

 **Технически университет – София**

**Факултет по автоматика**

**Катедра „Електроизмервателна техника“**

**Презентация**

**Модул № 4**

**Електронни волтметри за постоянно напрежение**

**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

- **Класификация на електронните волтметри**
  - **Електронни волтметри за постоянно напрежение с пряко усилване**
  - **Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване**
  - **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!***



## Класификация на електронните волтметри

*В зависимост от принципа на изграждане електронните волтметри за постоянно напрежение могат да бъдат:[1]*

- с пряко усилване;*
- с предварително 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

## Класификация на електронните волтметри

Електронните волтметри за постоянно напрежение с пряко усилване

се използват за измерване на напрежения  
от 10mV до 1000V.

Електронните волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

се използват за измерване на напрежения  
по-малки от 10mV.



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!*

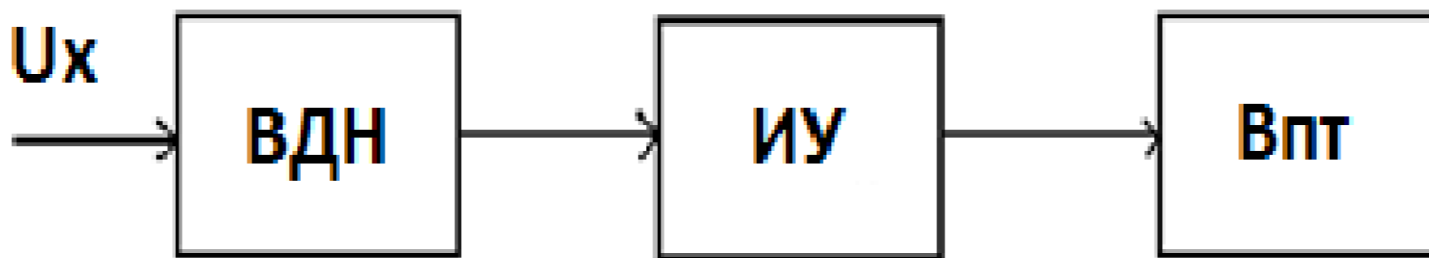


Европейски социален фонд

2

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с пряко усилване

Обобщена структурна схема на волтметър за постоянно напрежение с пряко усилване



ВДН – входен делител на напрежение

ИУ – измервателен усилвател

Впт – волтметър за постоянно напрежение



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

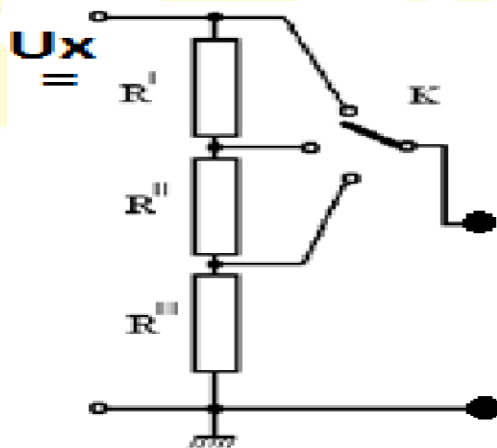
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с пряко усилване

Входният делител на напрежение (ВДН) е резисторен делител на напрежение чрез който входното напрежение  $U_x$  се намалява до стойност, подходяща за измервателния усилвател (ИУ).



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

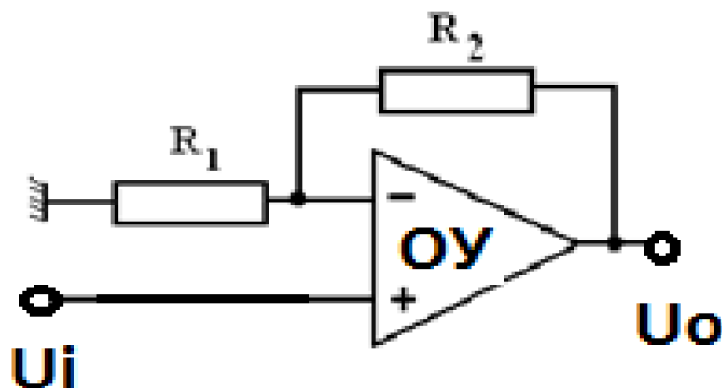
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



## 2

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с пряко усилване

Измервателният усилвател за постоянно напрежение (ИУ) може да се реализира чрез операционен усилвател (ОУ), свързан в неинвертиращ режим на работа



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!*

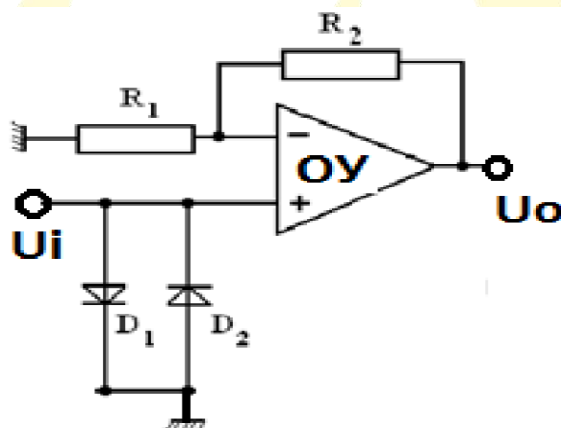


Европейски социален фонд

2

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с пряко усилване

ОУ се защитава от претоварване чрез диоден ограничител D1-D2.



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!*



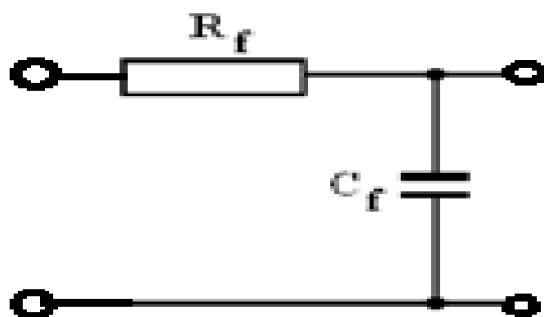
Европейски социален фонд



## 2

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с пряко усилване

Към входа на ОУ се включва филтър за подтискане влиянието на променливотокови сигнали.



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!*

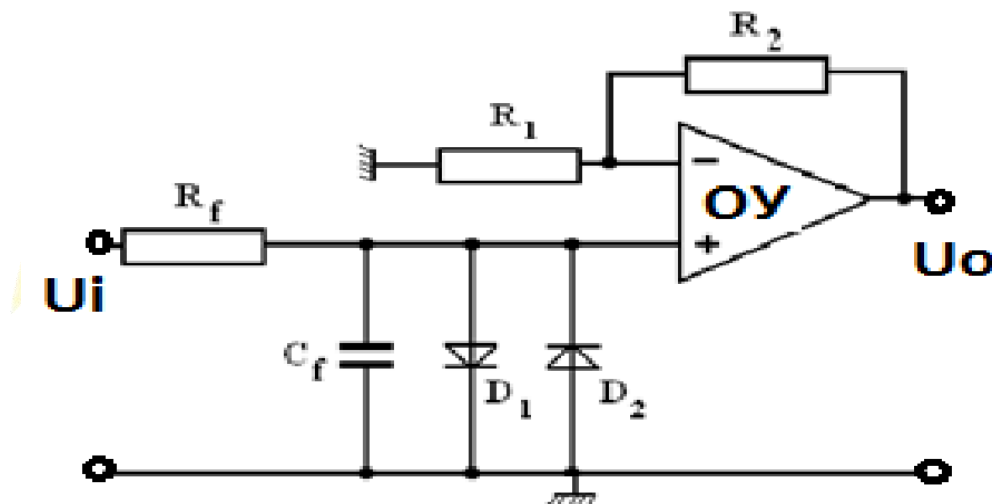


Европейски социален фонд

## 2

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с пряко усилване

За измервателния усилвател с филтър и ограничител се получава следната схема



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

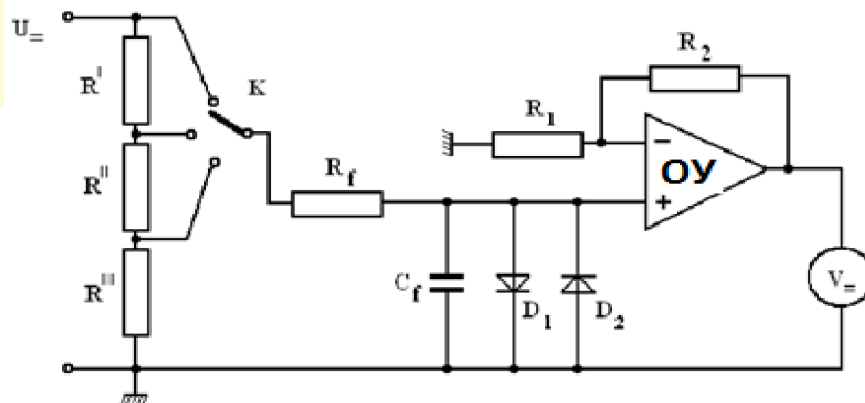
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с пряко усилване

Принципната схема на електронен волтметър за постоянно напрежение се получава като се добави обхватния ограничител, а след ОУ се свърже волтметър за постоянно напрежение, например от магнитоелектричната система.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

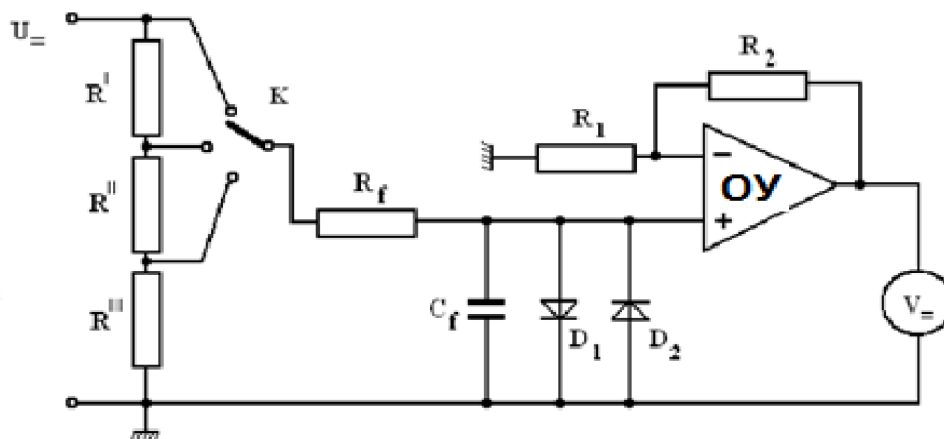
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с пряко усилване

Основната приведена грешка на тези волтметри е от 0,5 до 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

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

Електронните волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване се използват за измерване на малки постоянни или бавнопроменящи се напрежения (под 10mV).

При ниски постоянни напрежения точността на усилването се ограничава от инфранискочестотните шумове (дрейф на нулата), които се дължат главно на зависимостта на параметрите на усилвателя от температурата и захранващите 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

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

За намаляване на ефекта на дрейфа на нулата се използват усилватели, които преобразуват спектъра на усилваните сигнали. [4]

Съществуват две техники:

- чрез преобразуване на постояннотоковия в променливотоков сигнал  
(**chopper amplifier**);
- чрез принципа на автоматично зануляване  
(**auto-zero technique**);



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 волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

При техниката на преобразуване на постояннотокския в променливотоков сигнал се отделя постояннотокския дрейф на нулата и полезен променливотоков сигнал, който се усилва, а след това лесно се преобразува отново в постояннотоков сигнал.

Това са усилватели с прекъсване на сигнала чрез прекъсвач  
(**chopper amplifier**),  
наречени още индиректни усилватели  
или усилватели с модулация-демодулация  
(**МДМ-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

3

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

При техниката, използваща автоматично зануляване, усилвателят периодично се изключва от входа и входа се дава накъсо към маса, като по такъв начин се компенсира нулевата компонента.

Постигат се нива на дрейфа на нулата  
по-ниски от 5 nV/ °C.



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 волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

Усилвателите с модулация-демодулация (МДМ-усилвателите) се делят на:

- нестабилизирани, с генериране на собствен референтен сигнал;
- стабилизирани.



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 волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

МДМ-усилвателите  
се изпълняват като отделни модули  
или като елементи от интегрални схеми.

Дрейфът на нулата при тях обикновено  
е по-малък от  $1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$



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

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

### Структурна схема на нестабилизиран МДМ-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!*

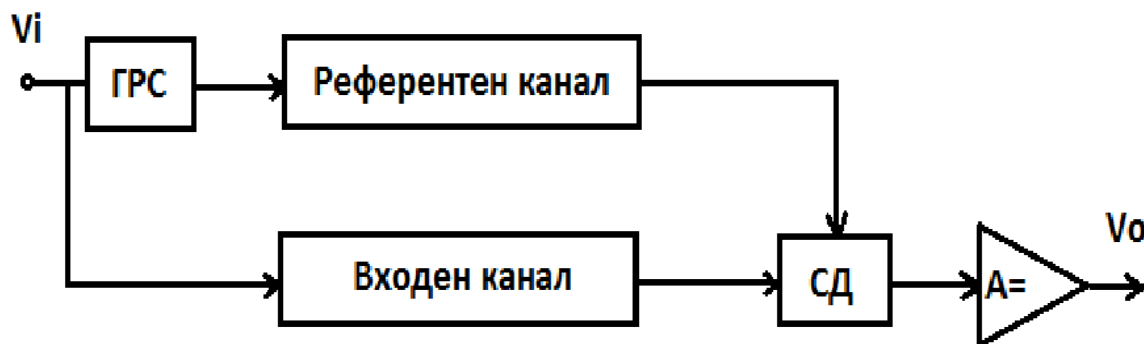


Европейски социален фонд

3

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

ГРС – генератор на референтен сигнал, система от синхронен детектор с контролиран чрез напрежение осцилатор.



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!*



3

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

СД – синхронизиран детектор

A= - нормален постояннотоков усилвател



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

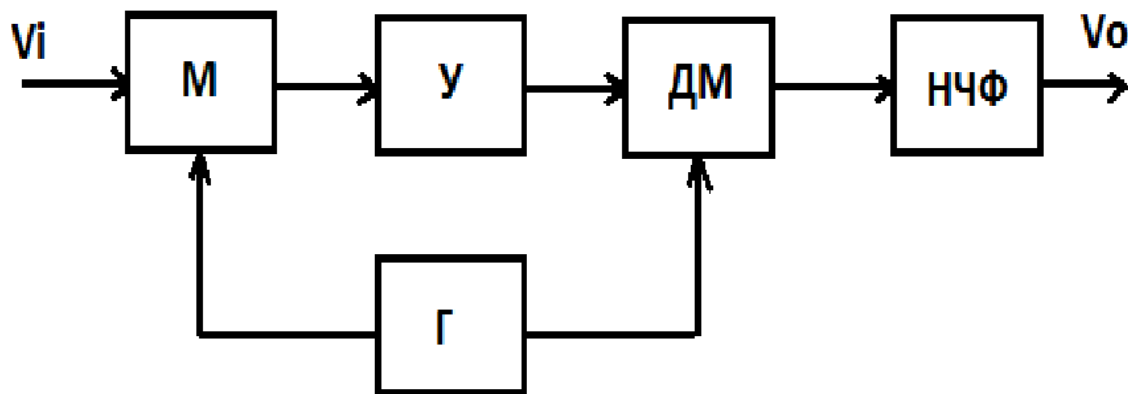
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през  
целия живот и развитие на компетенции”*

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!*



## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

Структурна схема на стабилизирани МДМ-усилвател



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

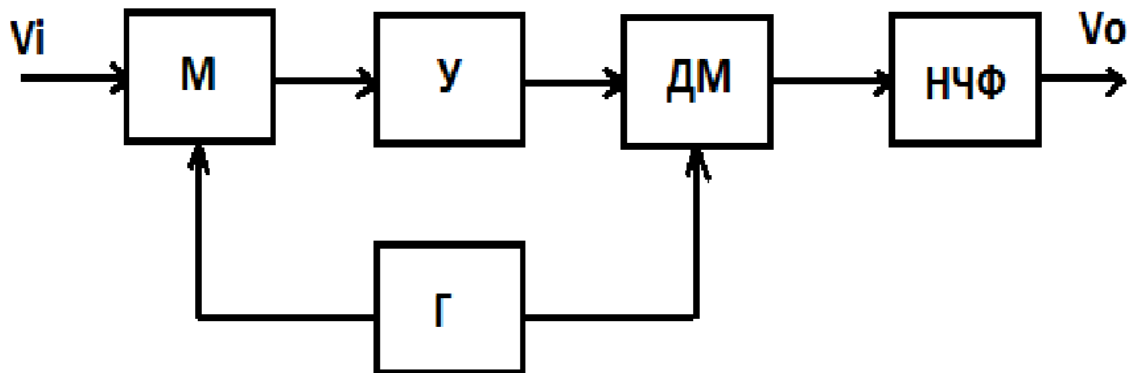
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през  
целия живот и развитие на компетенции”*

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

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване



М – модулатор

У – усилвател за променливо напрежение

ДМ – демодулатор

НЧФ – нискочестотен филтър

Г - генератор



Европейски съюз

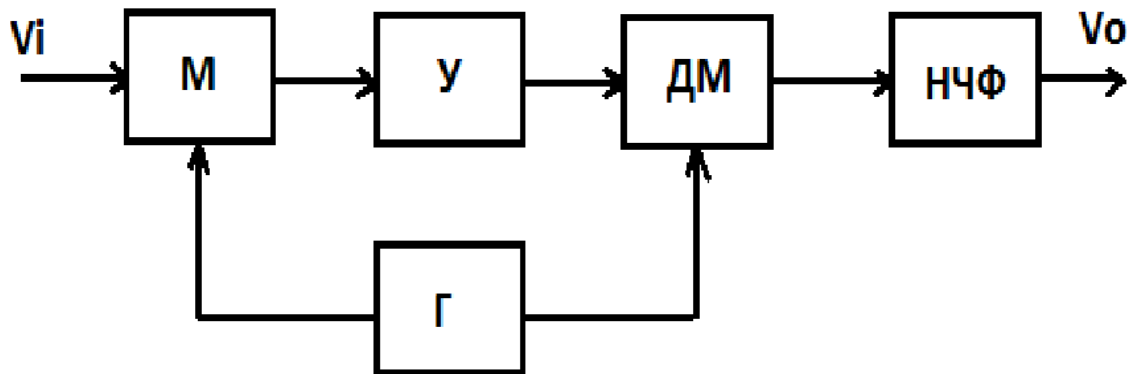
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„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 волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване



Изходният сигнал на генератора (Г) се модулира по амплитуда от входния сигнал  $V_i$  чрез модулятора (М) и се усилва от усилвателя за променливо напрежение (У) и след което формата на усиления сигнал се възстановява чрез демодулиране.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

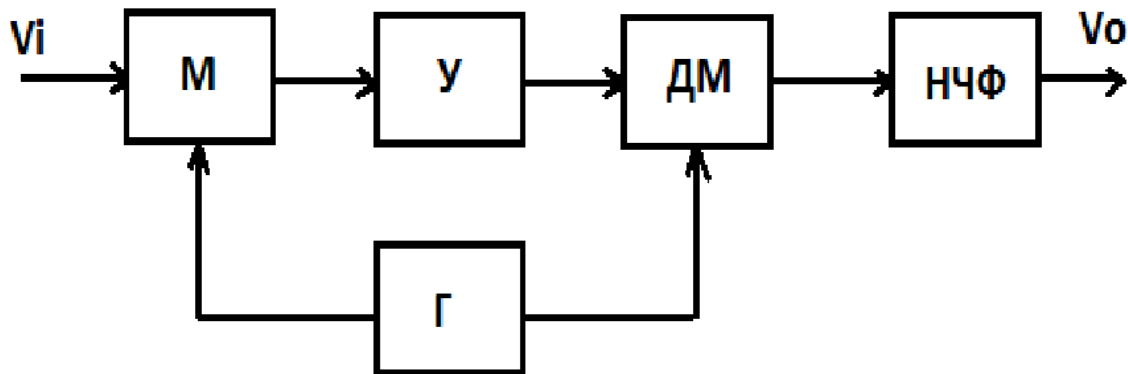
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд



## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване



Демодулирането по същество представлява фазочувствително изправяне. Необходимо е и филтриране (НЧФ) на изходния сигнал преди да бъде подаден за последваща обработка, например към волтметър.



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 волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

Недостатъци на МДМ-усилвателите са ограничената честотна лента, трудно реализиране на диференциален усивател, както и използването на филтриране (НЧФ) на изходния сигнал.

Това е причината напоследък все повече да се използват усилватели, използващи принципа на автоматично зануляване (auto-zero technique).



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

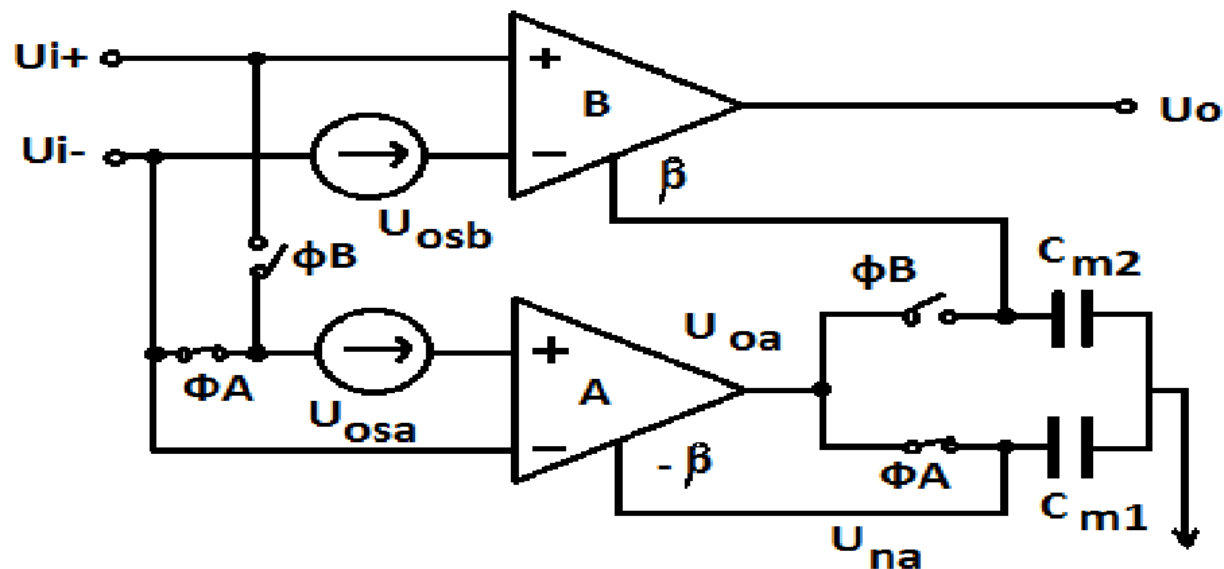
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

Принцип на работа на auto-zero усилвател по Analog Devices 2005 – модел AD8551.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

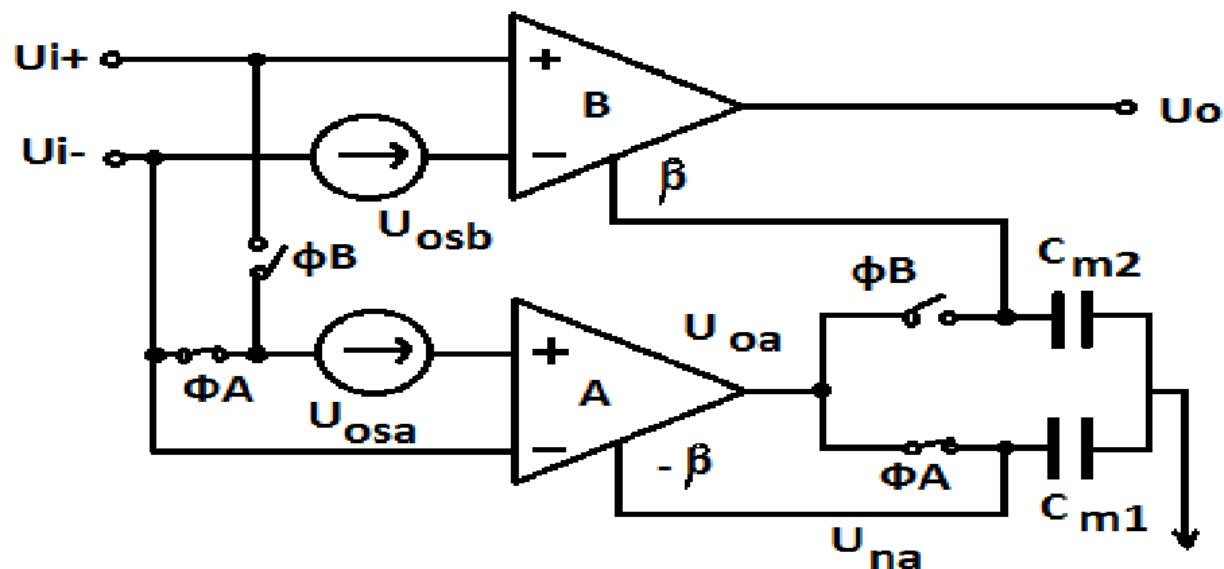
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

Принцип на работа на auto-zero усилвател по Analog Devices 2005 – модел AD8551.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

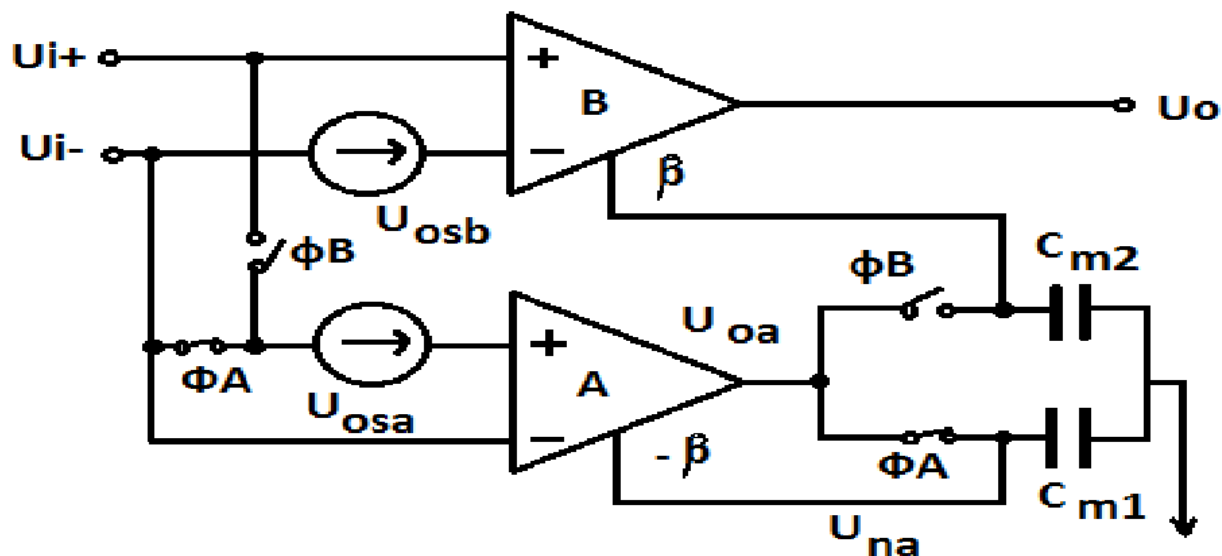
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

## Електронни волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

Принцип на работа на auto-zero усилвател се осъществява на две стъпки: 1) Затворени  $\Phi A$ -ключове и отворени  $\Phi B$ -ключове, при което усилвателя  $B$  е свързан към изхода, а  $A$  е даден на късо.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

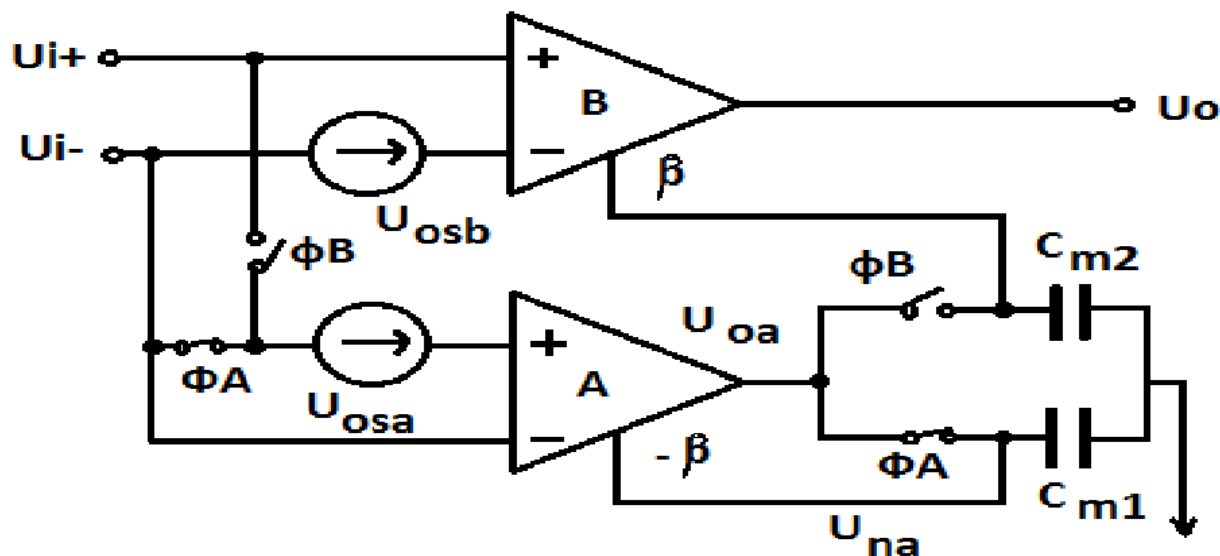
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

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 волтметри за постоянно напрежение с предварително преобразуване

2) На втората стъпка са отворени ФА-ключовете, а ФВ-ключовете са затворени, при което компонентата на дрейфа на нулата се намалява с фактор  $(1+\beta)$ .



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!*



## Заклучение

Трябва да се отбележи, че не само аналоговите, но и цифровите волтметри за много ниски постоянни напрежения съдържат модули с постояннотокови усилватели с предварително преобразуване.

Постояннотокови усилватели с предварително преобразуване се интегрират и в много от сензорите, когато е необходимо усилване на много ниски постоянни или бавнопроменящи се 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

**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