

 **Технически университет – София**

Факултет по Автоматика

Катедра „Електроизмервателна техника“

Модул № 1

**Измерване на напрежения и токове с
електромеханични измервателни уреди**

Доц. д-р Георги Милушев

дисциплина „Електрически измервания“ – FBE21
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

Области на приложение на електромеханичните уреди

Във всички случаи когато е необходимо с един поглед да се получава представителна информация за процесите.

Аналоговите скали се възприемат МИГНОВЕННО



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

Области на приложение на електромеханичните уреди



Когато е необходимо да се избегне допълнително захранване. Енергията за движение на стрелката е за сметка на енергията в измервателната верига



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

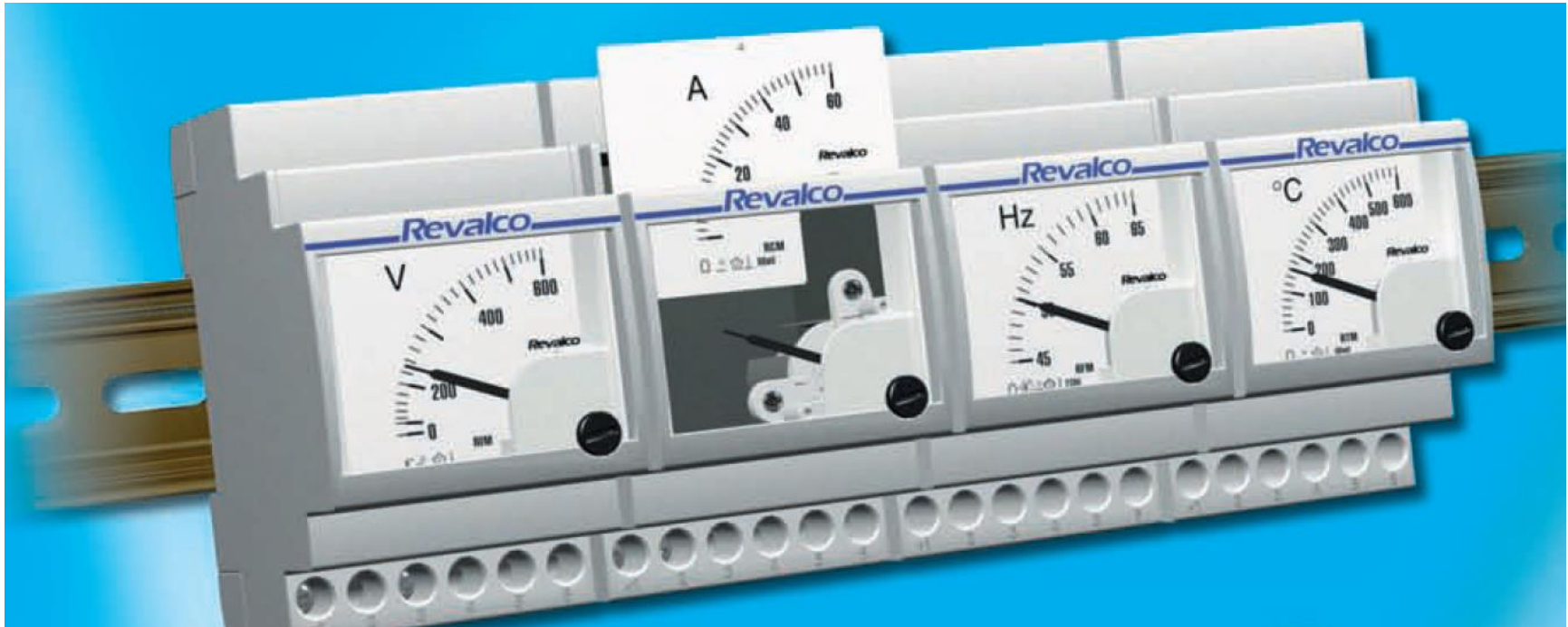
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Области на приложение на електромеханичните уреди



Съчетание на удобно възприемане и ергономичен монтаж удобен за изпълнение от рутинен персонал



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

Области на приложение

Преносими
многообхватни
уреди в
защитено
изпълнение.
Обезпечават
възможност за
следене на
процеси с ниска
скорост



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 съюз



Европейски социален фонд

Области на приложение

Незаменими са при високочестотните измервания с подходящи първични преобразователи

Directional wattmeter

- 2 to 2700 MHz
- 3 mW to 1000 W



ORITEL

RW 501
RW 511
RW 521
RW 5012



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

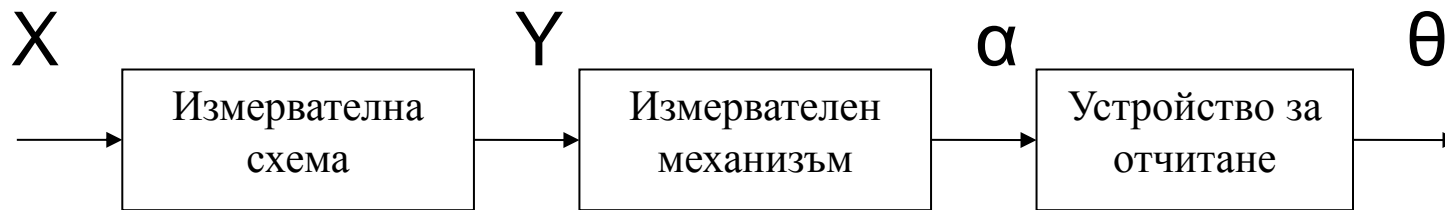
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ. ОБОБЩЕН ИЗРАЗ ЗА ДВИГАТЕЛНИЯ МОМЕНТ



- **Измервателна схема**

$$(1) \quad Y = f_{sh}(X)$$

- **Измервателен механизъм** – подвижна и неподвижна част

- **Двигателен момент**

$$(2) \quad M_d = Y^n f_d(\alpha)$$

Обикновено $n = 1, 2$, а понякога $f(\alpha) = \text{const}$



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

ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ. ОБОБЩЕН ИЗРАЗ ЗА ДВИГАТЕЛНИЯ МОМЕНТ

$$(3) \quad M_d = \left(\frac{dW_{EM}}{d\alpha} \right)_{Y=const}$$

W_{EM} - електромагнитна енергия на системата

$$(4) \quad W_{EM} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m C_i U_i^2 + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n L_j I_j^2 + \frac{1}{2} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^r \sum_{l=1}^r C_{kl} U_{kl}^2 + \frac{1}{2} \sum_{\substack{s=1 \\ s \neq t}}^q \sum_{t=1}^q M_{st} I_s I_t + \sum_{p=1}^l \Psi_{M,p} I_p$$

C_i, L_j, C_{kl}, M_{st} - капацитети, индуктивности, взаимни капацитети и взаимни индуктивности, участващи като елементи от ИМ

Ψ - магнитен поток



Европейски съюз

„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

ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ. ОБОБЩЕН ИЗРАЗ ЗА ДВИГАТЕЛНИЯ МОМЕНТ

ВИДОВЕ ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

МАГНИТОЕЛЕКТРИЧЕСКИ

ЕЛЕКТРОДИНАМИЧНИ

ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ

ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИ

ИНДУКЦИОННИ



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

ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ. ОБОБЩЕН ИЗРАЗ ЗА ДВИГАТЕЛНИЯ МОМЕНТ

(5) $M_s = -f(\alpha) = -W\alpha$ **Съпротивителен момент**
W – коефициент на еластичност
(специфичен съпротивителен момент)

- Галванометрични механизми – съпротивителен момент по механичен път
- Логометрични механизми – съпротивителен момент по електрически път

(6) $M_z = -P \frac{d\alpha}{dt}$ **Момент на затихване – в динамика**
P – коефициент на затихване

(7) $\theta = f_v(\alpha)$ **Функция на преобразуване на устройството на отчитане**

(8) $X = C\theta$ **C – константа на уреда**



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!



КОНСТРУКТИВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИТЕ ИП

РЕГУЛИРАЩ
ВИНТ

ЛАГЕР

ОГРАНИЧИТЕЛ

СТРЕЛКА

ОБТЕГАЧ

РЕГУЛИРАЩ
ПАЛЕЦ

РАЗТЯЖКИ

СПИРАЛНИ
ПРУЖИНКИ

СТРЕЛКА

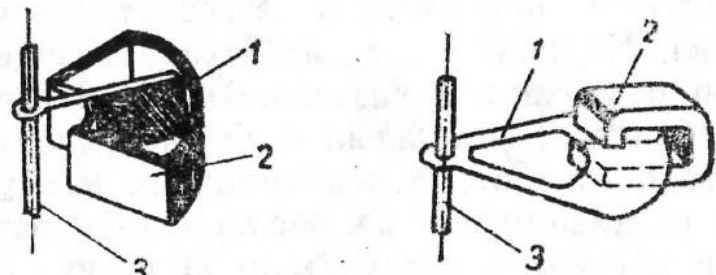
ПРОТИВО-
ТЕЖЕСТИ

ОС

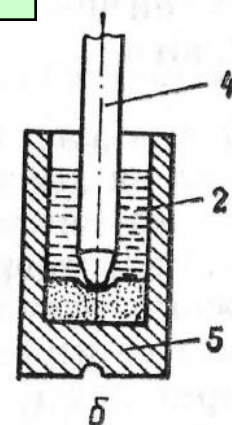
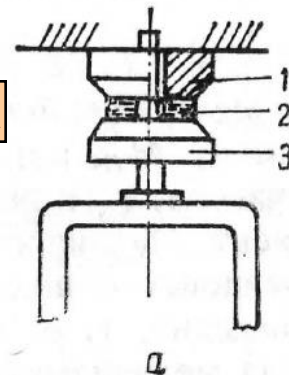
ЛАГЕРНА
ВТУЛКА

ЛАГЕР

ОС



ЗАТИХВАТЕЛИ
(ДЕМПФЕРИ)



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

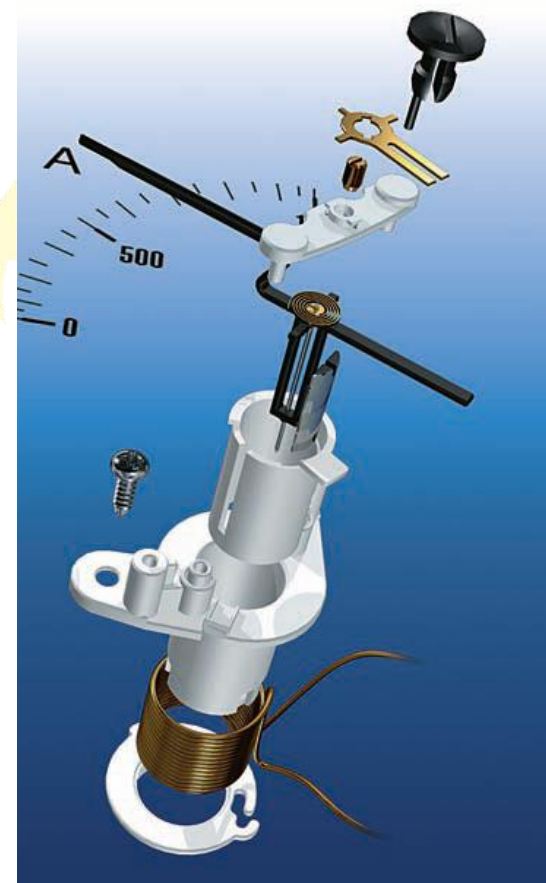
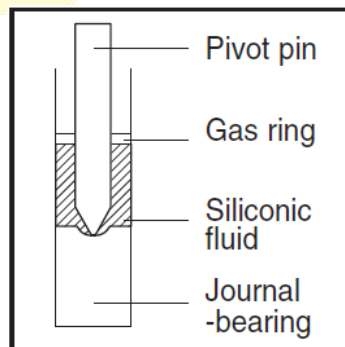
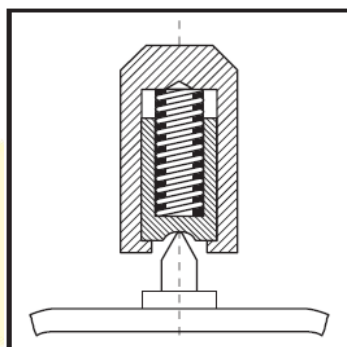
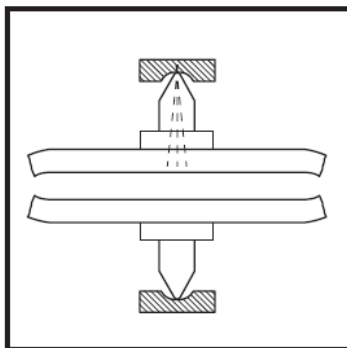
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”

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

КОНСТРУКЦИИ НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИТЕ ИЗМЕРВАТЕЛНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ



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

СТАТИЧЕН РЕЖИМ НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИТЕ ИЗМЕРВАТЕЛНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

$$(9) \quad \frac{d^n \alpha}{dt^n} = 0 \quad \text{за всяко } n$$

$$(10) \quad \sum_{i=1}^n M_t = 0 \quad \text{води до} \quad M_d + M_s = 0$$

$$(11) \quad Y^n f_d(\alpha_s) = W \alpha_s$$

$$(12) \quad \alpha_s = \frac{Y^n f_d(\alpha_s)}{W} = f_Y[Y] = f_Y[f_{sh}(X)] = f_X(X)$$

При $n = 1; f_d(\alpha_s) = C_d = const; Y = C_{sh} X$



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

СТАТИЧЕН РЕЖИМ НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИТЕ ИЗМЕРВАТЕЛНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

$$(13) \alpha_s = \frac{C_d C_{sh}}{W} X = SX \quad S - \text{чувствителност на уреда спрямо входната в-на } X$$

Линейна функция – линейна скала

Ако $n \neq 1$ или $f_d(\alpha_s) \neq const$ или $Y \neq C_{sh} X$ скалата е нелинейна и се линеаризира чрез функцията на преобразуване на УО, т.е.

$$(14) \theta = C_0 X$$

Устойчивостта на отклонението се оценява чрез специфичния установяващ момент:

$$(15) M_y = \lim_{\Delta\alpha \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta\alpha} = \frac{dM}{d\alpha} = \frac{dM_d}{d\alpha} - \frac{dM_s}{d\alpha}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

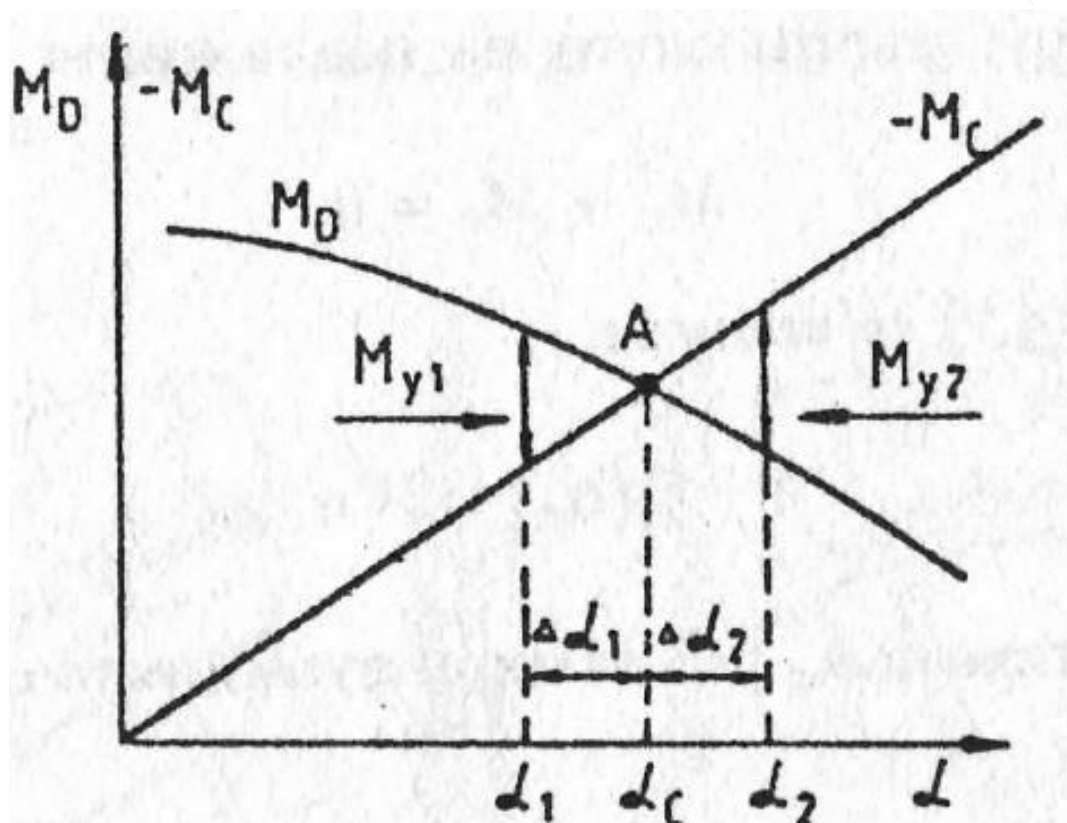
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

СТАТИЧЕН РЕЖИМ НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИТЕ ИЗМЕРВАТЕЛНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ



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

ДИНАМИЧЕН РЕЖИМ НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИТЕ ИЗМЕРВАТЕЛНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Израз за динамичното равновесие:

$$(16) \quad \sum_{i=1}^n (M_t)_i = 0 \quad M_t \text{ - моментна стойност на моментите}$$

- Двигателен M_d
- Съпротивителен M_s
- Затихвателен M_z

$$(17) \quad M_j = -J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} \quad \text{Инерционен момент}$$

J – Инерционен момент на масата на подвижната част

$$(18) \quad J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + P \frac{d\alpha}{dt} + W\alpha = M_d$$



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

ПРЕХОДЕН РЕЖИМ ПРИ СТЬПАЛОВИДНО ВХОДНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

$$M_{d1} = 0 \xrightarrow{t \approx 0} M_{d2}$$

За статичен режим:

$$(19) \quad M_d = |M_s| = W\alpha_s$$

$$(20) \quad J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + P \frac{d\alpha}{dt} + W\alpha = W\alpha_s$$

при въвеждане на относителното отклонение $y = \frac{\alpha}{\alpha_s}$:

$$(21) \quad \frac{J}{W} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{P}{W} \frac{dy}{dt} + y = 1$$

$\omega_0 = \sqrt{\frac{W}{J}}$ собствена кръгова честота на подвижната част



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

ПРЕХОДЕН РЕЖИМ ПРИ СТЬПАЛОВИДНО ВХОДНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

$$\beta = \frac{P}{2\sqrt{WJ}} \quad \text{степен на затихването}$$

$$(22) \quad \frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2 y}{dt^2} + 2 \frac{\beta}{\omega_0} \frac{dy}{dt} + y = 1$$

линейно нехомогенно
диференциално уравнение
с решение $y = y_1 + y_2$

Частно решение на нехомогенното уравнение при $\alpha = \alpha_s \longrightarrow y_1 = 1$
Общото решение на хомогенното уравнение описва свободното
движение на подвижната част:

$$(23) \quad \frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2 y}{dt^2} + 2 \frac{\beta}{\omega_0} \frac{dy}{dt} + 1 = 0$$



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

ПРЕХОДЕН РЕЖИМ ПРИ СТЬПАЛОВИДНО ВХОДНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

I. $\beta = 0$ Теоретично $P = 0 \longrightarrow \beta = 0$ е невъзможно
При $P \neq 0 \longrightarrow P \rightarrow 0$

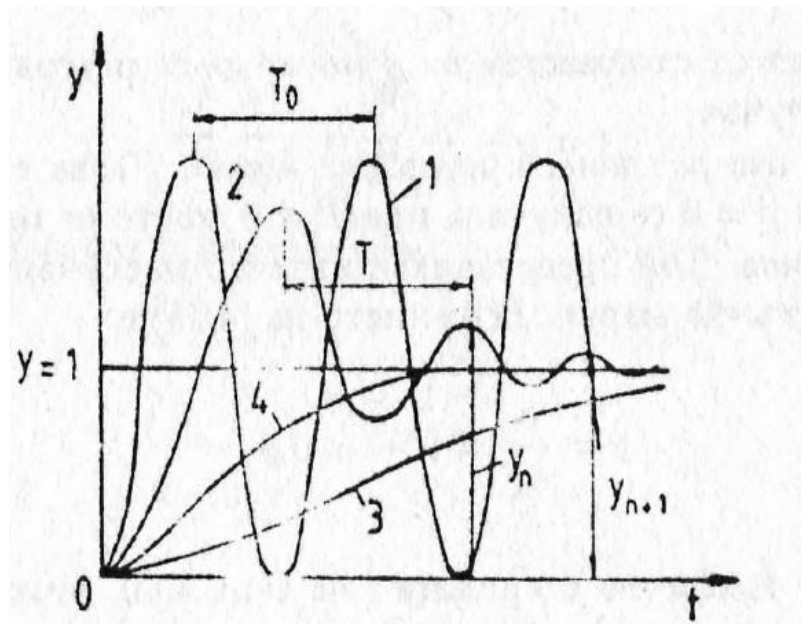
(24) $y = \frac{\alpha}{\alpha_s} = 1 - \cos \omega_0 t$ Крива 1

(25) $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{W}}$

II. $0 < \beta < 1$ Два различни комплексни корена – Крива 2

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

(26) $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\omega_0 \sqrt{1 - \beta^2}} > T_0$



Европейски съюз

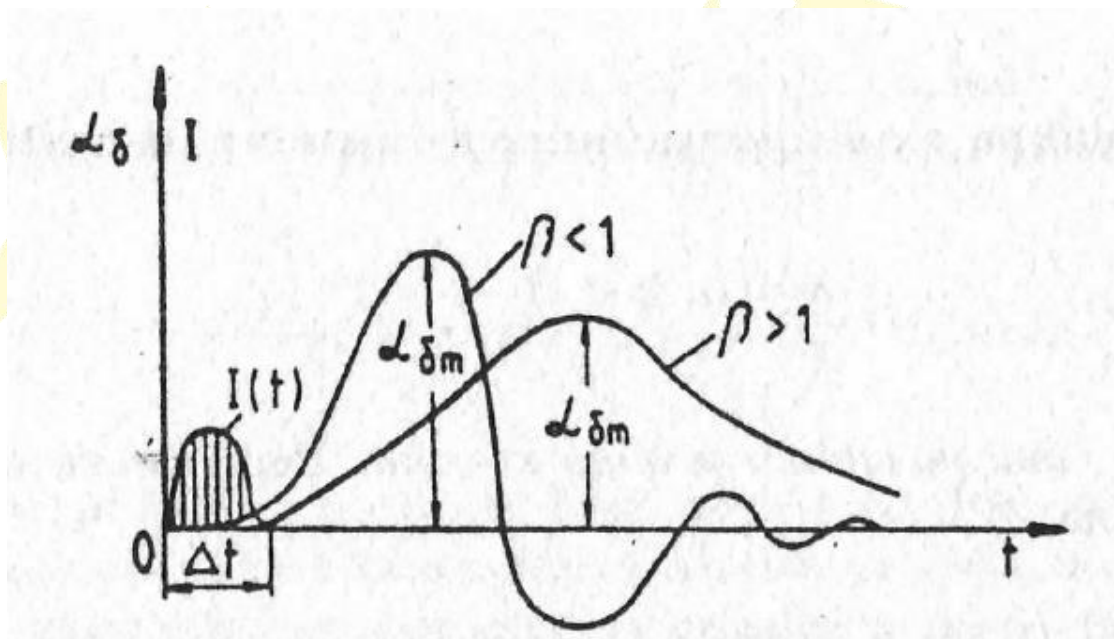
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”*

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!



ПРЕХОДЕН РЕЖИМ ПРИ ИМПУЛСНО ВХОДНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

- Импулсна преходна функция – Балистична реакция
- При линейна система (линеен измервателен преобразувател) импулсната функция е производна на преходната функция



Европейски съюз

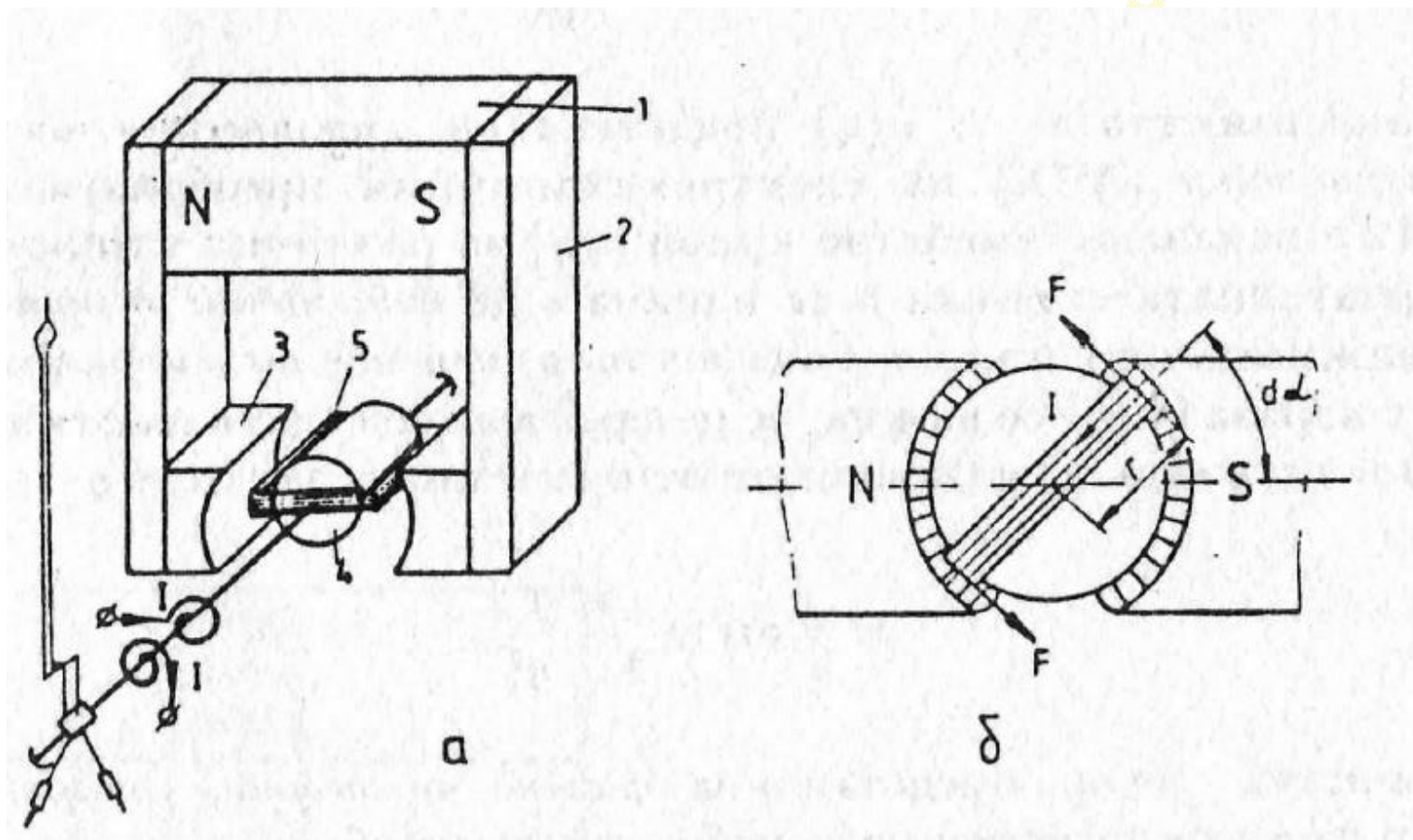
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



МАГНИТОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ



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

МАГНИТОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

$$(27) \quad W_{em} = \frac{1}{2} LI_0^2 + \psi_M I_0 \quad \text{Електромагнитна енергия на системата}$$

L – индуктивност на бобината, $I = I_0$ - ток през бобината (подвижната част)

$$(28) \quad \psi_M = w\Phi_M \quad \text{потокосцепление на навивките } w \text{ и потока на ПОСТОЯННИЯ МАГНИТ}$$

$$(29) \quad M_D = \frac{dW_{em}}{d\alpha} = \frac{1}{2} I_0^2 \frac{dL}{d\alpha} + I_0 w \frac{d\Phi_M}{d\alpha} \quad \text{където} \quad \frac{dL}{d\alpha} = 0$$



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

МАГНИТОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

$$(30) \quad M_D = I_0 w \frac{d\Phi_M}{d\alpha} \qquad d\Phi_M = B_0 ds = B_0 s d\alpha$$

s-активна площ на бобината

$$(31) \quad M_D = I_0 w B_0 = \psi_0 I_0 \qquad \text{не зависи от ъгъла на завъртане}$$

при $B_0(\alpha) = const$

$$\text{От } M_D = M_S \longrightarrow \psi_0 I_0 = W \alpha$$

$$(32) \quad \alpha = \frac{\psi_0}{W} I_0 = S_I I_0 \qquad \text{Линейна функция на преобразуване с постоянна чувствителност за работния обхват}$$



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

МАГНИТОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ УРЕДИ

- Амперметри, волтметри, омметри, мегаомметри, галванометри и т.н
- Шунтове и допълнителни резистори за разширяване на обхвата – промяна на константата
- **Класове на точност:**
 - Лабораторни 0,05
 - Преносими 0,1; 0,2 и 0,5
 - За табло: 1,0; 1,5; 2,5
- **(+) Линейна скала**
- **(+) Малка собствена консумация**
- **(+) Слабо влияние от външни магнитни полета**
- **(-) Малко допустимо токово претоварване**



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!



МАГНИТОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ УРЕДИ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Детекторни измервателни уреди

$$(33) \quad M_{DAV} = \frac{1}{T} \int_0^T |M_{Dt}| dt = \psi_0 \frac{1}{T} \int_0^{T/2} I dt \quad \text{Двигателен момент}$$

$$(34) \quad \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i dt = I_{AV} \quad \text{Средна стойност на изправения променлив ток}$$

$$(35) \quad M_{DAV} = \psi_0 I_0 = \psi_0 \frac{I_{AV}}{2}$$

$$(36) \quad \alpha = \frac{\psi_0}{W} \frac{I_{AV}}{2} = S_I \frac{I_{AV}}{2} \quad \text{при синусоидален режим } K_f = 1,11$$



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

МАГНИТОЕЛЕКТРИЧЕСКИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ УРЕДИ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

При двупроводно изправяне

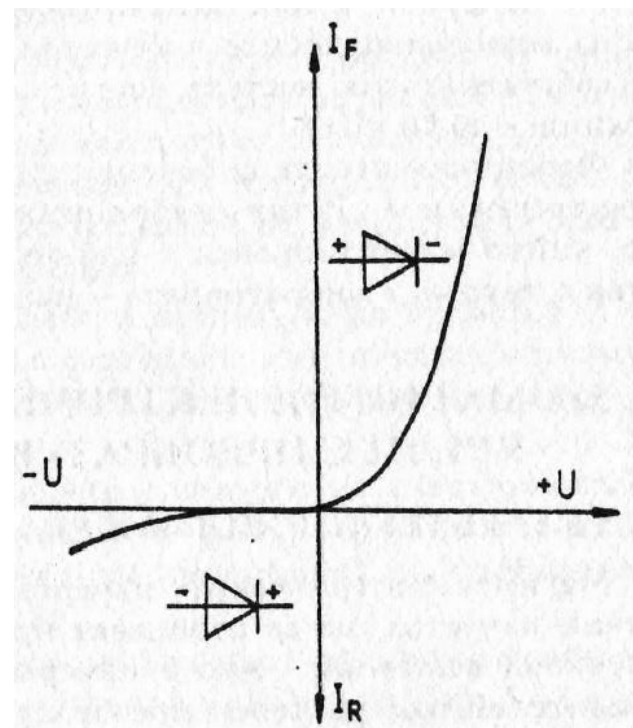
$$(37) \quad \alpha = S_I I_{AV} = S_I \frac{I}{1.11}$$

Грешка от нелинейност при малки токове

Термоелектрически измервателни уреди

$$(38) \quad E_T = k_t I^2$$

$$(39) \quad \alpha = \frac{\psi_0}{W} \frac{E_T}{r_T + r_V} = S_I k I^2$$



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!

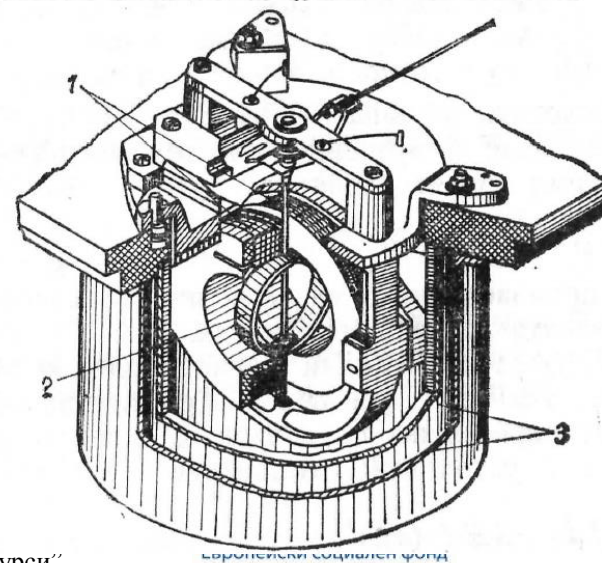
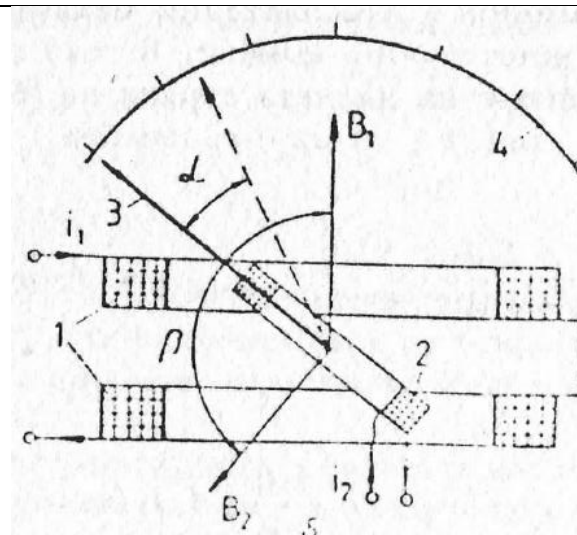


ЕЛЕКТРОДИНАМИЧНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ И УРЕДИ

$$(40) \quad W_{em} = W_m = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + M_{12} i_1 i_2$$

L_1, L_2 не зависят от α

$$(41) \quad M_D = \frac{dW_M}{d\alpha} = i_1 i_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} = i_1 i_2 f_D(\alpha)$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура с
целия живот и развитие на компетенции

Проектът се осъществява с финансовата подкре

Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“,

съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

Инвестира във вашето бъдеще!

ФЕРОДИНАМИЧНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

Разновидност на електродинамичните

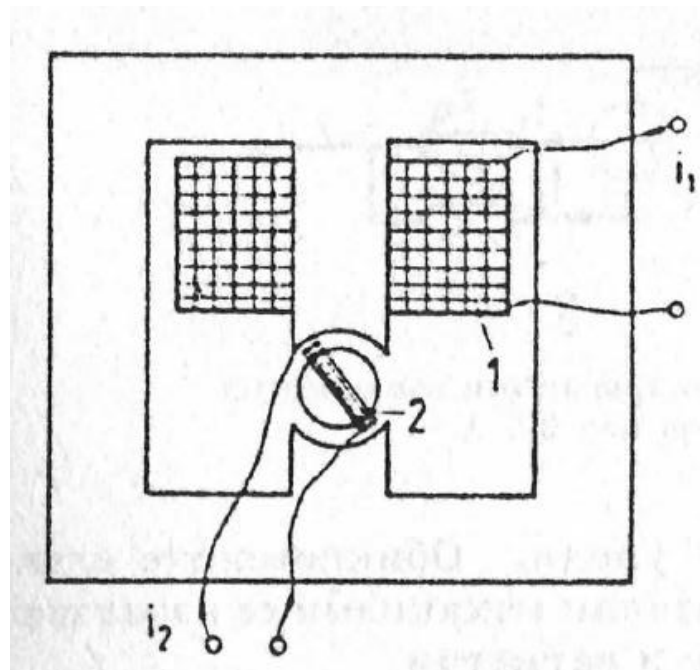
$$(42) \quad \alpha = \frac{f_D(\alpha)}{W} i_1 i_2$$

При постоянен ток

$$(43) \quad \alpha = \frac{f_D(\alpha)}{W} I_1 I_2$$

При променлив ток

$$(44) \quad \alpha = \frac{f_D(\alpha)}{W} I_1 I_2 \cos \psi$$



I - ефективна стойност;

ψ – фазова разлика между токовете



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!



ЕЛЕКТРОДИНАМИЧНИ И ФЕРОДИНАМИЧНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ УРЕДИ

Амперметри, волтметри, ватметри, фазомери и т.н. 

Електродинамични измервателни уреди

- Класове на точност:
0,5; 0,2; 0,1 и 0,05
- (+) Еднаква грешка при постоянни и променливи токове и напрежения
- (-) Голяма температурна и честотна зависимост
- (-) Значителна собствена консумация
- (-) Чувствителни спрямо външни полета
- (-) Не издържат на претоварвания

Феродинамични измервателни уреди

- Класове на точност:
1,5; 2,5; рядко 0,5
- (+) Еднаква грешка при постоянни и променливи токове и напрежения
- (--) Много голяма температурна и честотна зависимост
- (+) Собствена консумация в установен режим по малка от електродинамичните
- (+) Не толкова чувствителни спрямо външни полета
- (-) Не издържат на претоварвания



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

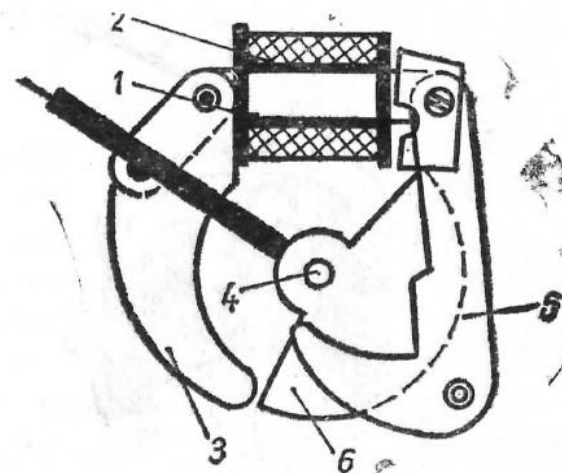
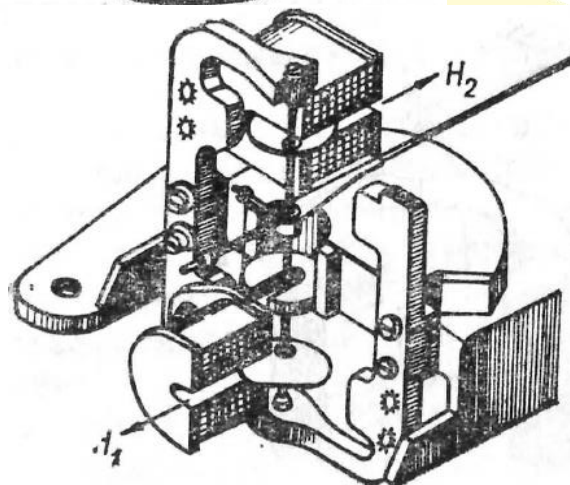
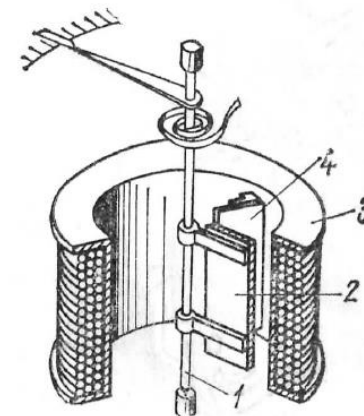
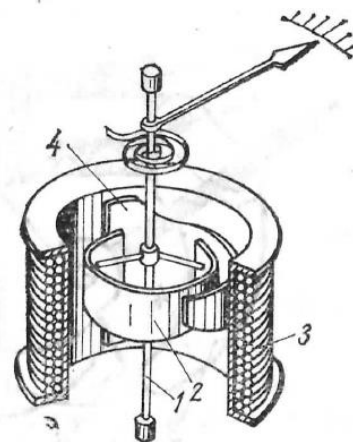
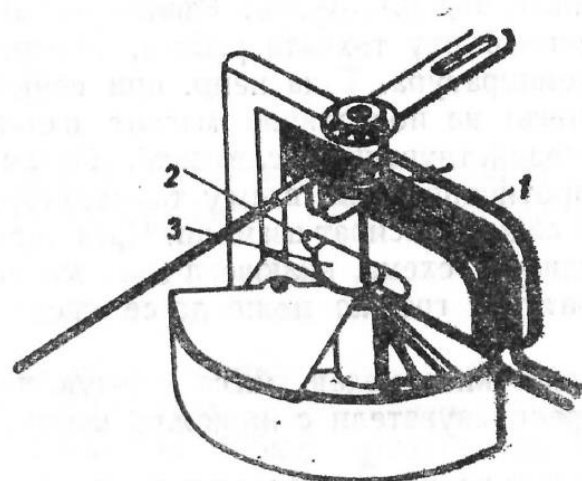
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ



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

ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

$$(45) \quad W_M = \frac{1}{2} Li^2$$

$$(46) \quad M_D = \frac{dW_M}{d\alpha} = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\alpha} = \frac{1}{2} i^2 f_D(\alpha)$$

$$(47) \quad \alpha = \frac{f_D(\alpha)}{2W} i^2 \quad \text{при извънрезонансна област (1 ÷ 5 Hz)}$$

$$(48) \quad \alpha = \frac{f_D(\alpha)}{2W} \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt = \frac{f_D(\alpha)}{2W} I^2$$

I – ефективна
СТОЙНОСТ НА ТОКА



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!



ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ УРЕДИ

Амперметри, волтметри

- (+) Еднаква грешка при постоянни и променливи токове и напрежения, но се използват предимно при променливи величини
- (-) Голяма температурна и честотна зависимост
- Честотна област – до 500-1500 Hz
- (-) Чувствителни спрямо външни полета
- Класове на точност: 0,5; 0,2; За табло: 1,5; 2,5
- (-) Значителна собствена консумация
- (+) Издържат на значителни претоварвания



Европейски съюз

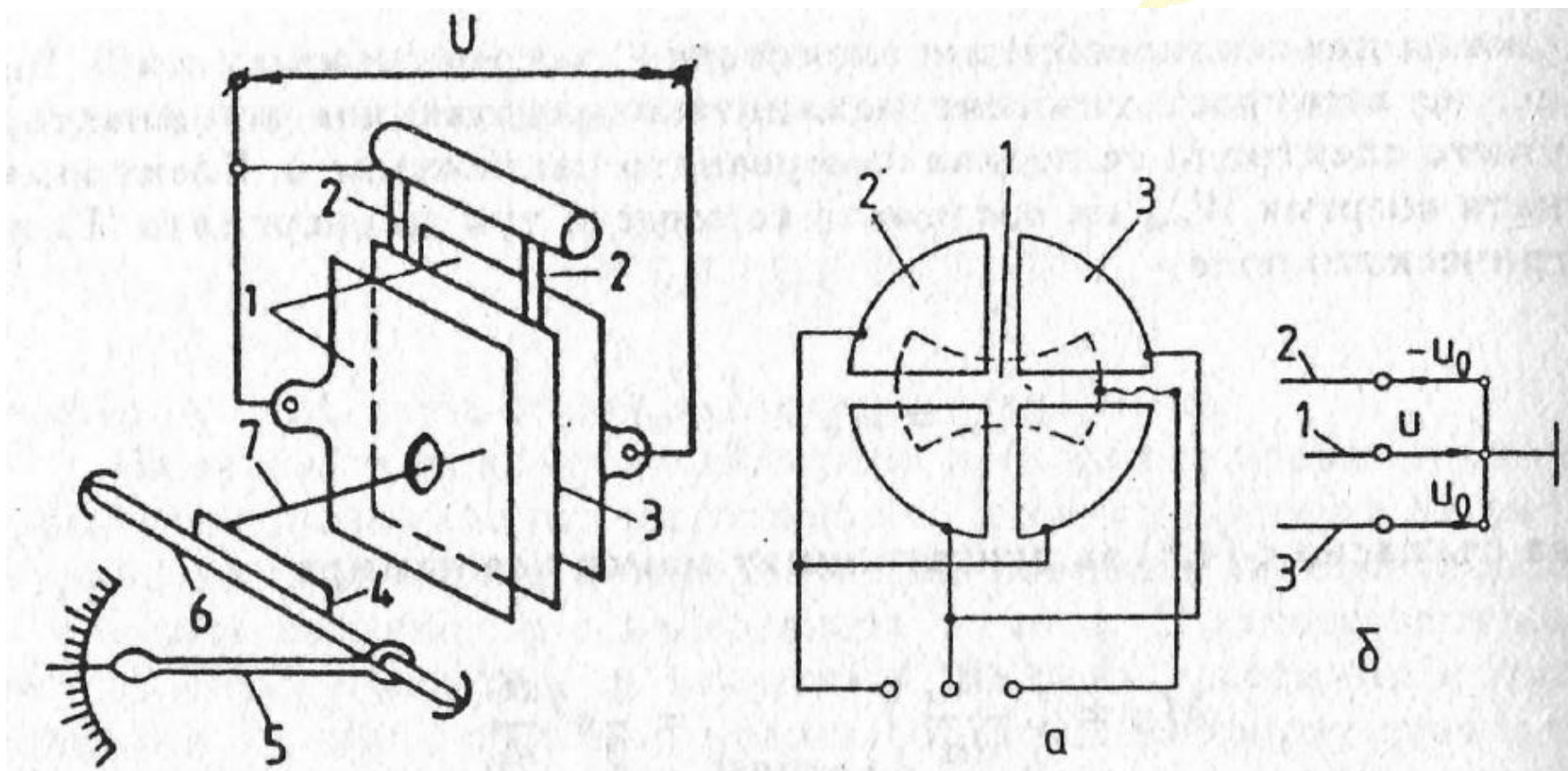
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ



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

ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

$$(49) \quad W_{em} = W_e = \frac{1}{2} C u^2$$

$$(50) \quad M_D = \left(\frac{dW_e}{d\alpha} \right)_{u=const} = \frac{1}{2} u^2 \frac{dC}{d\alpha} = \frac{1}{2} u^2 f_D(\alpha)$$

$$(51) \quad \alpha = \frac{f_D(\alpha)}{2W} u^2 \quad \text{при променливо напрежение}$$

$$(52) \quad \alpha = \frac{f_D(\alpha)}{2W} \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt = \frac{f_D(\alpha)}{2W} U^2$$

U – ефективна стойност на напрежението



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

ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ УРЕДИ

Волтметри за постоянно и променливо напрежение

- до 200-300 V и честоти до 200-300 kHz (до 10 MHz)
- (++) Нищожна собствена консумация
- (++) Високо входно съпротивление (10 TΩ, 10 pF)
- Класове на точност: (0,05) 0,1; 0,5; 1,0; 1,5
- (+) Малък двигателен момент - Обхвати над 10V
- (+) Не се влияят от външни магнитни полета



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!

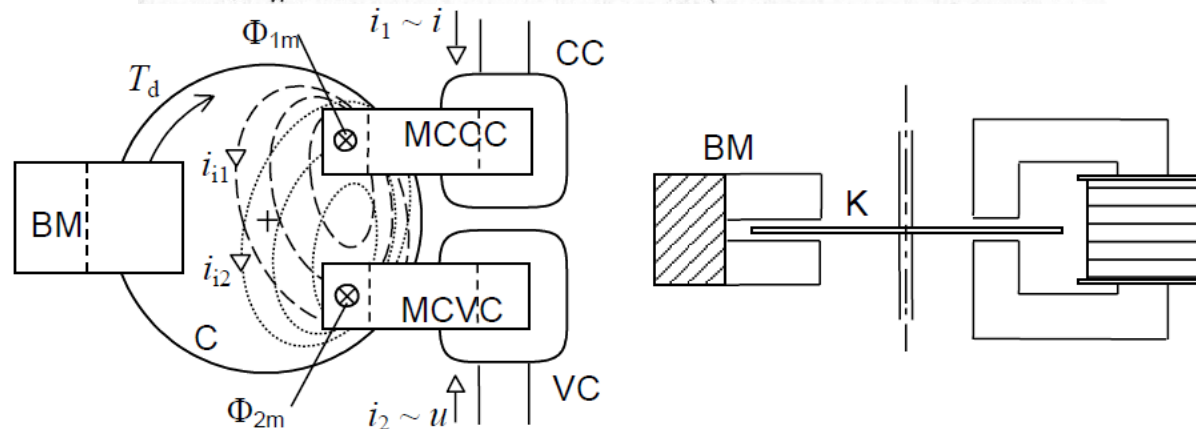
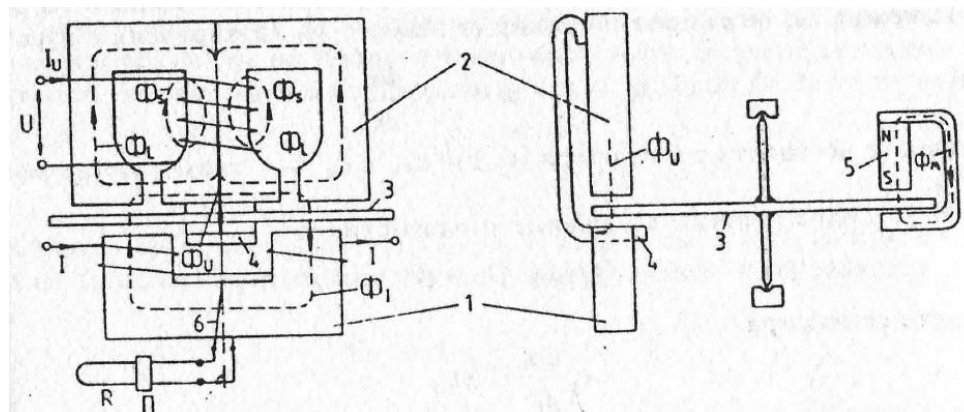


Европейски социален фонд

ИНДУКЦИОННИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ

$$(53) \quad M_D = c_D f \Phi_U \Phi_I \sin \psi$$

ψ – ъгъл между потоците;



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 съюз



Европейски социален фонд

ИНДУКЦИОННИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ УРЕДИ

Амперметри, волтметри, ватметри (пишещи уреди) и електромери.

- (-) Само за променлив ток.
- (++) Издържат на големи претоварвания
- (-) Голяма консумация
- (-) Голяма честотна грешка
- (-) Ограничено използване.
- (-) Класове на точност: 1,0 в най-добрия случай



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

СИМВОЛИ И ОЗНАЧЕНИЯ











Symbols indicating the principle function of the instrument and accessory

Symbol	Specification
	Magnetoelectric instrument (with moving coil and permanent magnet)
	Instrument with moving iron
	Ferrodynamic instrument (electrodynamic with iron)
	Induction instrument
	Bimetal instrument
	⁽¹⁾ Electronic device in the measuring circuit
	Electronic device in an auxiliary circuit
	Shunt for measuring instrument
	⁽²⁾ General accessory

If the (1) symbol is associated with the symbol of the instrument this means that the device is incorporated.

If the (1) symbol is associated with the (2) this means that the device is external.

Symbols indicating the characteristics of the instrument in relation to its connection with the network

Symbol	Specification
	Circuit with direct current
	Single-phase circuit with alternating current
	Single-phase direct and alternating current circuit
	Three-phase alternating current circuit (general symbol)
	Three-phase alternating current circuit with unbalanced load (general symbol)
	A measuring element for 3 wire networks
	A measuring element for 4 wire networks
	Two measuring elements for 3 wire networks with unbalanced load
	Two measuring elements for 4 wire networks with balanced load
	Three measuring elements for 4 wire networks with unbalanced load



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!





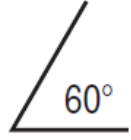
Европейски социален фонд

СИМВОЛИ И ОЗНАЧЕНИЯ

Symbols for accuracy class

Symbol	Specification
1,5	Class indicator (eg. 1.5) with errors expressed in percentage of conventional value, except when the latter is as long as the graduation or the true value
	Class indicator (eg. 1.5) when the conventional value corresponds to the true value.
	Class indicator of an instrument with a non linear scale, contracted in the case where the conventional value is as long as the graduation and the indication of the error is expressed ad a percentage of the true value. (for example: class indicator 1: relative error limit of 5%) (par. 2.3.11.36)

Symbols indicating the working position

Symbol	Specification
	Instrument to use with the dial vertical
	Instrument to use with the dial horizontal
	Instrument to use with dial inclined (60° for example) in relation to the horizontal plane.



Европейски съюз

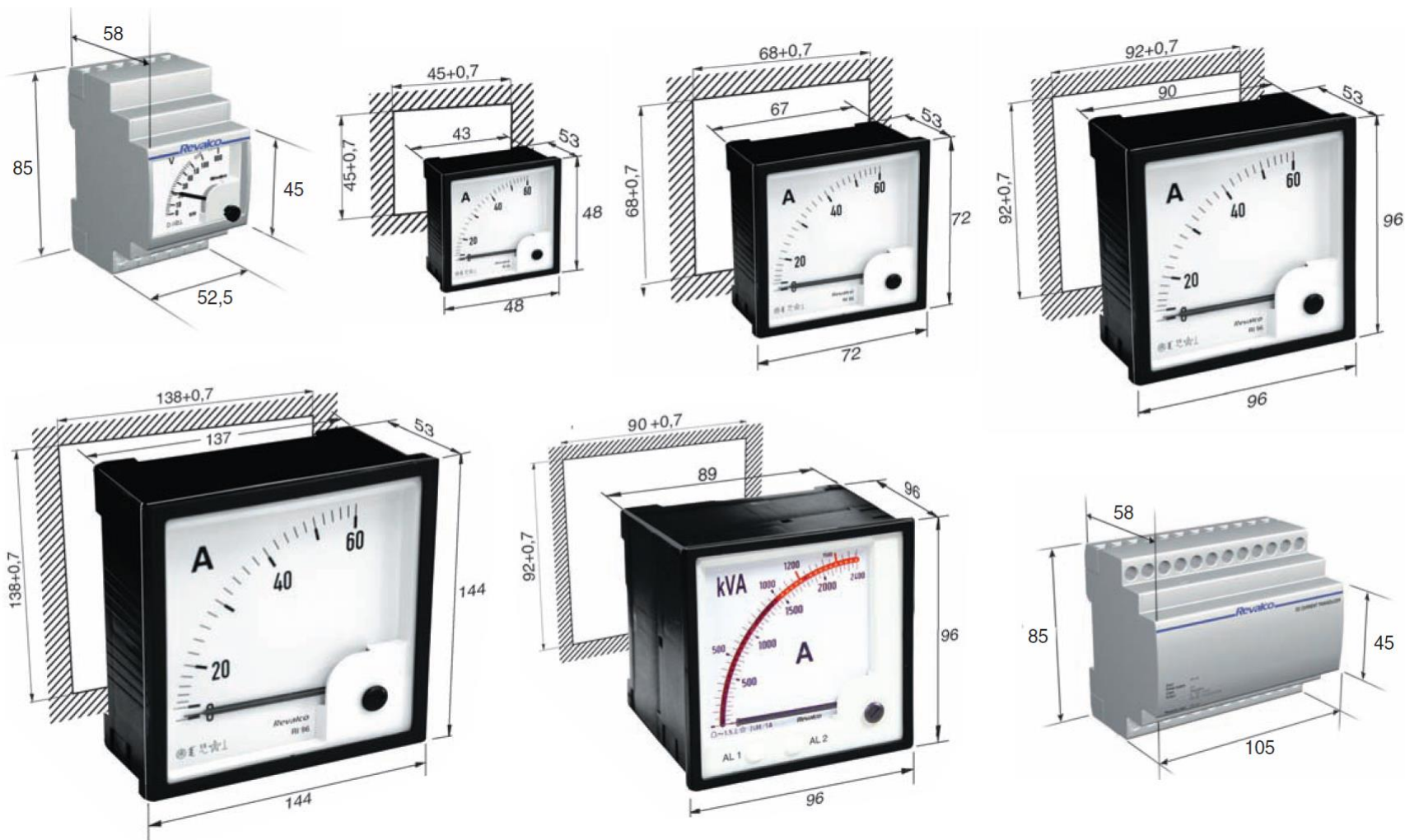
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



ПРИСЪЕДИНИТЕЛНИ РАЗМЕРИ



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

- 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
- Електромеханични измервателни уреди – Проф. Димитър Русев, София, ДИ Техника, 1978



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