

**Електронни аналогови уреди – общи сведения, обобщена структурна схема. Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели.**

**доц. д-р Андрей Еленков**

***дисциплина „Електрически измервания“***

***ОКС „Бакалавър“ от Учебен план за студентите от специалностите на ФЕТТ и ФКСУ***

***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

## Съдържание

- Електронни аналогови уреди – общи сведения, обобщена структурна схема
  - Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели
  - Заключение
- 
- Литература



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!**



## Електронни аналогови уреди – общи сведения, обобщена структурна схема

Резултатът, информацията от измерването най-често е електричен сигнал, наречен **информационен измервателен сигнал**.

За представяне на измерваната величина могат да бъдат използвани различни параметри на сигнала – честота, фаза и др., но най-често се използва електричен ток или напрежение с достатъчна големина.



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!**



1

## Електронни аналогови уреди – общи сведения, обобщена структурна схема

Сигналът се обработва с различни процеси:[4]

- **Обработка на сигнала** с цел получаване на форма необходима за последваща обработка;
- **Предварителна обработка на сигнала** – най-често преобразуване в цифров сигнал и подаване към стандартен компютърен интерфейс (PCI или USB);
- **Преобразуване на формата на сигнала** – промяна на формата на сигнала;
- **Усилване на сигнала** – увеличаване на величината на сигнала със запазване на другите параметри;



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

1

## Електронни аналогови уреди – общи сведения, обобщена структурна схема

Сигналът се обработва с различни процеси:[4]

- **Възстановяване на сигнала** – подобряване на качеството на сигнала;
- **Разделяне на сигнала** – физическо разделяне на входната от изходната вериги;
- **Филтриране на сигнала** – предаване само на част от сигнала от входа към изхода;
- **Хармонизиране на сигнала** – например преобразуване на сигнала в сигнал от -5 до +5 V, удобен за обработка от повечето цифрови схеми;
- **Модулиране на сигнала** – например преобразуване на измервания сигнал във високочестотен сигнал с различна големина като информацията се запазва.



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!*



1

## Електронни аналогови уреди – общи сведения, обобщена структурна схема

**Аналоговият сигнал** се представя чрез непрекъснат ред от стойности за разлика от цифровия, при който имаме ограничен ред стойности – кванти.

**Електронните аналогови измервателни преобразуватели (ЕАИП)** са технически устройства, чието действие и особености се определят от участието на активни електронни елементи.



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

1

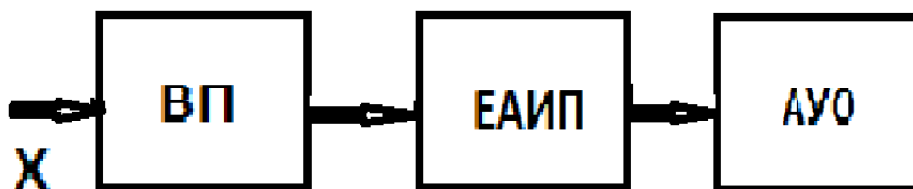
## Електронни аналогови уреди – общи сведения, обобщена структурна схема

Електронните аналогови измервателни уреди (ЕАИУ) са измервателни средства, които използват ЕАИП. [1]

ВП - преобразувател на измерваната величина  $X$

ЕАИП - електронен аналогов измервателен преобразувател

АУО - аналогово устройство за отчитане



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

## Електронни аналогови уреди – общи сведения, обобщена структурна схема

### Предимствата на ЕАИУ и ЕАИП са:

- *висока чувствителност* – измерване на напрежения от порядъка на  $10^{-9}$  V и токове от порядъка на  $10^{-19}$  A;
- *ниска консумация на енергия*, поради много високото входно съпротивление;
- *широка работна честотна област* – от 0 до  $10^{15}$  Hz;
- *издържливост на претоварване*;
- *просто реализиране на функции на преобразуване*.



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

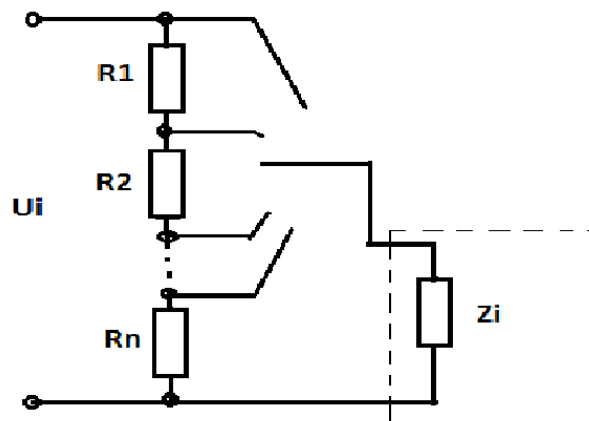


## 1

## Електронни аналогови уреди – общи сведения, обобщена структурна схема

На фигурата е показана входна верига на ЕАИУ с обхватен делител.

В електронните уреди се постигат много високи стойности на входния импеданс  $Z_i$ .



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

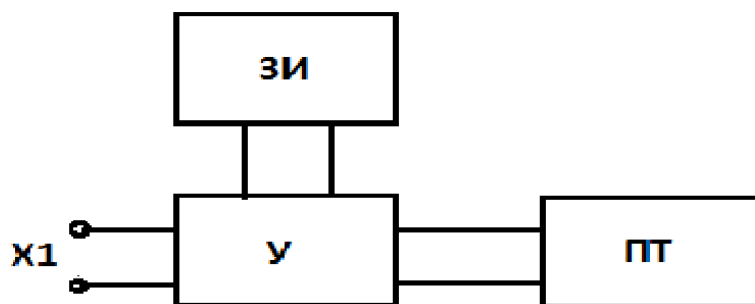
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

**Усилвателят (У)** е устройство, в което чрез маломощен входен сигнал (Х1) се управлява енергийният поток от захранващ източник (ЗИ) към полезен товар (ПТ), включен на неговия изход.[1]



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

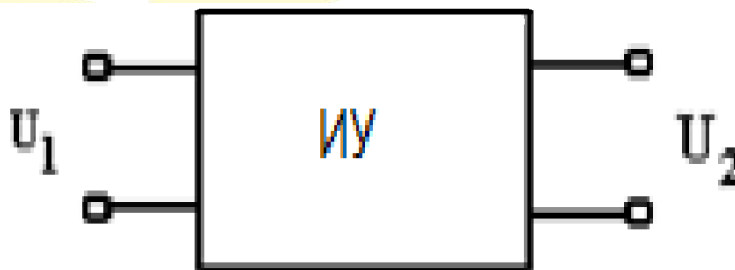
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

При електричните усилватели използваната енергия е електрична, а когато са изпълнени с електронни елементи, те се наричат електронни, съответно използваните в измерванията усилватели – **измервателни усилватели (ИУ).**



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!*



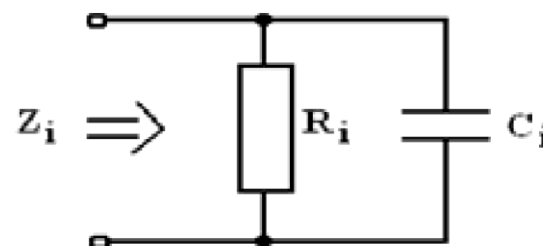
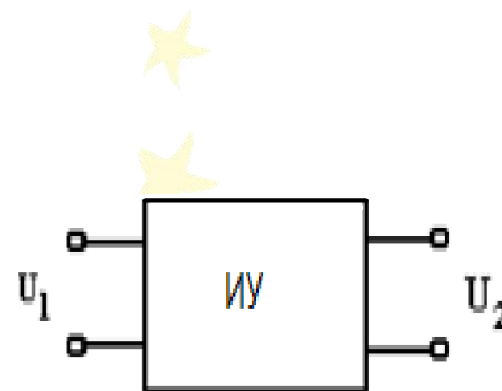
Европейски социален фонд

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

Основна характеристика на електронен ИУ е

### входния импеданс ( $Z_i$ )

–  $C_i$  е паразитен капацитет, чието влияние е по-забележимо при по-високи честоти  $C < 20\text{pF}$ ;



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!*



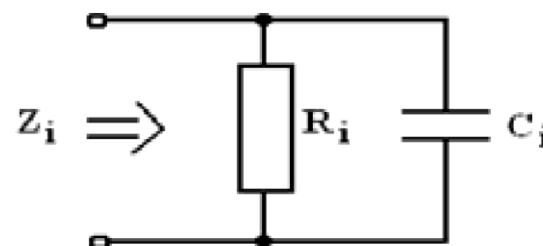
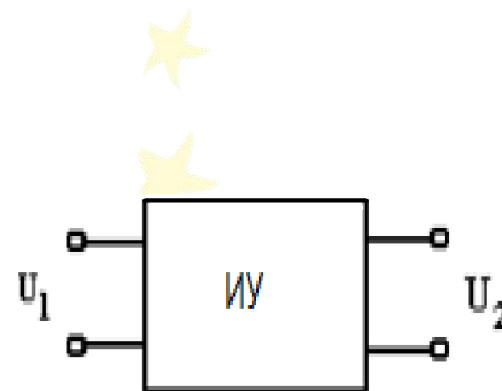
Европейски социален фонд

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

Основна характеристика на  
електронния ИУ е и

**коэффициентът на усилване (K)**

$$K = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = k \ell^{j\varphi_k} = k(\omega) \ell^{j\varphi_k(\omega)}$$



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

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

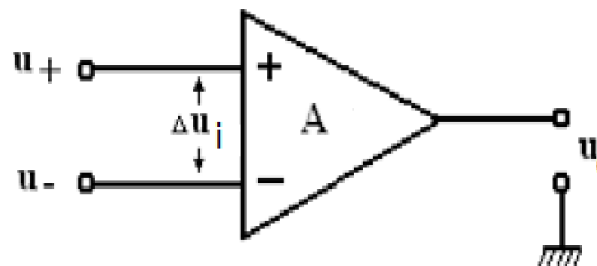
Електронните аналогови измервателни преобразуватели се конструират най-вече на основата на **т.н. операционни усилватели (ОУ)**, чиито характеристики се доближават до идеалните

$$Z_i \approx \infty$$

$$\Delta u_i = 0$$

$$A \approx \infty$$

$$Z_o \approx 0$$



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

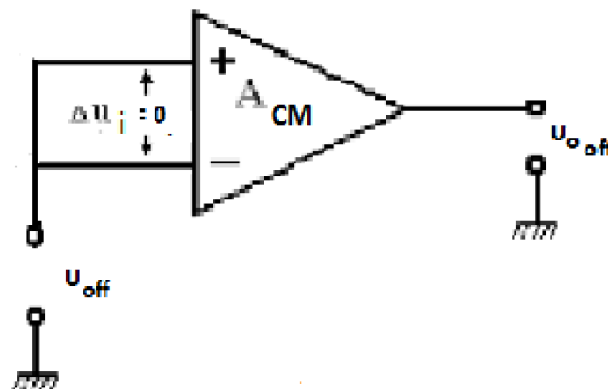
## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

Предимство на тези усилватели е възможността за подтискане на паразитни сигнали.

Възможността за премахване на общите паразитни компоненти се дава от коефициентът **CMRR - коефициент на подтискане на симфазния сигнал**  
(Common Mode Rejection Ratio)

$$A_{CM} = \frac{U_{o\ off}}{U_{off}}$$

$$CMRR = \frac{A}{A_{CM}}$$



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!*



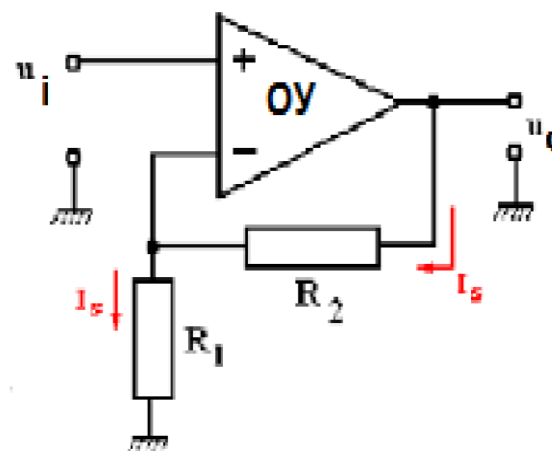
## 2

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

ОУ обикновено се използват с обратни връзки.

На фигурата е ОУ, свързан като **неинвертиращ усилвател** по напрежение, а коефициентът на усилване (преобразуване)  $K$  се определя с изразите:

$$\begin{cases} u_i = i_s R_1 \\ u_o = (R_1 + R_2) i_s \end{cases} \rightarrow K = \frac{U_o}{U_i} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$



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

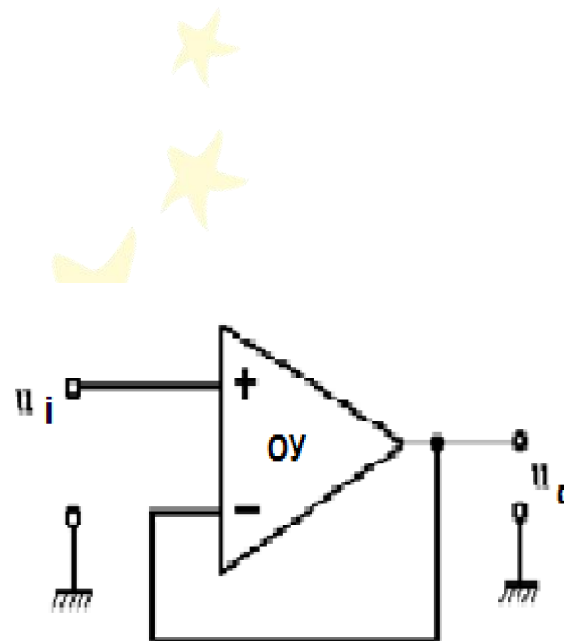


## 2

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

ОУ, свързан като **повторител** ( $K=1$ ) се получава, ако се заместят  $R_2=0$  и  $R_1=\infty$ .

$$\frac{U_o}{U_i} = 1 \Rightarrow U_o = U_i$$



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

## 2

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

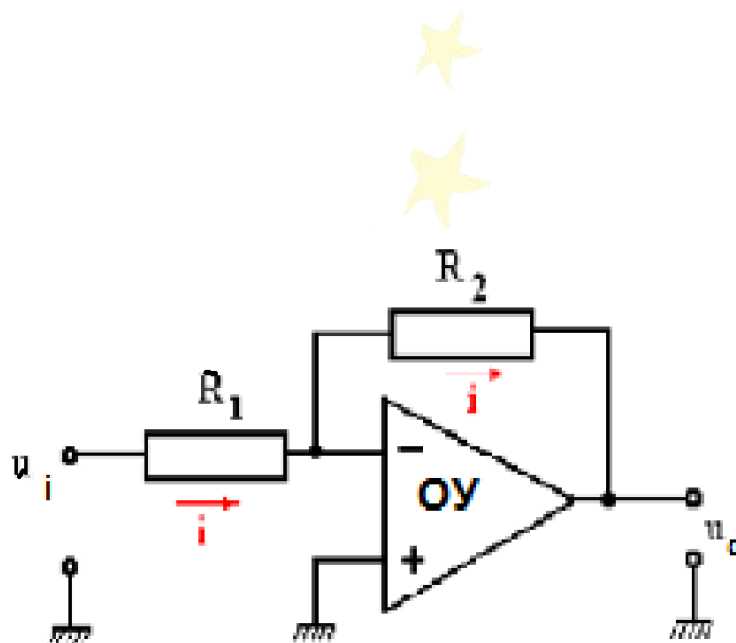
ОУ, свързан в **инвертиращ режим**

$$K = \frac{U_o}{U_i}$$

$$u_i = iR_1$$

$$u_o = -iR_2$$

$$K = -\frac{R_2}{R_1}$$



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!*

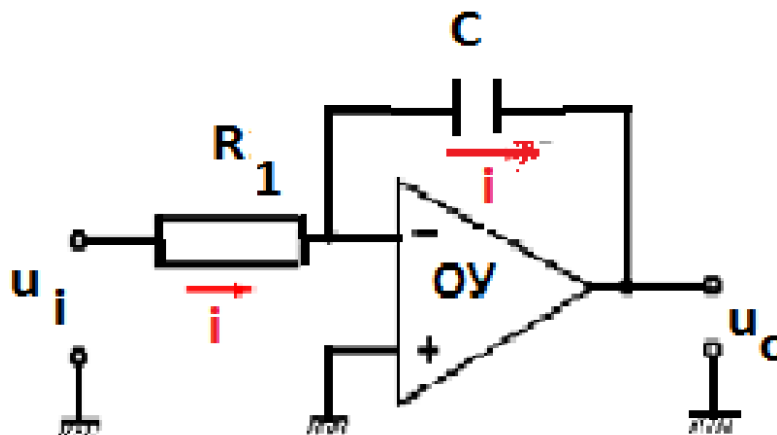


Европейски социален фонд

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

Ако  $R_1$  се замени с кондензатор  $C$  се получава, т.н. **аналогов интегратор**

$$u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t u_i dt$$



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!*

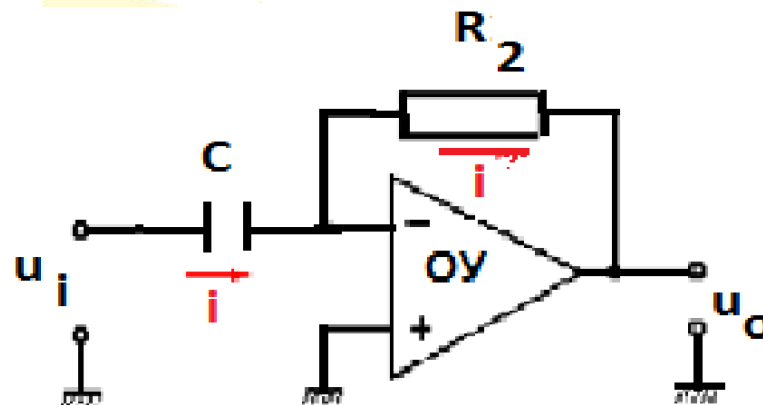


Европейски социален фонд

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

Ако  $R_2$  се замени с кондензатор  $C$  се получава, т.н. **аналогов диференциатор**

$$C \frac{du_i}{dt} = - \frac{u_o}{R_2}$$



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!*

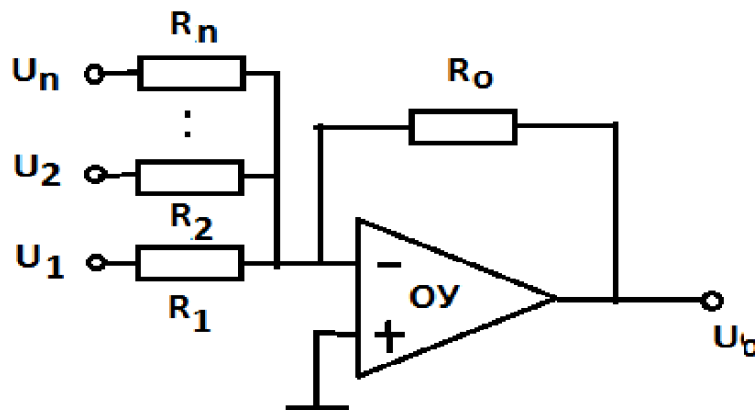


Европейски социален фонд

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

На фигурата е показано как се реализира **суматор** чрез операционен усилвател ОУ. Всички напрежения са отнесени към маса.

$$\frac{U_o}{R_o} = - \sum_{k=1}^n \frac{U_k}{R_k}$$



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!*

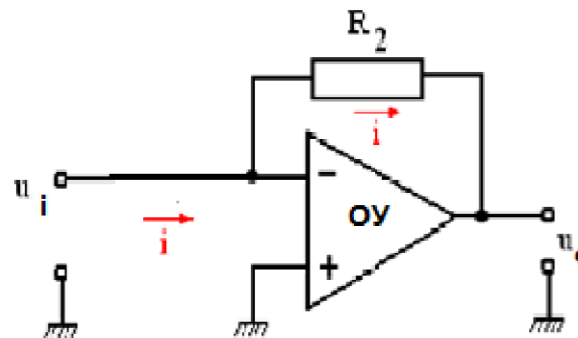


Европейски социален фонд

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

Свързване на ОУ като **преобразувател**  
**ток - напрежение**  $R_1=0$

$$K = \frac{u_o}{i}$$



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!*



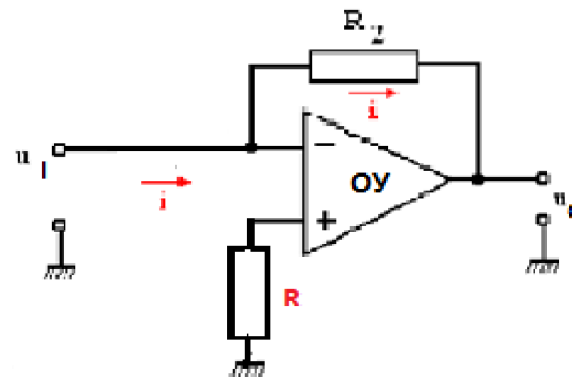
Европейски социален фонд

## 2

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

За компенсирание на токовете на несиметрия се свързва съпротивление **R**

$$K = \frac{u_o}{i}$$



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

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

Операционният усилвател по същество е диференциален усилвател (първото му стъпало е диференциален усилвател), но не може да се използва директно като такъв, т.к. е с много голям коефициент на усилване.



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

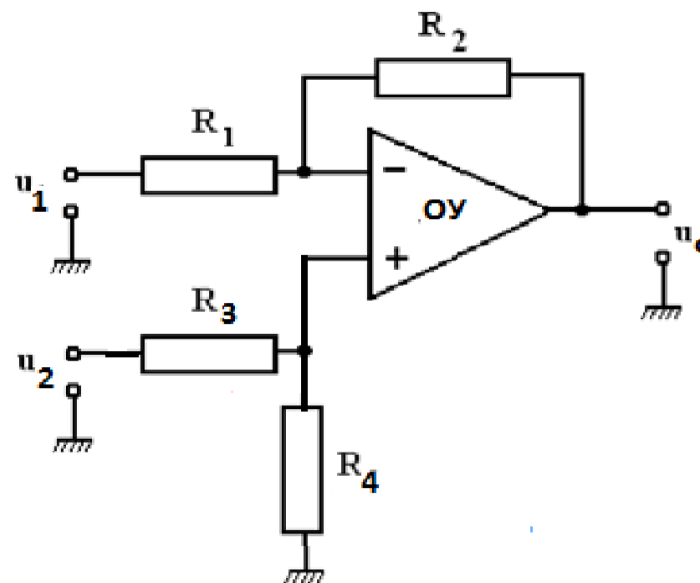


## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

За използването на ОУ като **диференциален** се прибягва до схемата показана на фигурата.

Коефициентът на предаване  $K$  може да бъде получен чрез израза:

$$U_o = -\frac{R_2}{R_1} U_1 + \frac{R_3}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_2$$



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!*

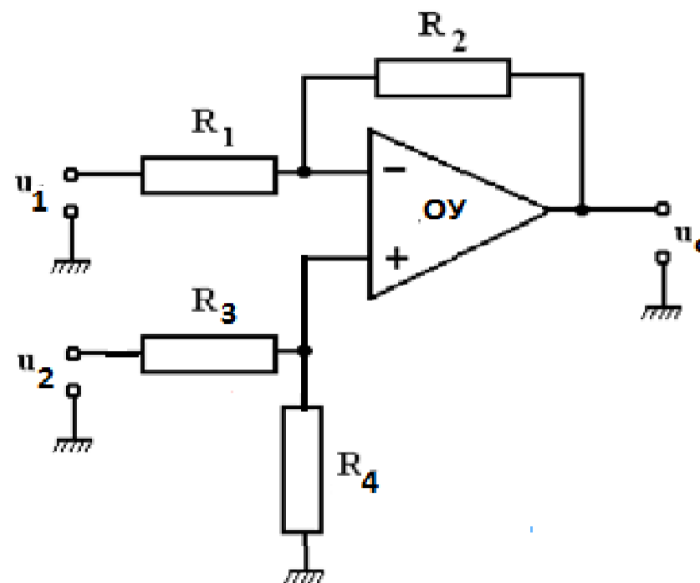


Европейски социален фонд

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

Ако  $R_1=R_3$  и  $R_2=R_4$  следва:

$$U_0 = -\frac{R_2}{R_1} (U_1 - U_2)$$



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!*



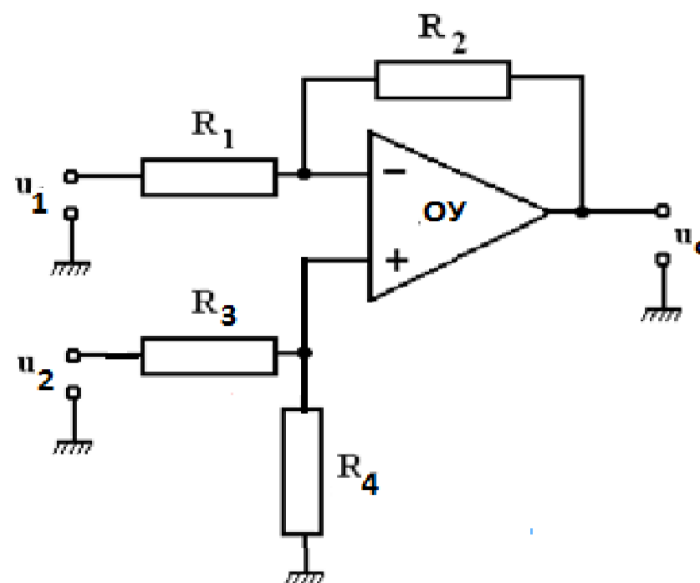
Европейски социален фонд

## 2

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

Недостатък на схемата от фигурата са малкият CMRR и малките входни съпротивления.

Този недостатък се избягва чрез включване на допълнителни компоненти в конфигурацията, наречена инструментален 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!*

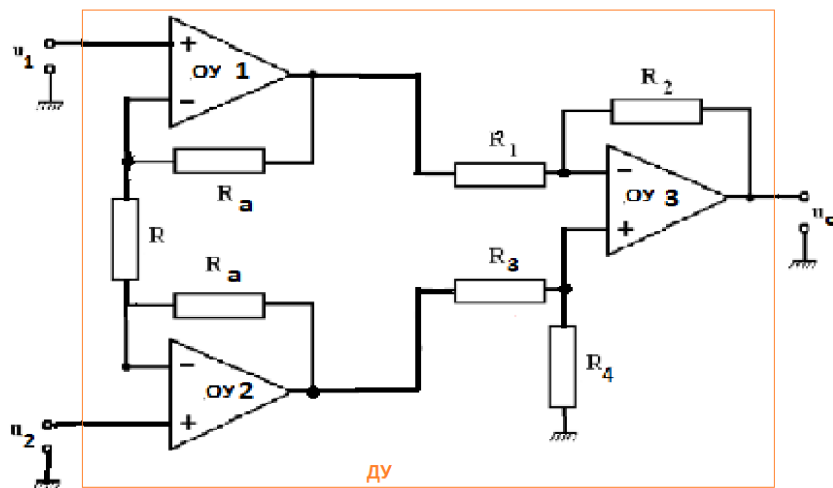


Европейски социален фонд

## Основни параметри и принципи на изграждане на електронните измервателни усилватели

**Инструментален усилвател** - трите ОУ са в един интегрален чип и по такъв начин образуват диференциален усилвател (ДУ).

ДУ обикновено се използва за измерване на малки напрежения.



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

## Заклучение

Днешните електронни измервателни уреди,  
аналогови или цифрови,  
съдържат електронни аналогови преобразователи,  
реализирани на базата на операционни усилватели.



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

**Основна:**

1. Колев Н., Лазаров А., Манов Е, Матраков Б, Туренков В., Електрически измервания - учебник под общата редакция на Б. Матраков, ИПК Ту-София, ISBN: 054-438-064-7, 1999г.
2. Метрология и измервателна техника – книга справочник в три тома под общата редакция на проф. Радев, ISBN 978-954-334-093-4, Софиятрейд, София, 2010г.

**Допълнителна:**

3. Regtien, Heijden, Korsten, Olthius, Measurement Science for Engineers, University of Twente, The Netherlands, Foreword by Prof. Filkelstein, Publisher: Elsevier Science & Technology Books, ISBN: 1903996589, 2004
4. Tumanski S, Principals of Electrical Measurement, Published in 2006 by CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742, International Standard Book Number-10: 0-7503-1038-3 (Hardcover), International Standard Book Number-13: 978-0-7503-1038-3 (Hardcover), Library of Congress Card Number 2005054928, 2006
5. Webster J.G., Electrical Measurement, Signal Processing and Displays, International Standard Book Number 0-8493-1733-9, Library of Congress Card Number 2003048530, Printed in the United States of America, 2004



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