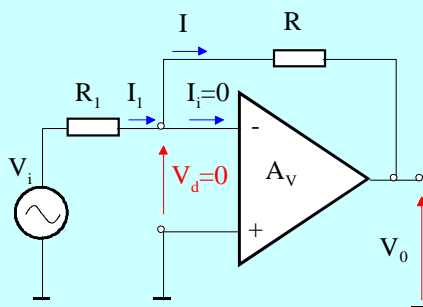
- Коментар:
- Ако  $R=0$  и  $R_1 \rightarrow \infty$  се добива конфигурација на речена **напонско следило** – (не го товари изворот а дава струја на потрошувачот)



Електроника, 3FEIT05Z018

15

## Инвертирачки засилувач



$$I_1 = \frac{V_i}{R_1}$$

$$V_o = -IR = -\frac{V_i}{R_1} R$$

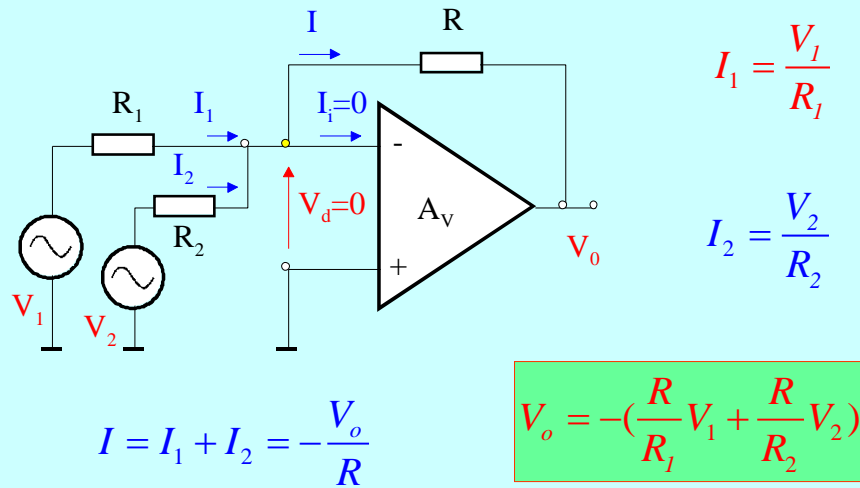
$$A = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R}{R_1}$$

Електроника, 3FEIT05Z018

16



## Операциски суматор



Електроника, 3FEIT05Z018

17

За  $R_1 = R_2$ :

$$V_o = -\frac{R}{R_1}(V_1 + V_2)$$

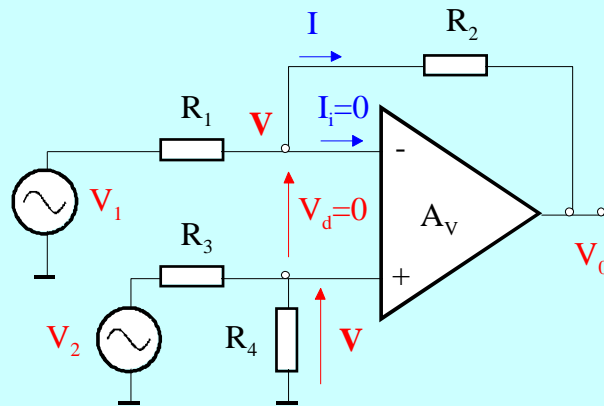
За  $R_1 = R_2 = R$ :

$$V_o = -(V_1 + V_2)$$

Електроника, 3FEIT05Z018

18

## Засилувач на разлика



Електроника, 3FEIT05Z018

19

$$V = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_2$$

$$I = \frac{V_1 - V}{R_1} = \frac{V - V_o}{R_2}$$

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} \left( V_1 - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_2 \right)$$

Електроника, 3FEIT05Z018

20

- За  $R_1/R_2 = R_3/R_4$

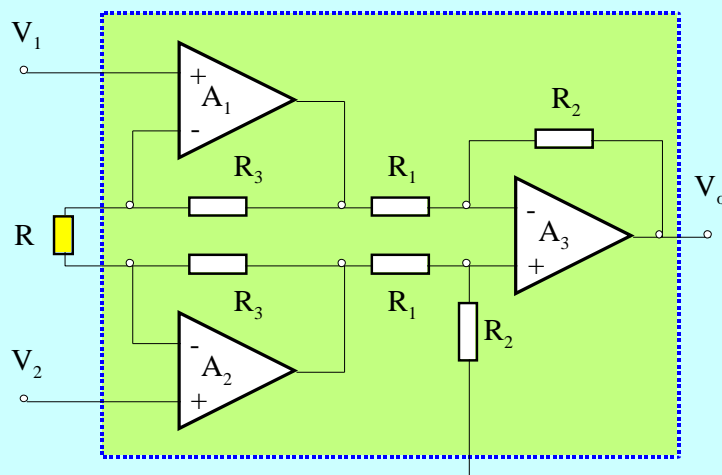
$$V_o = -\frac{R_2}{R_1}(V_1 - V_2)$$

- А ако и  $R_1=R_2$

$$V_o = V_2 - V_1$$

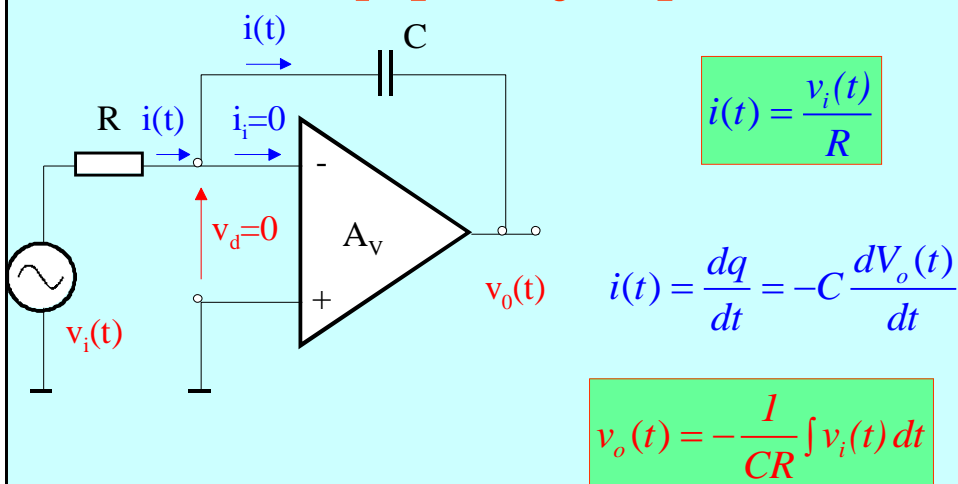
- На овој начин конструиравме аналогни кола за основните аритметички операции: + и - (и менување знак).

## Инструментациски засилувач (информативно)



- Најмногу користен во мерната техника и во индустријата
- Се состои од влезен степен и засилувач на разлика
- Постојат готови интегрирани ИЗ
- Особина:
  - Засилувањето се нагодува во опсег 1-1000 со само еден отпорник R

## Аналоген интегратор и диференцијатор



$$i(t) = C \frac{dV_i(t)}{dt}$$

$$V_o(t) = -Ri(t) = -RC \frac{dV_i(t)}{dt}$$

25

### Аналогна симулација на диференцијална равенка (аналоген компјутер - информативно)

интегратор  $CR = 1$   
 интегратор  $CR = 1$   
 суматор  $k_2 = R/R_2$   
 суматор  $k_1 = R/R_1$

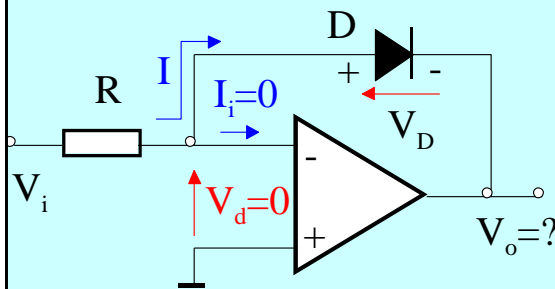
26

$$\frac{d^2 v}{dt^2} + K_1 \frac{dv}{dt} + K_2 v = f(t)$$

$$\frac{dv}{dt}(0) = V_1 \quad v(0) = V_0$$

- Сега недостасуваат само аналогни кола за множење и делење.

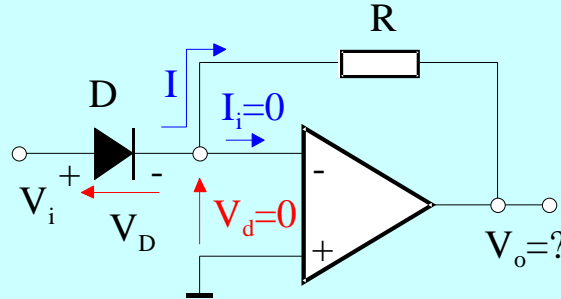
## Логаритамски засилувач



$$I = I_S (e^{V_D/V_T} - 1)$$

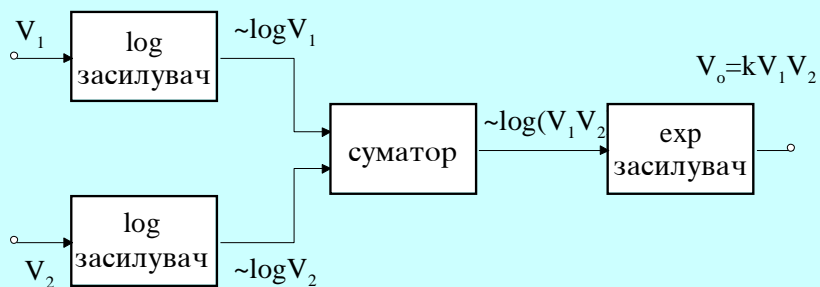
$$V_o = -V_D = -V_T \ln \left( \frac{I}{I_S} + 1 \right) \approx -V_T \ln \frac{V_i}{RI_S}, \quad V_i > 0$$

## Експоненцијален засилувач



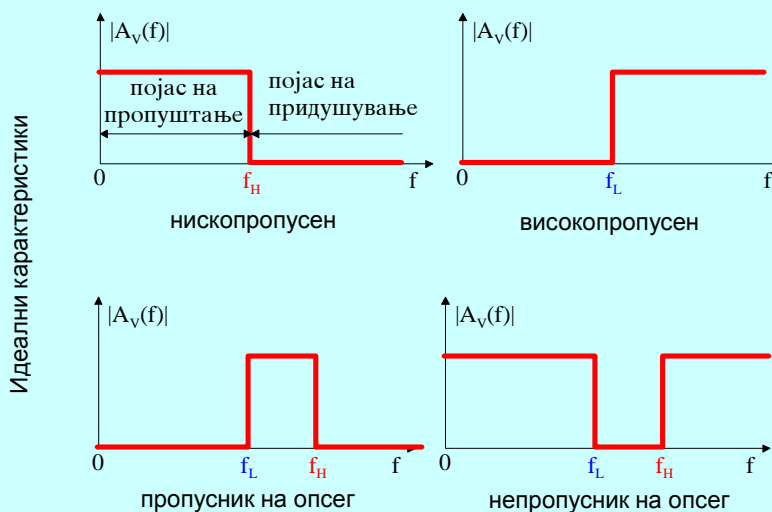
$$V_o = -RI_D = -RI_S \left( e^{\frac{V_i}{V_T}} - 1 \right) \approx -RI_S e^{\frac{V_i}{V_T}}$$

## Аналоген множач со логаритмирање



- Прашање: Како да се направи аналогно коло за делење?

## Активни филтри (информативно)

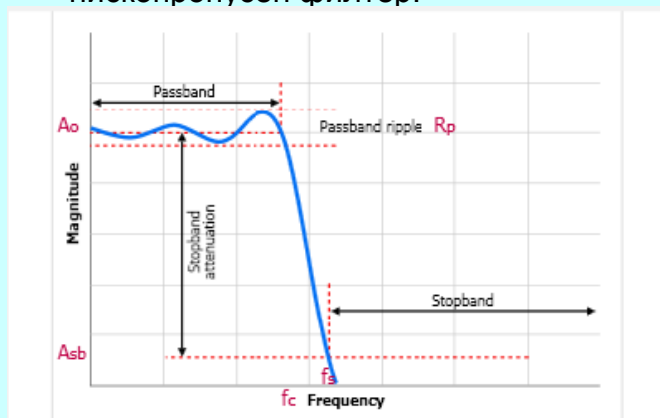


Електроника, 3FEIT05Z018

31

## Активни филтри (информативно)

- Реална карактеристика (апроксимација) на нископропусен филтер:



Електроника, 3FEIT05Z018

Батерфордова апроксимација од  $n$ -ти ред:

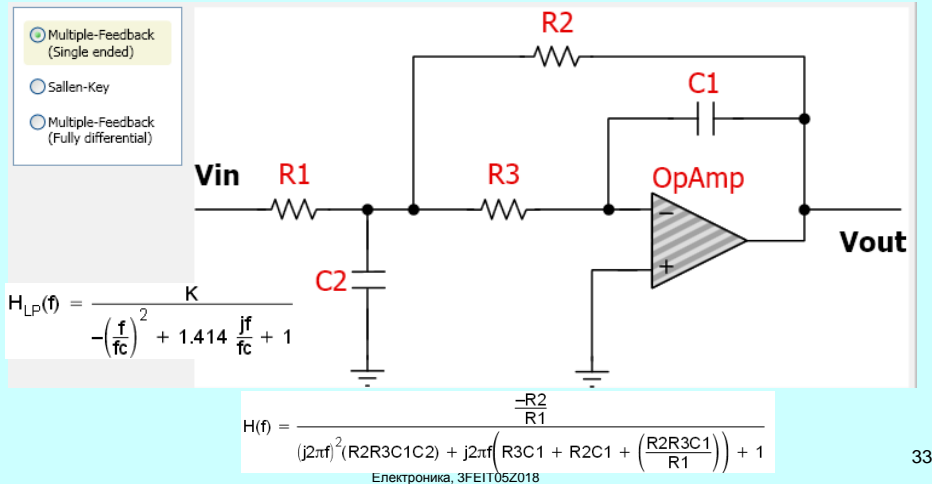
$$A_v(j\omega) = \frac{1}{\left(1 + j \frac{\omega}{\omega_c}\right)^n}$$

32



## Активни филтри (информативно)

- Пример топологија за Батерфордова апроксимација на нископропусен филтер од втор ред

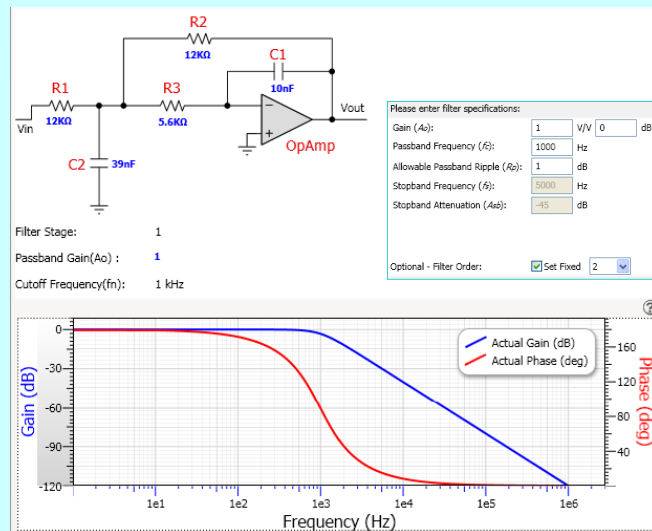


33

## Активни филтри (информативно)

- Шема и фреквенциска карактеристика на Батерфордов нископропусен филтер
- Дизајниран со FilterPro од Texas Instruments

<http://www.ti.com/tool/filterpro>



34

Електроника, 3FEIT05Z018