

 **Технически университет – София**



**Факултет по автоматика**

**Катедра „Електроизмервателна техника“**

**Презентация модул № 9**

## **ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА И РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ**

*дисциплина „Електрически измервания“ – ВАІСЕ27,  
ОКС „Бакалавър“ от Учебен план за студентите на специалност  
АВТОМАТИКА, ИНФОРМАЦИОННА И УПРАВЛЯВАЩА ТЕХНИКА,  
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

## 9.1 Измерване на активна мощност в трифазни вериги

### 9.1.1 Измерване на активна мощност в симетрични трифазни вериги

### 9.1.2 Измерване на активна мощност в несиметрични трифазни вериги



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

- 9.1 Измерване на активна мощност в трифазни вериги
    - 9.1.1 Измерване на активна мощност в симетрични трифазни вериги
    - 9.1.2 Измерване на активна мощност в несиметрични трифазни вериги
  - 9.2 Измерване на реактивна мощност в трифазни вериги
    - 9.2.1 Измерване на реактивна мощност в симетрични трифазни вериги
    - 9.2.2 Измерване на реактивна мощност в несиметрични трифазни вериги
- 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!*



Европейски социален фонд

# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на активна мощност в трифазни вериги

Средна активна мощност в трифазна верига

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3) dt$$



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на активна мощност в трифазни вериги

Средна активна мощност в трифазна верига

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3) dt$$

За синусоидални режими

$$P = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3$$



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на активна мощност в трифазни вериги

Средна активна мощност в трифазна верига

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3) dt$$

За синусоидални режими

$$P = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3$$

Методите и схемните решения за измерване на мощността в трифазни вериги зависят от симетричността на товара и от начина му на присъединяване са:

- трипроводно захранване - за ниско, средно и високо напрежение;
- четирипроводно захранване - за ниско и средно 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

# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на **активна мощност** в симетрични трифазни вериги

При напълно симетрична трифазна верига е изпълнено

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_\phi$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_\phi$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$$



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на **активна мощност** в симетрични трифазни вериги

При напълно симетрична трифазна верига е изпълнено

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_\phi$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_\phi$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$$

мощността може да се измери с един ватметър, свързан към една (която и да е) фаза, като получения резултат се умножи

$$P = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3$$

- константа на ватметъра  $C_W$
- показание в деления  $\theta$



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!*





# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на **активна мощност** в симетрични трифазни вериги

При напълно симетрична трифазна верига е изпълнено

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_\phi$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_\phi$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$$

мощността може да се измери с един ватметър, свързан към една (която и да е) фаза, като получения резултат се умножи

$$P = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3 = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi = 3C_W \theta$$

- константа на ватметъра  $C_W$
- показание в деления  $\theta$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

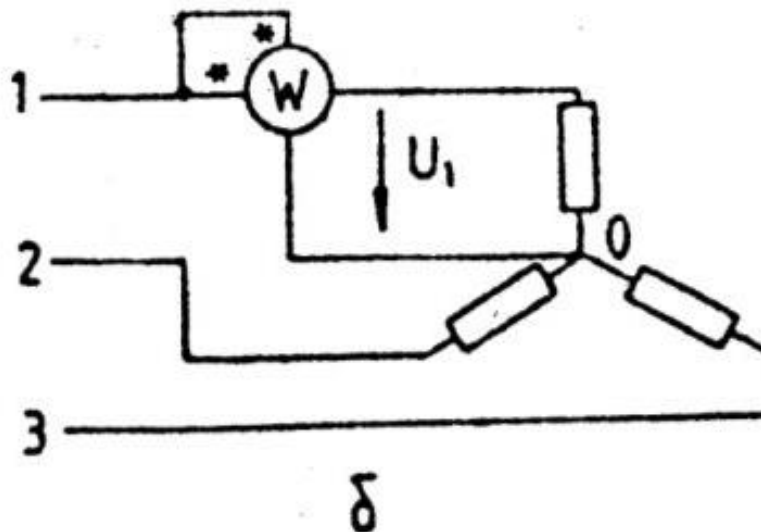
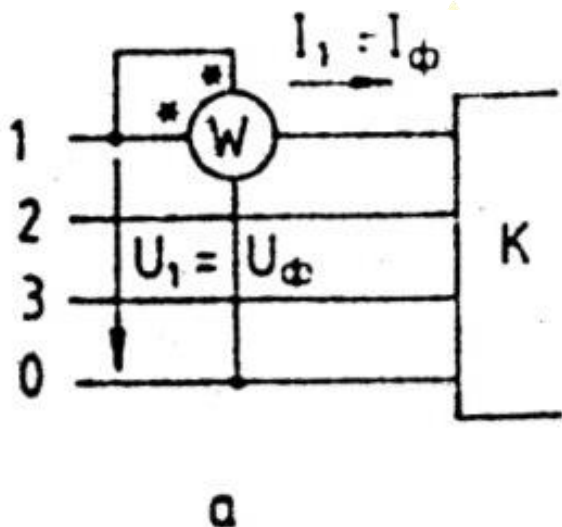
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на активна мощност в симетрични трифазни вериги

При **четирипроводно** захранване (фиг. а) или трипроводно захранване с **достъпен** звезден център на консуматора (фиг. б), токовата верига се свързва в произволна фаза, а напрежението – между същата фаза и нулевия проводник, съответно достъпния център на консуматора.



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!*



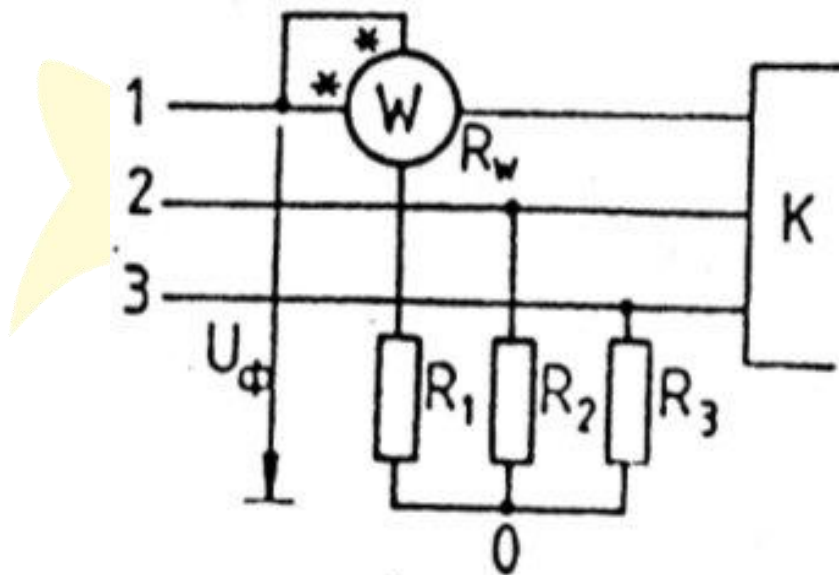
Европейски социален фонд

# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на активна мощност в симетрични трифазни вериги

В случаите на симетрична трипроводна верига с **недостъпен** център или консуматор в схема „триъгълник“ се създава изкуствена нулева точка  $O$  чрез изравнени по стойност съпротивления

$$R_1 + R_W = R_2 = R_3$$



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на активна мощност в несиметрични трифазни вериги

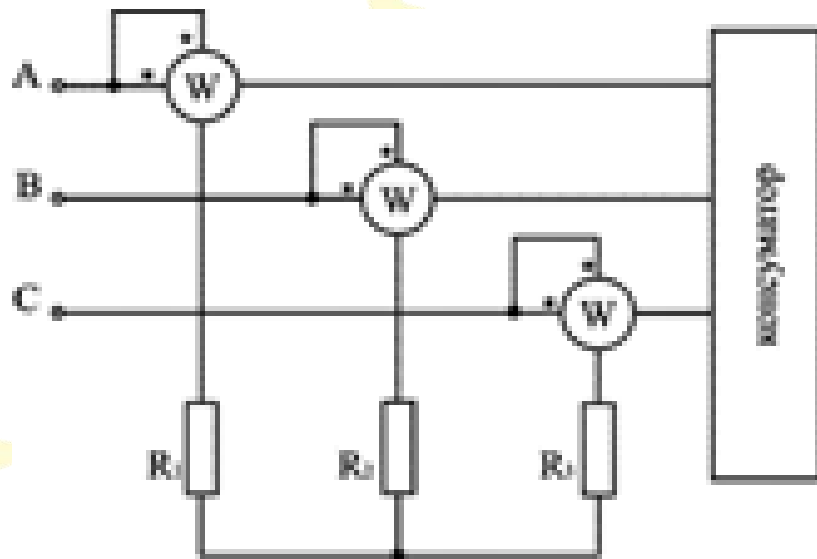
При несиметрична трифазна верига

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_\phi$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_\phi$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$$

При несиметрично натоварване на фазите се налага да се измерва мощността на всяка отделна фаза.



$$P = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3 =$$



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!*



# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на активна мощност в несиметрични трифазни вериги

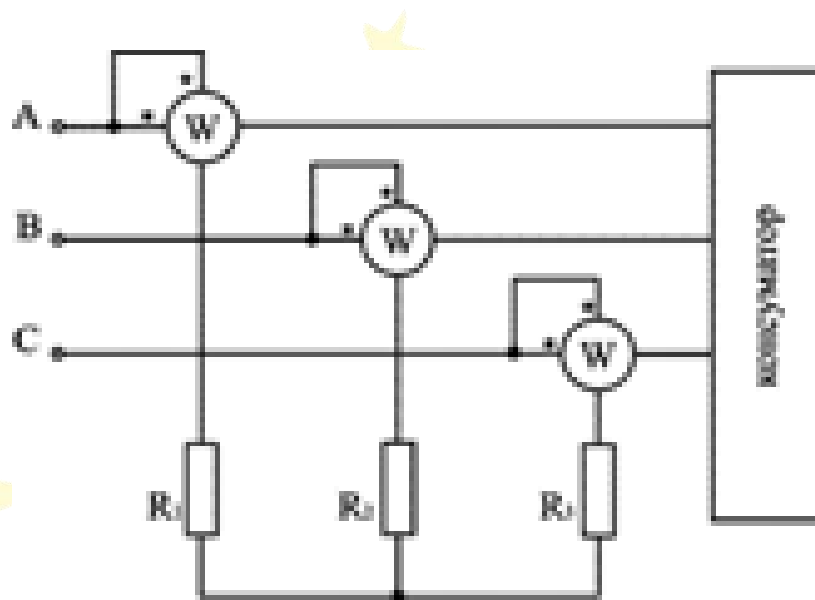
При несиметрична трифазна верига

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_\phi$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_\phi$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$$

При несиметрично натоварване на фазите се налага да се измерва мощността на всяка отделна фаза.



$$P = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3 = \\ = C_{W1} \theta_1 + C_{W2} \theta_2 + C_{W3} \theta_3$$



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на активна мощност в несиметрични трифазни вериги

Общата активна мощност се получава чрез събиране на показанията на ватметрите в трите фази

$$P = C_{W1}\theta_1 + C_{W2}\theta_2 + C_{W3}\theta_3$$

Резултатът е валиден за двата случая на четирипроводно и на трипроводно свързване на товара. Условието за валидност на при трипроводно свързване е

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

Това реално означава отсъствие на утечни токове при товара.



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

Измерване на активна мощност в несиметрични трифазни вериги  
Схема на Арон

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3) dt = \frac{1}{T} \int_0^T [i_1 (u_1 - u_3) + i_2 (u_2 - u_3)] dt =$$



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на активна мощност в несиметрични трифазни вериги Схема на Арон

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3) dt = \frac{1}{T} \int_0^T [i_1 (u_1 - u_3) + i_2 (u_2 - u_3)] dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T (u_{13} i_1 + u_{23} i_2) dt = \frac{1}{T} \int_0^T [i_1 (u_1 - u_3) + i_2 (u_2 - u_3)] dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T (u_{13} i_1 + u_{23} i_2) dt \end{aligned}$$



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!*



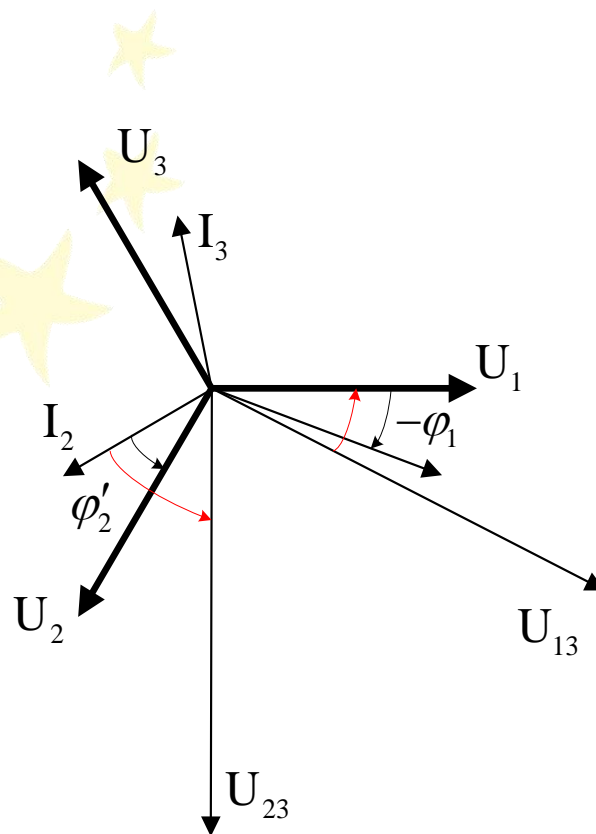
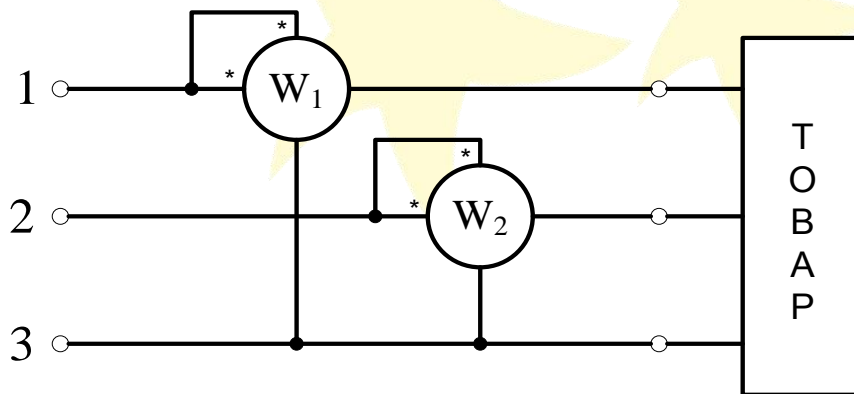
Европейски социален фонд



# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на активна мощност в несиметрични трифазни вериги Схема на Арон

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (u_{13}i_1 + u_{23}i_2) dt =$$
$$= U_{13}I_1 \cos(30^\circ - \varphi_1) + U_{23}I_2 \cos(30^\circ + \varphi_2) =$$
$$= \pm P_{W1} \pm P_{W2}$$



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА АКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на активна мощност в несиметрични трифазни вериги Схема на Арон

Схемата съответства на израза.

Напрежителните вериги на ватметрите са подадени към линейните напрежения, а не към фазовите.

Това е една от най-разпространените и апаратно-ефективни схеми за измерване на трифазна мощност.

Векторната диаграма на приложената схемата на Арон е при симетрична напрежителна система.

При синусоидални режими активната мощност е

$$P = U_{13} I_1 \cos(30^\circ - \varphi_1) + U_{23} I_2 \cos(30^\circ + \varphi_2) = \pm P_{W1} \pm P_{W2}$$

Отрицателните знаци означават, че някой от ватметрите би могъл да бъде с „отрицателно показание“. Напр. при едноквадрантните ватметри, каквито са аналоговите ватметри за активна мощност.



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

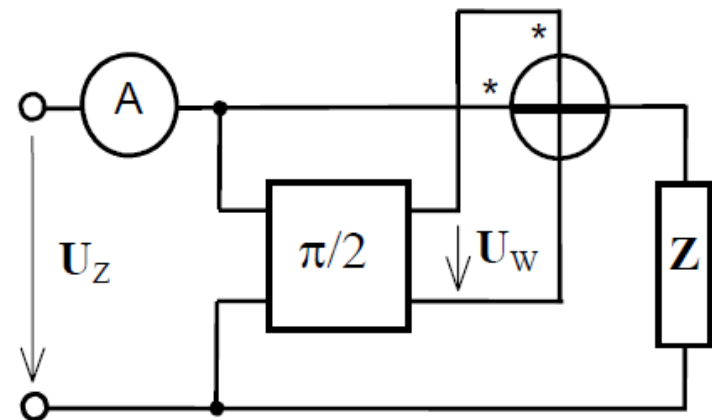
# ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

Измерването на реактивна мощност придобива все по-голямо значение за подобряване на ефективността на енергийната система.

Реактивната мощност характеризира загубите в цялата система – на генератори, трансформатори, електропроводи, консуматори.

Измерването на реактивната мощност се основава на дефазиране на напрежението, подавано към ватметъра спрямо съответно фазово напрежение, пораждащо напрежението върху товара на  $\pi/2$

$$Q = UI \sin \varphi = UI \cos(\varphi - \pi/2)$$



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

В трифазните вериги, реактивната мощност е сума от съответните мощности в отделните фази

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T (u_{1(-j)} i_1 + u_{2(-j)} i_2 + u_{3(-j)} i_3) dt$$

$$-j = e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

Напреженията са равни на фазовите, но изостават от тях на  $\pi/2$

$$Q = U_1 I_1 \sin \varphi_1 + U_2 I_2 \sin \varphi_2 + U_3 I_3 \sin \varphi_3$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

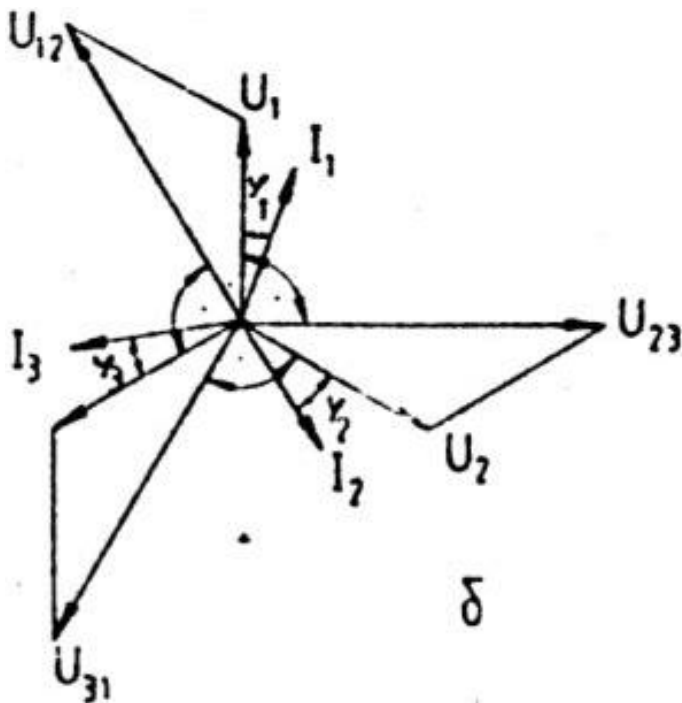
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

# ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

При симетрична по напрежения система, линейните напрежения са в квадратура на съответните фазови напрежения



$$u_{1(-j)} = \frac{u_{23}}{\sqrt{3}}$$

$$u_{2(-j)} = \frac{u_{31}}{\sqrt{3}}$$

$$u_{3(-j)} = \frac{u_{12}}{\sqrt{3}}$$



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!*



# ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на реактивна мощност в симетрични трифазни вериги

Общ израз за реактивната мощност в симетрични трифазни системи

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T (u_{1(-j)} i_1 + u_{2(-j)} i_2 + u_{3(-j)} i_3) dt =$$

$$u_{1(-j)} = \frac{u_{23}}{\sqrt{3}}$$

$$u_{2(-j)} = \frac{u_{31}}{\sqrt{3}}$$

$$u_{3(-j)} = \frac{u_{12}}{\sqrt{3}}$$

При симетричен товар, показанията на трите ватметъра ще бъдат еднакви. Тогава е достатъчно измерването да се осъществи с един ватметър.



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на реактивна мощност в симетрични трифазни вериги

Общ израз за реактивната мощност в симетрични трифазни системи

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{T} \int_0^T (u_{1(-j)} i_1 + u_{2(-j)} i_2 + u_{3(-j)} i_3) dt = \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{T} \int_0^T (i_1 u_{23} + i_2 u_{31} + i_3 u_{12}) dt = \\ &= \frac{3}{\sqrt{3}} \frac{1}{T} \int_0^T i_1 u_{23} dt = \sqrt{3} \frac{1}{T} \int_0^T i_1 u_{23} dt = \sqrt{3} P_{W1} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} u_{1(-j)} &= \frac{u_{23}}{\sqrt{3}} \\ u_{2(-j)} &= \frac{u_{31}}{\sqrt{3}} \\ u_{3(-j)} &= \frac{u_{12}}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$

При симетричен товар, показанията на трите ватметъра ще бъдат еднакви. Тогава е достатъчно измерването да се осъществи с един ватметър.



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

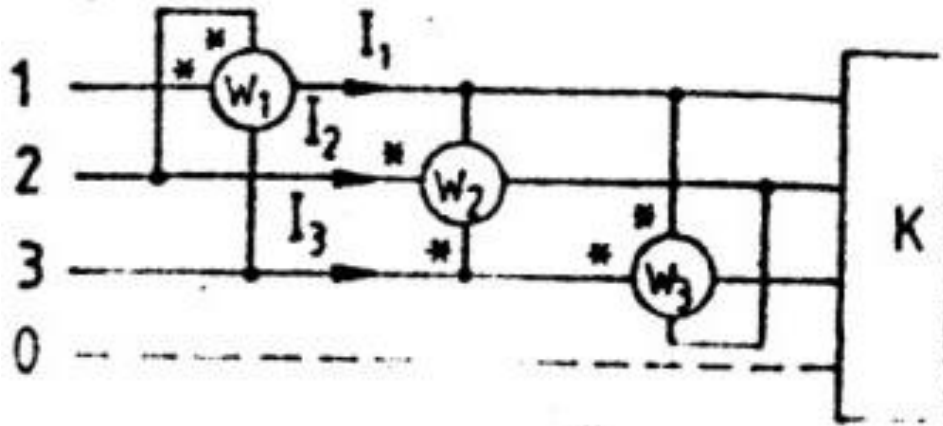
# ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на реактивна мощност в несиметрични трифазни вериги

При несиметричен товар се прилага методът на трите ватметъра. Общият израз за реактивната мощност е

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{T} \int_0^T (i_1 u_{23} + i_2 u_{31} + i_3 u_{12}) dt$$

При несиметричен товар се прилага методът на трите ватметъра



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

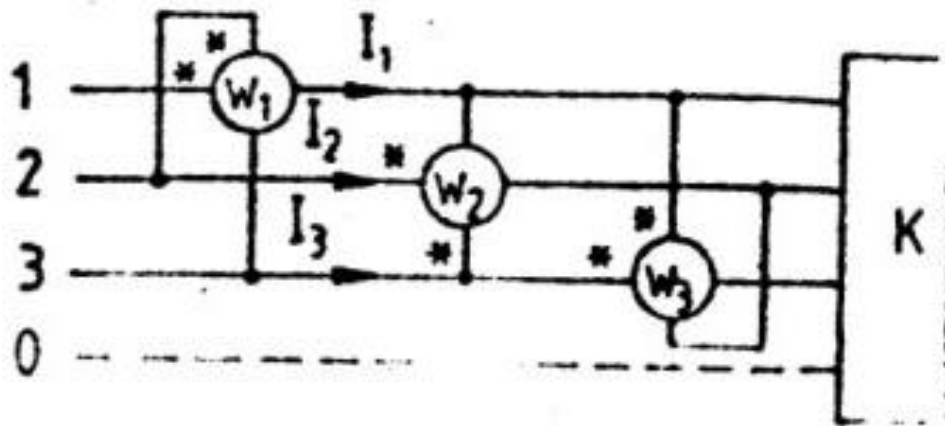


# ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на реактивна мощност в несиметрични трифазни вериги

Реактивната мощност се определя от сумата от показанията на трите ватметъра

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[ I_1 U_{23} \cos \left( \frac{\pi}{2} - \varphi_1 \right) + I_2 U_{31} \cos \left( \frac{\pi}{2} - \varphi_2 \right) + I_3 U_{12} \cos \left( \frac{\pi}{2} - \varphi_3 \right) \right] =$$
$$= \frac{1}{\sqrt{3}} (P_{W1} + P_{W2} + P_{W3})$$



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на реактивна мощност в несиметрични трифазни вериги

При измерване на реактивна мощност в трипроводна система с несиметричен товар се използва методът на двата ватметъра (схема на Арон) с изкуствена нула.

Условие за приложимост  $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{T} \int_0^T (i_1 u_{23} + i_2 u_{31} + i_3 u_{12}) dt =$$



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

# ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на реактивна мощност в несиметрични трифазни вериги

При измерване на реактивна мощност в трипроводна система с несиметричен товар се използва методът на двата ватметъра (схема на Арон) с изкуствена нула.

Условие за приложимост  $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{T} \int_0^T (i_1 u_{23} + i_2 u_{31} + i_3 u_{12}) dt = \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1}{T} \int_0^T [i_1 (u_{23} - u_{31}) + i_3 (u_{12} - u_{31})] dt = \\ &= \sqrt{3} \frac{1}{T} \int_0^T [i_1 (-u_3) + i_3 (u_1)] dt \end{aligned}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

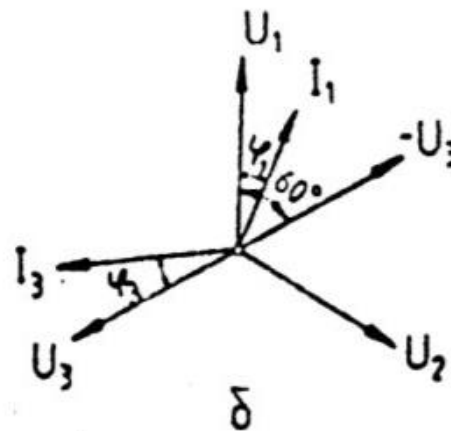
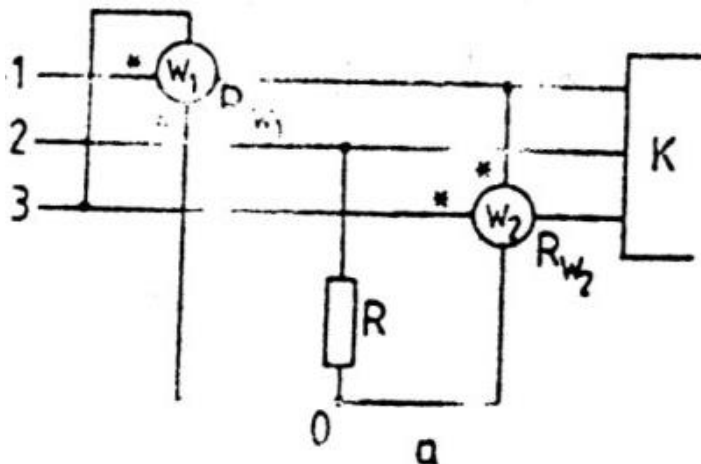
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

# ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на реактивна мощност в симетрични трифазни вериги



На основа на векторната диаграма

$$Q = \sqrt{3} \frac{1}{T} \int_0^T [i_1(-u_3) + i_3(u_1)] dt =$$

Знаците  $\pm$  съответно се съобразяват с посоката на отклонение на ватметрите, като резултантната реактивна мощност може да бъде както положителна, така и отрицателна.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

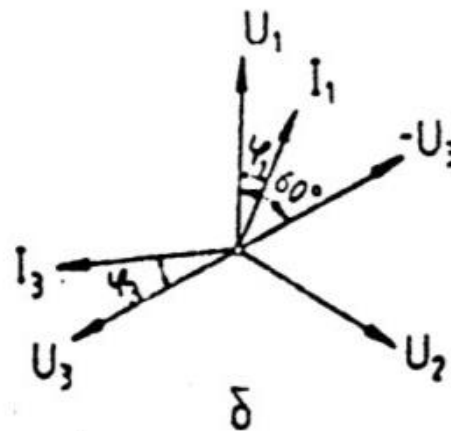
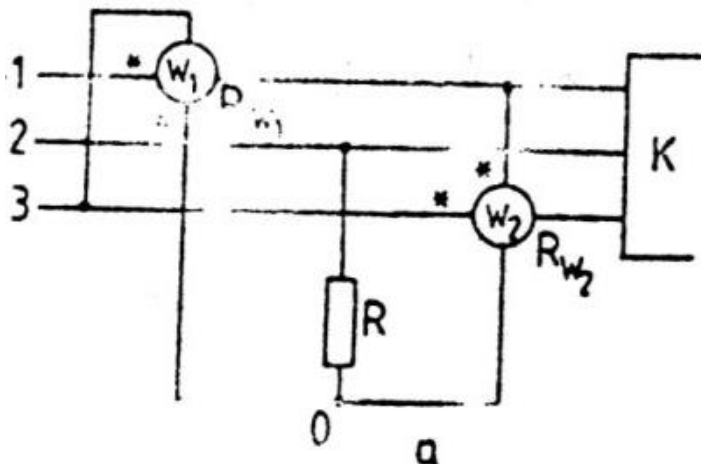
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



Европейски социален фонд

# ИЗМЕРВАНЕ НА РЕАКТИВНА МОЩНОСТ В ТРИФАЗНИ ВЕРИГИ

## Измерване на реактивна мощност в симетрични трифазни вериги



На основа на векторната диаграма

$$Q = \sqrt{3} \frac{1}{T} \int_0^T [i_1(-u_3) + i_3(u_1)] dt = \sqrt{3} [-U_3 I_1 \cos(60^\circ - \varphi_1) + U_1 I_3 \cos(120^\circ - \varphi_3)] = \sqrt{3} (\pm P_{W1} \pm P_{W2})$$

Знаците  $\pm$  съответно се съобразяват с посоката на отклонение на ватметрите, като резултантната реактивна мощност може да бъде както положителна, така и отрицателна.



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

# ЛИТЕРАТУРА

## Компенсационен метод за измерване на електрически величини

- Електрически измервания – под общата редакция на проф. Борис Матраков, София, ИПК при ТУ, 1999
- Електрически измервания – под общата редакция на проф. Ал. Балтаджиев, София, ДИ Техника, 1977
- Метрология и измервателна техника, том 1,2,3 - под общата редакция на проф. Христо Радев, София, Софтрейд, 2010.



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