

 **Технически университет – София**

**Факултет по електронна техника и технологии**

 **Катедра „Електронна техника”**

**Презентация № 13**

**Избирателни (селективни) усилватели. Част 2**

**дисциплина „Аналогова схемотехника” – ВЕ30**  
**ОКС „Бакалавър” от Учебен план за студентите на специалност**  
**Електроника, Професионално направление**  
**5.2. Електротехника, електроника и автоматика**



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

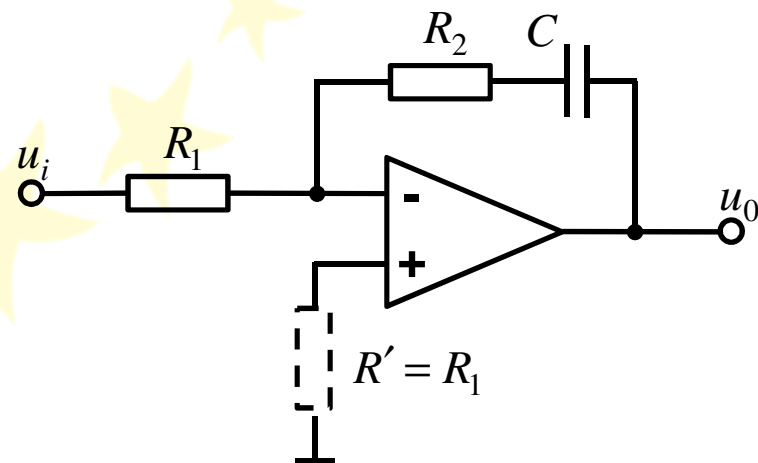
### 3.4 Интегратор - усилвател

Схемата на интегратор-усилвател е дадена на фиг. 12. Характерно за нея е, че при честота на входния сигнал много по-ниска от полюсната  $f_i \ll f_p'$  схемата работи като интегратор, а при  $f_i \gg f_p'$  като инвертиращ усилвател с коефициент на усилване  $A_F = -R_2/R_1$ . Полюсната честота може да се намери чрез израза:

$$f_p' = 1/2\pi R_2 C,$$

а изходното напрежение  $u_o$  е равно на

$$u_o = -\frac{R_2}{R_1} \left( u_i + \frac{1}{R_2 C} \int_0^t u_i dt \right) + U_{o(t=0)}.$$



Фиг. 12. Интегратор-усилвател



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



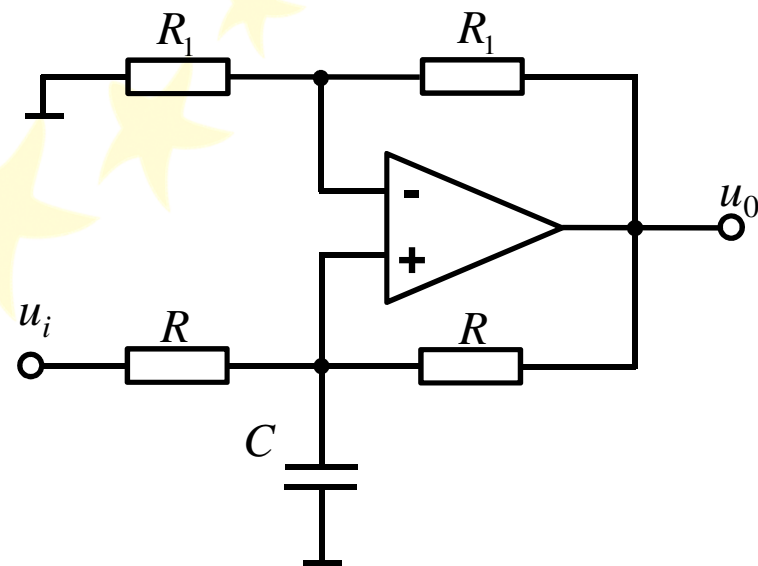
Европейски социален фонд

### 3.5 Неинвертиращ интегратор

За интегриране на входни сигнали без изменение на фазата между изходното и входното напрежение може да се използва схемата от фиг. 13. Всъщност схемата е обхваната, както от отрицателна, така и от положителна обратна връзка и представлява ниско-честотен филтър. Изходното напрежение се описва с изказа:

$$u_o = \frac{2}{RC} \int_0^t u_i dt + U_{o(t=0)}.$$

За компенсация на тока  $I_{iB}$  е възможно да изберем  $R = R_1$ .



Фиг. 13. Неинвертиращ интегратор



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042  
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през  
целия живот и развитие на компетенции”  
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*

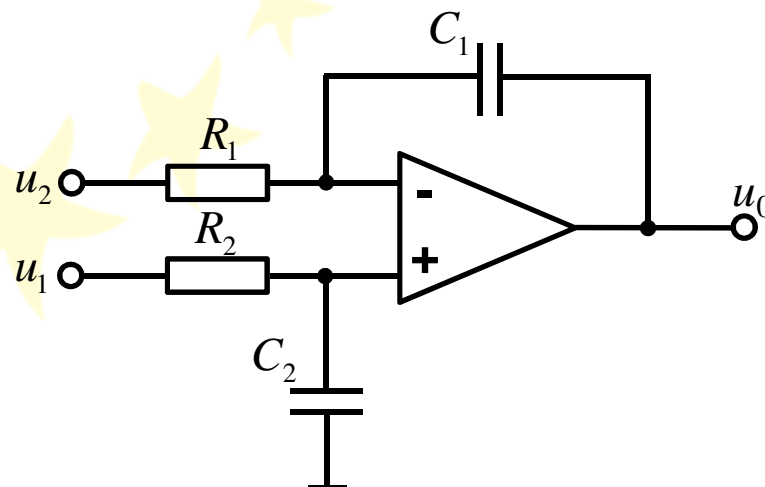


### 3.6 Интегратор с диференциален вход

На фиг. 14 е показана схема на интегратор с диференциален вход. При него входното напрежение се поличава като разлика между напреженията  $u_1$  и  $u_2$ . Ако изберем  $R_1C_1 = R_2C_2$  за изходното напрежение се получава:

$$u_o = \frac{1}{R_1C_1} \int_0^t (u_1 - u_2) dt + U_{o(t=0)}.$$

За да се ограничи коефициентът на усилване на схемата при ниски честоти е възможно свързването на корегиращ резистор паралелно на кондензатора  $C_1$ .



Фиг. 14. Интегратор с диференциален вход

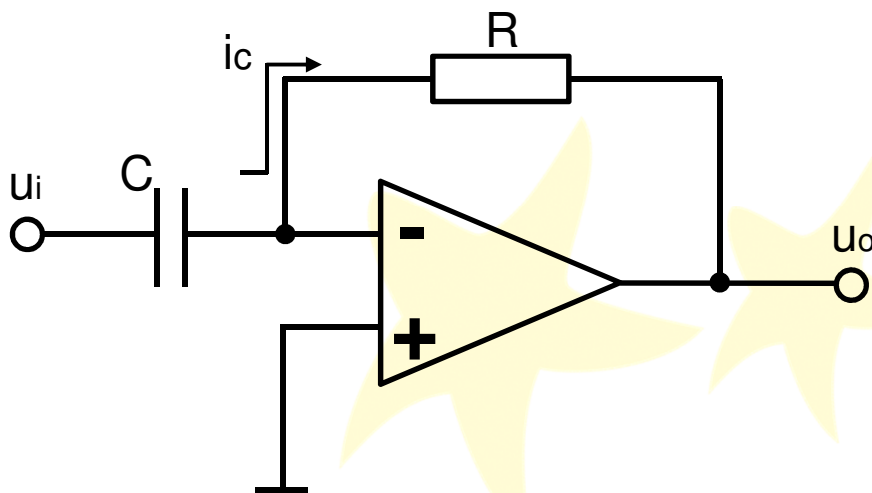


ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042  
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през  
целия живот и развитие на компетенции”  
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



## 4 Диференциатори

Диференциаторите са линейни електронни схеми, за които изходното напрежение е пропорционално на първата производна на входния сигнал. Диференциаторите се използват в схеми на електронни регулатори, за получаване на кратки импулси от сигнали с голяма продължителност, като детектори на фронт на правоъгълни сигнали и др. Принципната схема на диференциатор е дадена на фиг. 15.



Фиг. 15. Схема на диференциатор

Ако приемем, че ОУ е идеален за тока през кондензатора  $i_c$  може да запишем следните две уравнения

$$i_c = C \frac{dU_c}{dt} = C \frac{dU_i}{dt} \quad \text{и}$$

$$Ri_c + u_o = 0 \Rightarrow i_c = -\frac{u_o}{R}.$$

Тогав за изходното напрежение на диференциатора получаваме

$$u_o = -RC \frac{du_i}{dt}.$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

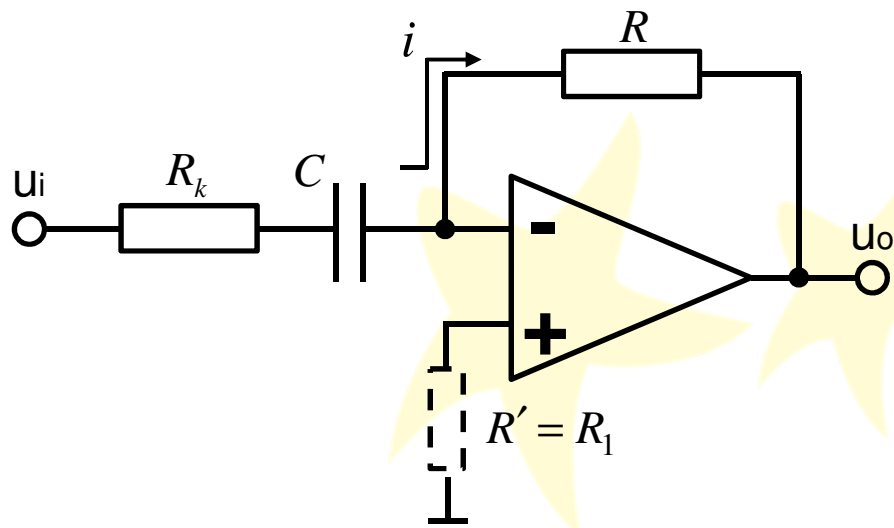
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



## 4.1 Диференциатор с корекция

При високи честоти коефициентът на усилване на диференциатора може да нарастне недопустимо много и схемата да стане нестабилна. В тази връзка към схемата е възможно да се добави корегиращ резистор  $R_k$ , който да ограничи коефициентът на усилване.



Фиг. 16. Схема на диференциатор с корекция

За комплексния коефициент на усилване на схемата имаме:

$$\dot{A}_U = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \approx -\frac{R}{Z_k} = -\frac{R}{R_k + \frac{1}{j\omega C}} = -\frac{A_{U_o}}{1 - j\frac{f'_p}{f}},$$

където  $Z_k = R_k + \frac{1}{j\omega C}$ ,  $A_{U_o} = \frac{R}{R_k}$

е коефициентът на усилване за високи честоти, а  $f'_p = 1/2\pi R_k C$  граничната честота на диференциатора.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



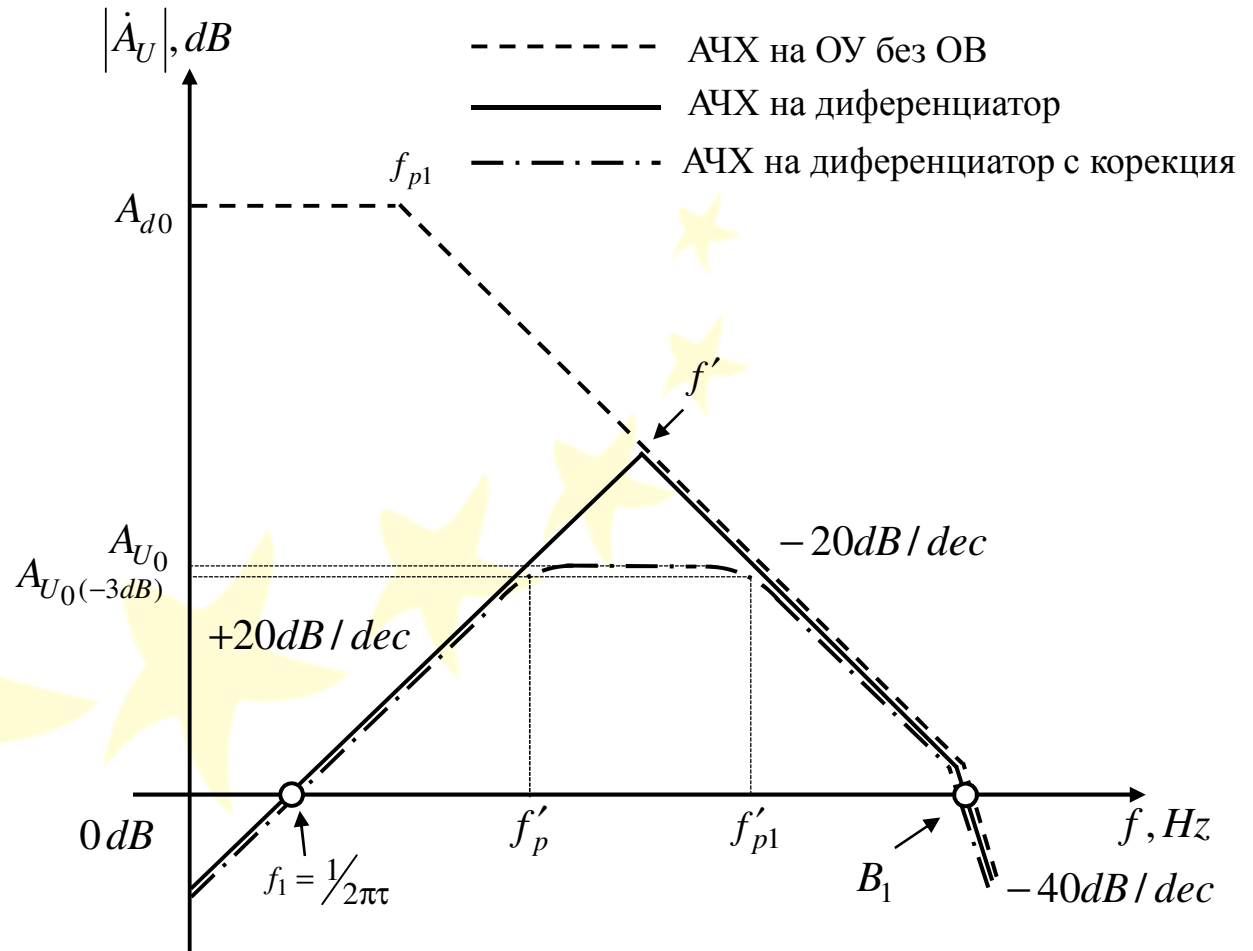
За модула на комплексния коефициент  $\dot{A}_U$  имаме

$$|\dot{A}_U| = \frac{R}{R_k} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f'_p}{f}\right)^2}} = \frac{A_{U_0}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f'_p}{f}\right)^2}}$$

Ако  $\frac{f'_p}{f} \gg 1$  (или  $f \ll f'_p$ ), тогава

$$|\dot{A}_U| \approx A_{U_0} \frac{f}{f'_p} \text{ т.е. коефициентът на}$$

усилване е пропорционален на честотата.



**Фиг. 17.** АЧХ на диференциатор с и без корекция и на ОУ без обратна връзка.



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042  
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”  
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



### 4.1.1 Анализ на диференциатор с корекция във времева област

Анализът във времева област се извършва, когато на входа на схемата се подаде единичен скок на напрежението (фиг. 18). Изходното напрежение може да се намерим чрез следните уравнения:

$$u_i = iR_k + \frac{1}{C} \int u_o dt \quad \text{и}$$

$$i = -u_o / R.$$

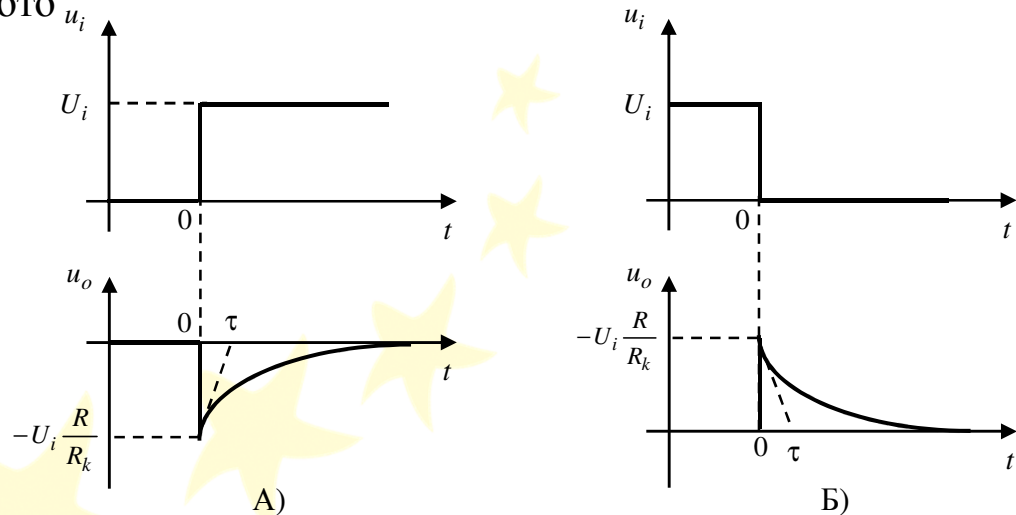
От двете уравнения се намира:

$$u_i = -\frac{R_k}{R} u_o - \frac{1}{RC} \int u_o dt.$$

За  $u_i = 0V$  се получава следното диференциално уравнение

$$R_k C \frac{du_o}{dt} + u_o = 0 \quad \text{чието решение е:}$$

$$u_o(t) = U_{om} e^{-t/R_k C}.$$



**Фиг. 18.** Форма на изходния сигнал на диференциатор при нарастващ А) и спадащ Б) фронт на входния сигнал.

Стойността на  $U_{om}$  може да се определи ако се допусне, че в момента  $t = 0$  входното напрежение  $u_i = U_i$ , тогава  $U_{om} = -(R/R_k)U_i$ . Всъщност първоначално  $u_o = U_{om}$ , след което експоненциално се стреми към 0 (фиг. 9 Б).

Времето за установяване се определя от  $\tau = R_k C$ . Времето-константата  $\tau$  показва времето, за което  $u_o$  достига стойност  $1/e$ .



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд



## 5

### Заключение

Линейните операционни схеми намират приложение в електроника като аналогови устройства за извършване на различни математически операции като събирана, изваждана, интегриране, диференциране, логаритмуване и др., от където идва и името им. С навлизането на цифровите устройства в областта на математическата обработка тяхното значение намалява . Все пак те намират широко приложение като честотни филтри, логаритмични усилватели и др.



Европейски съюз

**ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042**

**„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”**

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
**Инвестира във вашето бъдеще!**



## 6 Литература

### **Основна:**

1. Пандиев, И., Л. Донева, Д. Стаменов. Аналогова схемотехника – II, глава 1, стр. 7-21,. София, Издателство на ТУ-София, 2008.

### **Допълнителна:**

1. Tietze, V., Ch. Schenk. Electronic circuits. 2nd Edition

### **Интернет адреси:**

1. Официален сайт на дисциплината аналогова схемотехника – [http://fett.tu-sofia.bg/analog\\_circuits/](http://fett.tu-sofia.bg/analog_circuits/)



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*

