

 **Технически университет – София**



Факултет по автоматика

Катедра „Електроизмервателна техника“

Презентация модул № 7

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ ПРИ ПРОМЕНЛИВ ТОК

*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

стр. 1 от 32

СЪДЪРЖАНИЕ

- 7.1 Общи сведения за измерваните параметри при променлив ток
- 7.2 Мостове за променлив ток
 - 7.2.1 Измервани величини и параметри
 - 7.2.2 Условия за равновесие
 - 7.2.3 Уравновесяване и регулиране
 - 7.2.4 Разделно отчитане и сходимост
- 7.3 Квазиуравновесени мостове
- 7.4 Измерване на величини и параметри на кондензатори
- 7.5 Измерване на величини и параметри на бобини
- 7.6 Измерване на взаимна индуктивност
- 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

ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ИЗМЕРВАНИТЕ ПАРАМЕТРИ ПРИ ПРОМЕНЛИВ ТОК

- Основна характеристика и обобщен параметър за електричните вериги при променлив синусов ток е комплексното съпротивление:

$$Z = U/I$$

- То е напълно определено, ако се знае коя да е от следните двойки скаларни съставки:
 - модулът z и фазовият ъгъл φ ;
 - активното съпротивление R и реактивното съпротивление X ;
 - реактивното съпротивление X и тангенса на ъгъла на загубите $tg \delta$;
 - реактивното съпротивление X и и качественият фактор Q .
- Връзката между тях се дава с израза:

$$Z = ze^{j\varphi} = R + jX = X (tg \delta + j) = X \left(\frac{1}{Q} + j \right)$$



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

стр. 3 от 32

ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ИЗМЕРВАНИТЕ ПАРАМЕТРИ ПРИ ПРОМЕНЛИВ ТОК

- Връзката между тях се дава с израза:

$$Z = ze^{j\varphi} = R + jX = X(\operatorname{tg}\delta + j) = X\left(\frac{1}{Q} + j\right)$$

- X може да има капацитивен или индуктивен характер
- Познаването на една двойка от посочените съставки дава възможност за определяне на всички останали съставки.
- Между отделните съставки (напрежението U , тока I и консумираната мощност P от съпротивлението R) на комплексното съпротивление Z са в сила следните зависимости:

$$z = \frac{U}{I}; \quad R = \frac{P}{I^2}; \quad X = \sqrt{z^2 - R^2}; \quad \varphi = \arccos \frac{P}{UI}.$$



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

стр. 4 от 32

ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ИЗМЕРВАНИТЕ ПАРАМЕТРИ ПРИ ПРОМЕНЛИВ ТОК

- Косвено определяне на всяка съставка - чрез измерване на другите две от дясната страна на зависимостите.
 - точността на косвения метод не е висока, тъй като неговата грешка се определя от грешките на измервателните уреди и тяхната консумация.
 - методът се използва при измерване на нелинейни съпротивления в работни условия.
- Най-висока точност се постига при сравнителните методи и уреди за измерване на параметрите на вериги при променлив ток – компенсатори и мостове за променлив ток.
 - като правило се измерват два параметъра на един и същи обект на измерване.
 - всички тези методи и уреди използват външни източници на енергия



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!

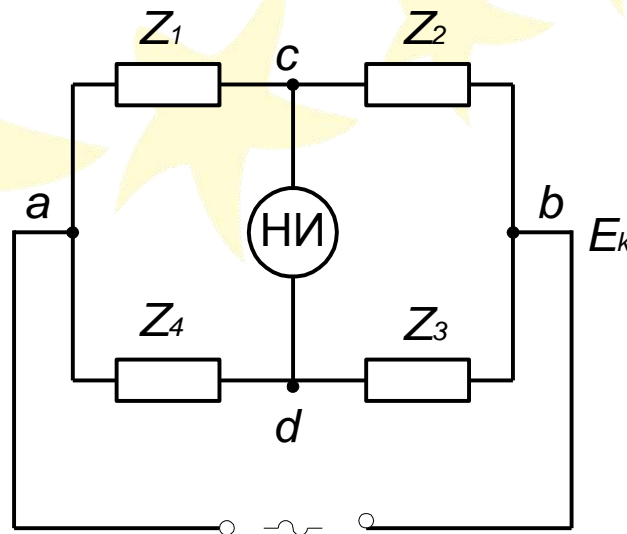


стр. 5 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Измервани величини и параметри

- Мостовете за променлив ток се използват за измерване на параметрите на вериги при променлив ток ($L, C, R, \operatorname{tg}\delta, Q, M$) и някои параметри на периодичните процеси (честота и фаза). Те биват четирираменни и шестраменни
- В общия случай рамената им са комплексни съпротивления.



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!

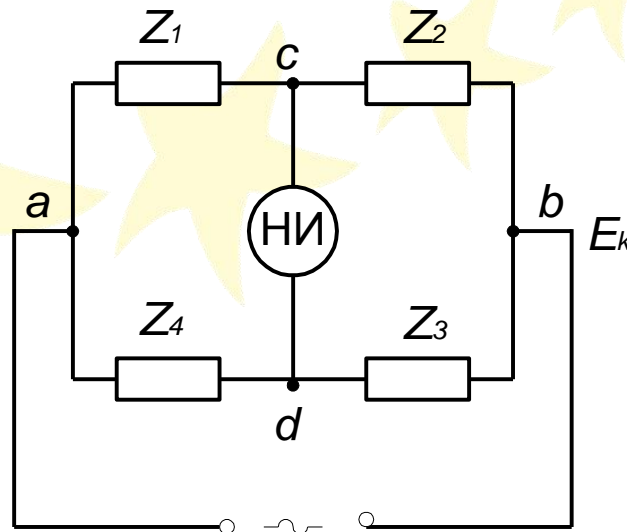


стр. 6 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Измервани величини и параметри

- В захранващия диагонал на моста AB се включва източник на променливо напрежение с промишлена, звукова или висока честота. Нулевият индикатор $НИ$, включен в индикаторния диагонал CD може да бъде вибрационен галванометър, телефонна слушалка, осцилоскоп или електронен индикатор в зависимост от честотата на захранващия ИЗТОЧНИК.



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

стр. 7 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Условия за равновесие

- По принцип в променливотоковите мостове са възможни и двата режима на работа – уравновесен и неуравновесен, но поради комплексния характер на измерваното съпротивление и необходимостта от отчитане на неговите две съставки практически приложение имат само уравновесените мостови схеми.
- Състоянието на равновесие е аналогично на това при мостовете за постоянен ток:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$$

- В зависимост от начина на записване на комплексните съпротивления ($Z_i = R_i + jX_i$ или $Z_i = z_i e^{j\varphi_i}$) условията за равновесие ще бъдат съответно:

$$R_1 R_3 - X_1 X_3 = R_2 R_4 - X_2 X_4$$

$$z_1 z_3 = z_2 z_4$$

$$R_1 X_3 + X_1 R_3 = R_2 X_4 + X_2 R_4 \quad \text{или}$$

$$\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4$$



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

стр. 8 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Уравновесяване и регулиране

- Условието показват, че за уравновесяването е необходимо не само **регулиране на не по-малко от два параметъра** за едновременното удовлетворяване на двете условия, но и **качествен подбор** на елементите в мостовата схема.
- Така например, от условието за равенството на фазите следва, че за уравновесяването на моста трябва да се изпълняват следните изисквания:
 - Ако в две съседни рамена (например трето и четвърто) има чисто активни съпротивления ($\varphi_3 = \varphi_4 = 0$), то съпротивленията в другите две съседни рамена трябва да имат или капацитивен или индуктивен характер.
 - Ако в противоположните рамена има чисто активни съпротивления, то в едното от другите две противоположни рамена съпротивлението трябва да бъде с индуктивен, а във второто – с капацитивен характер.



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!



стр. 9 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Уравновесяване и регулиране

- Чувствителността на мостовете за променлив ток може да бъде много по-голяма от тази на мостовете за постоянен ток. Доказва се, че максималната чувствителност се получава при

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_3 - \varphi_4 = \pm \pi.$$

- Това условие се изпълнява при резонансните мостове



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!



МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Разделно отчитане

- Практическо приложение са намерили **мостовете с разделно отчитане** – съставките на измерваното съпротивление се отчитат непосредствено от регулируемите параметри, които са градуирани в стойности на измерваните величини.
- Условиата за разделното отчитане са:
 - само две от рамената на моста да бъдат комплексни съпротивления
 - регулируемите параметри да участват само в едно от двете условия за равновесие.
- Известни са 48 мостови схеми с разделно отчитане, но практически могат да бъдат уравновесени само 26 от тях.



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!



стр. 11 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Уравновесяване и сходимост

- Основни характеристики на мостовите за променлив ток са разделното отчитане и бързото уравновесяване на моста.
- Процесът на уравновесяване на променливотоковите мостове се характеризира с понятието **сходимост на моста**, т.е. възможността за бързо и лесно постигане на състоянието на равновесие (уравновесяване) с определен брой последователни регулировки чрез двата параметъра.
- Съществува два вида сходимост:
 - **Кръгова** - чрез нея се описва процеса на уравновесяване при състояние далеч от равновесието на моста. Кръговата сходимост се представя чрез топографски диаграми с α - , β - и γ -линии.
 - **Линейна** - характеризира на уравновесяването на моста в близост до равновесието. При нея двата регулируеми параметъра се представят чрез две прави линии, а процесът на уравновесяване – с последователни перпендикулярни прави към двете линии.



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!

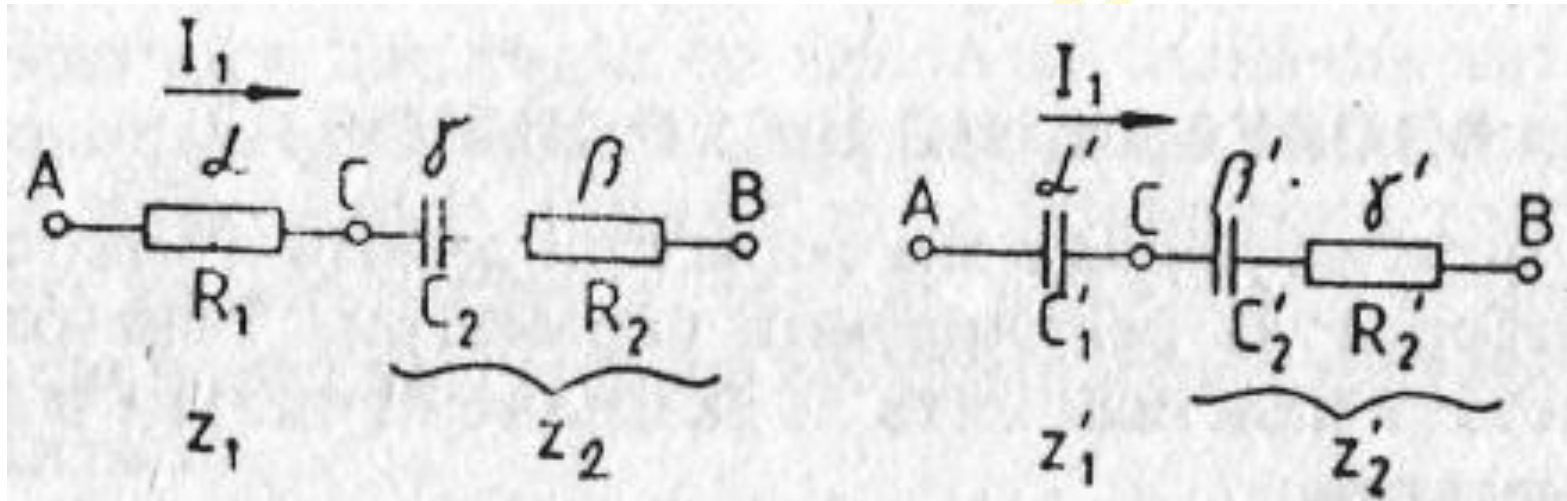


стр. 12 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Кръгова сходимост

- **Топографски диаграми** - изразяват изменението на напреженията на потенциалните точки C и D в комплексната равнина при промяна на параметрите.



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!

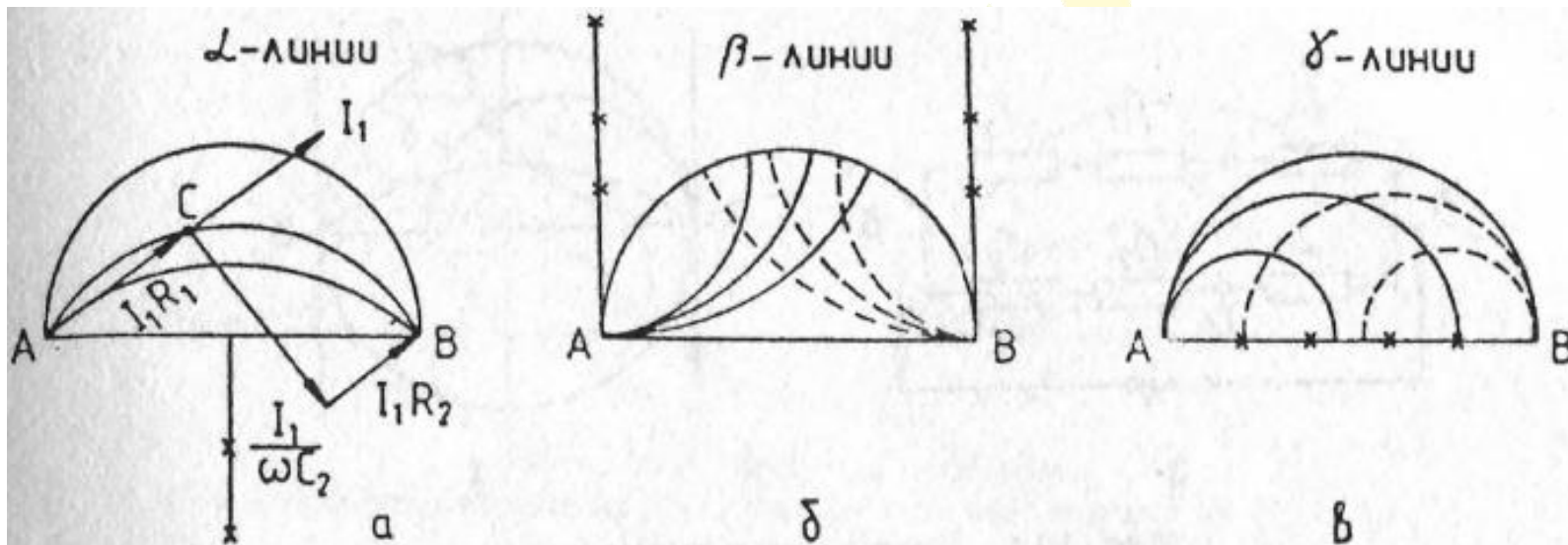


стр. 13 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Кръгова сходимост

- **Линии на уравновесяването** – описани при движението на потенциалните точки С и D при изменението на произволен параметър на мостовите схеми. Представяват окръжности.



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!

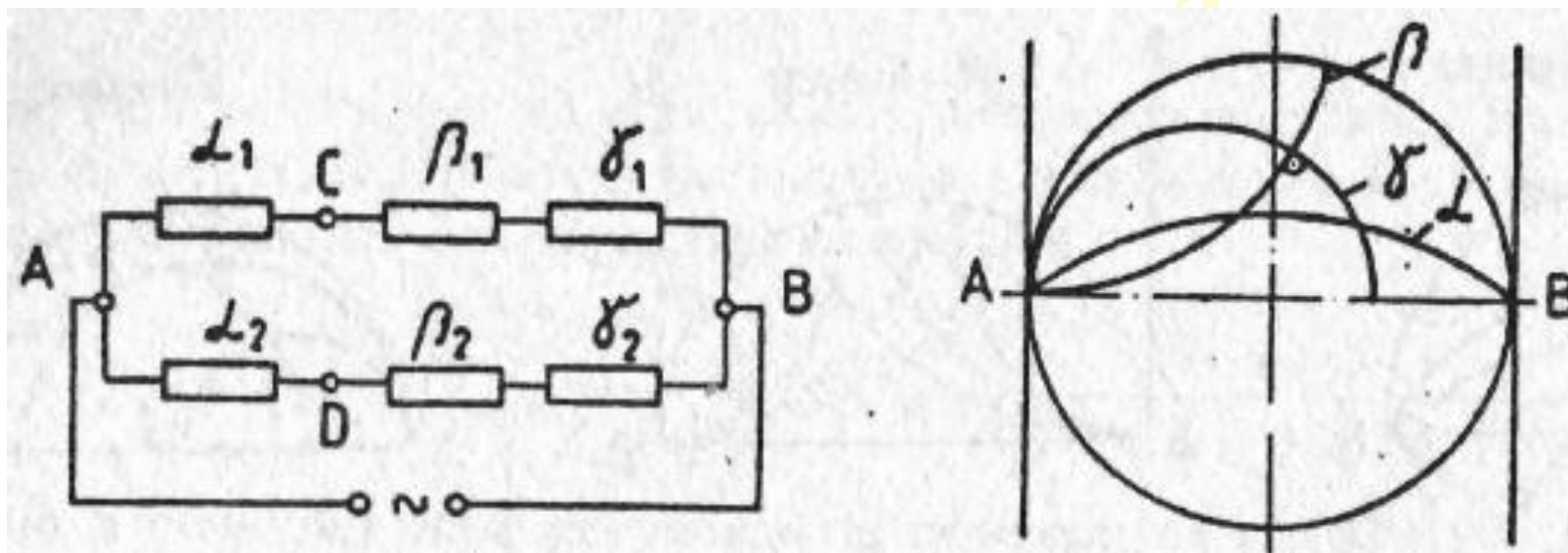


стр. 14 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Кръгова сходимост

- Обобщен вид на мостовата схема
- Обобщена топографска диаграма на моста



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

стр. 15 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Кръгова сходимост

- Изводи:
 1. Ако за регулируеми елементи се приемат еднородни параметри (α_1 и α_2 , β_1 и β_2 , γ_1 и γ_2) - мостовата схема няма да се уравни, тъй като техните линии не се пресичат.
 2. Линиите β и γ се пресичат винаги под прав ъгъл, което осигурява много добра сходимост на моста при състояние, близко до равновесното.
 3. Ъглите, на пресичане на α - и β -линиите и на α - и γ -линиите се променят в зависимост от стойността на регулируемите параметри. Поради това кръговата сходимост на моста няма да бъде постоянна.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

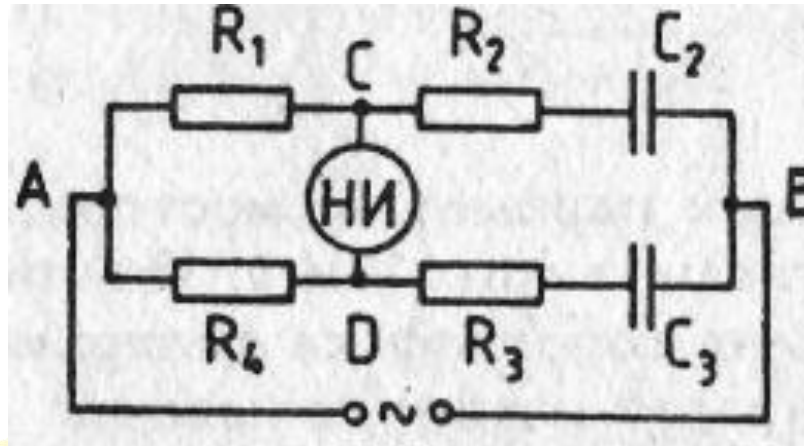
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



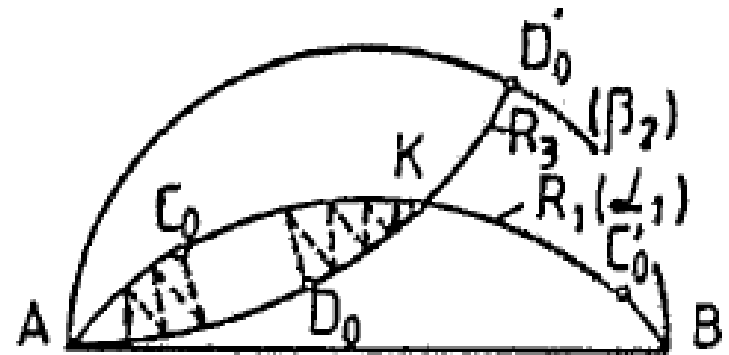
стр. 16 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Кръгова сходимост



- Регулируемите параметри (R_1 и R_3) се намират в двата различни клона на моста.



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!

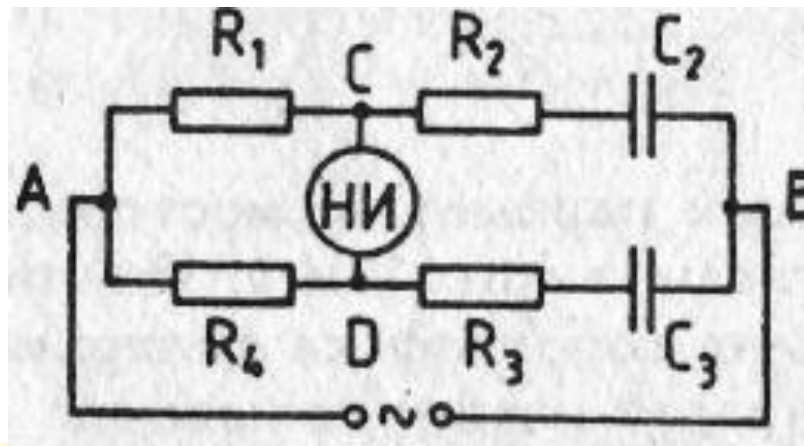


Европейски социален фонд

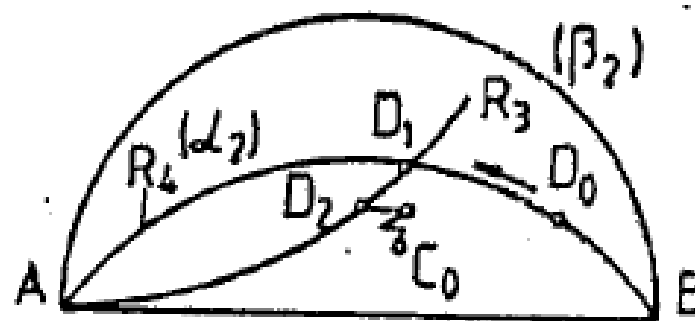
стр. 17 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Кръгова сходимост



- Регулируемите параметри (R_3 и R_4) се намират в един клон от мостовата 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!



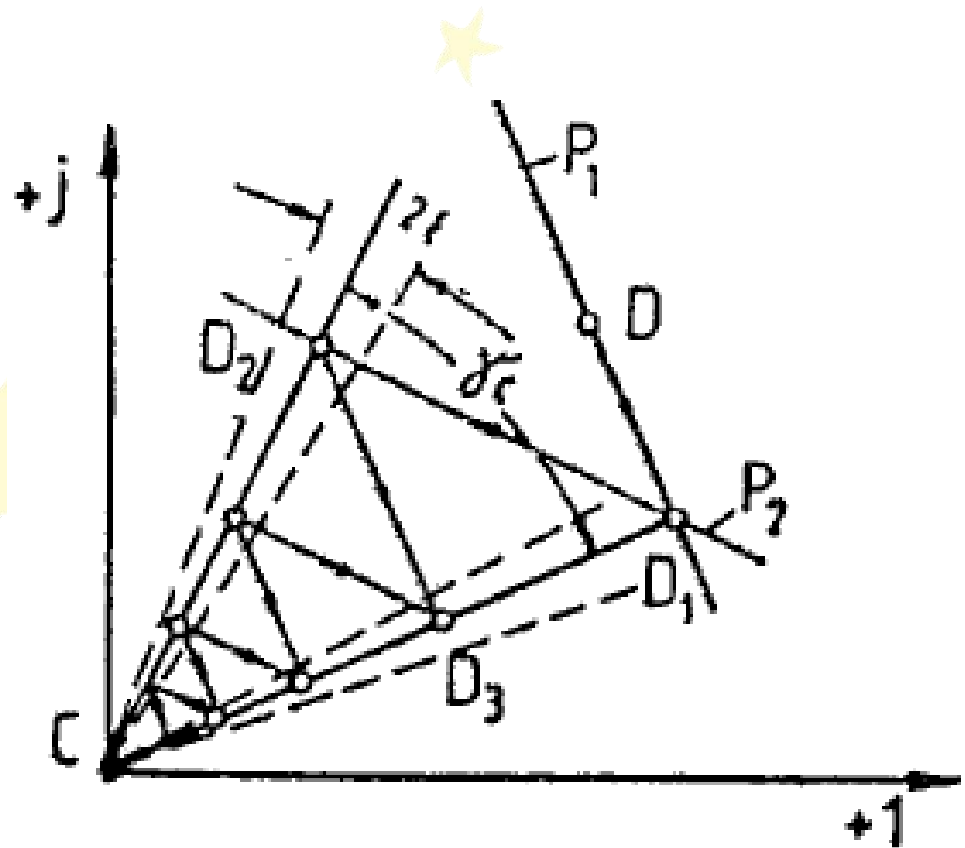
Европейски социален фонд

стр. 18 от 32

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Линейна сходимость

- Линейната сходимость характеризира скоростта на уравнивяване на мостовата схема близо до равновесното състояние.
- Напрежението между точките С и D е малко и дъгите от линиите на уравнивяване могат да се заменят с отсечки от прави - значително се опростява анализа на процеса на уравнивяването.
- С е в начало на координатната система



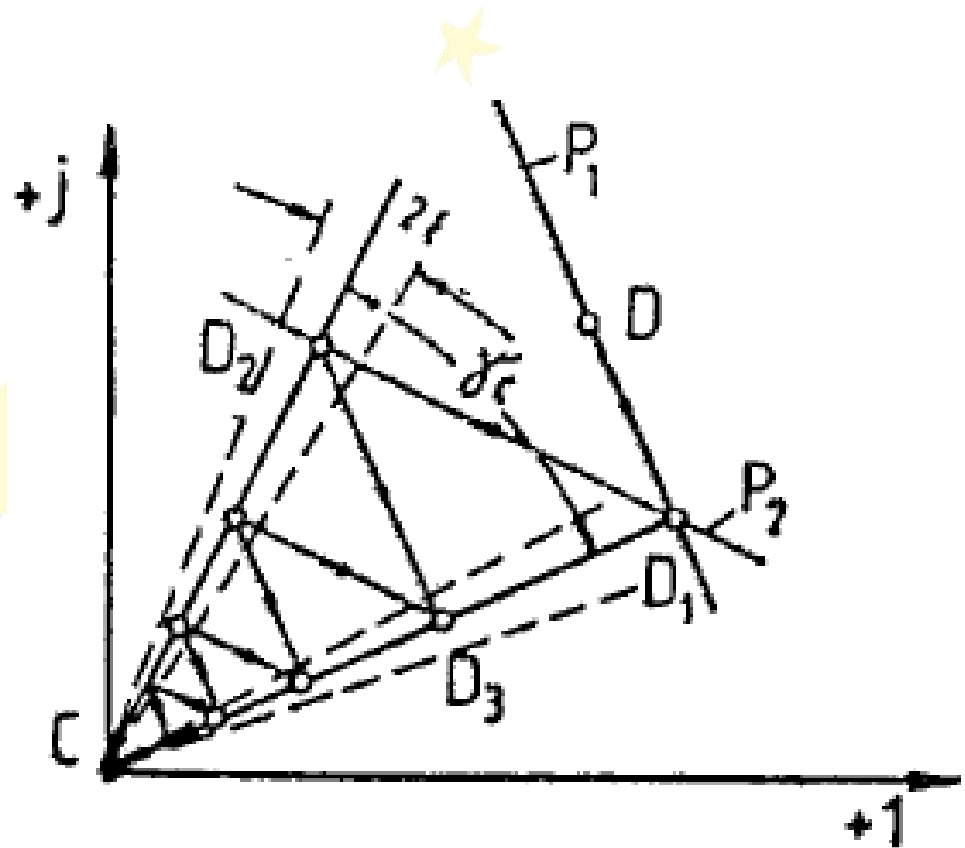
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира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



МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Линейна сходимост

- Първоначално напрежението върху нулевия индикатор е било **UCD**
- Ъгълът γ_c между правите P_1 и P_2 се нарича ъгъл на сходимостта
- Максималната сходимост на моста се получава при $\gamma_c = \pi/2$
- Поради недостатъчна чувствителност на нулевия индикатор уравнивяването ще се развие по други линии, определени от: $\gamma'_c = \gamma_c \pm 2\varepsilon$



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!



стр. 20 от 32

КВАЗИУРАВНОВЕСЕНИ МОСТОВЕ

- Съществен недостатък на уравнивесените мостове е сложността на процеса на уравнивесяване. В много практически случаи обаче (при контрол на кондензатори, индуктивности и др.) е необходимо да се измери само едната съставка на комплексното съпротивление.
- Прилага се опростен метод, при който другата съставка не оказва влияние на състоянието на моста.
- Квазиравновесни (условно уравнивесени) мостови схеми - в момента на квазиравновесие нито едно, от напреженията в мостовата схема не е равно на нула, но независимо от това параметрите на захранващия източник не влияят върху състоянието на квазиравновесие.
- С регулиране на променливите параметри се установява определено съотношение между модулите или фазите на две напрежения от схемата.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

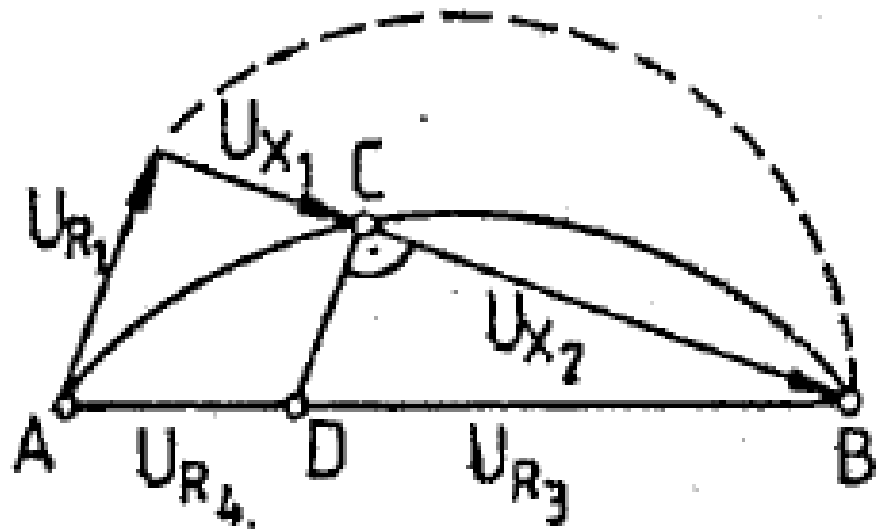
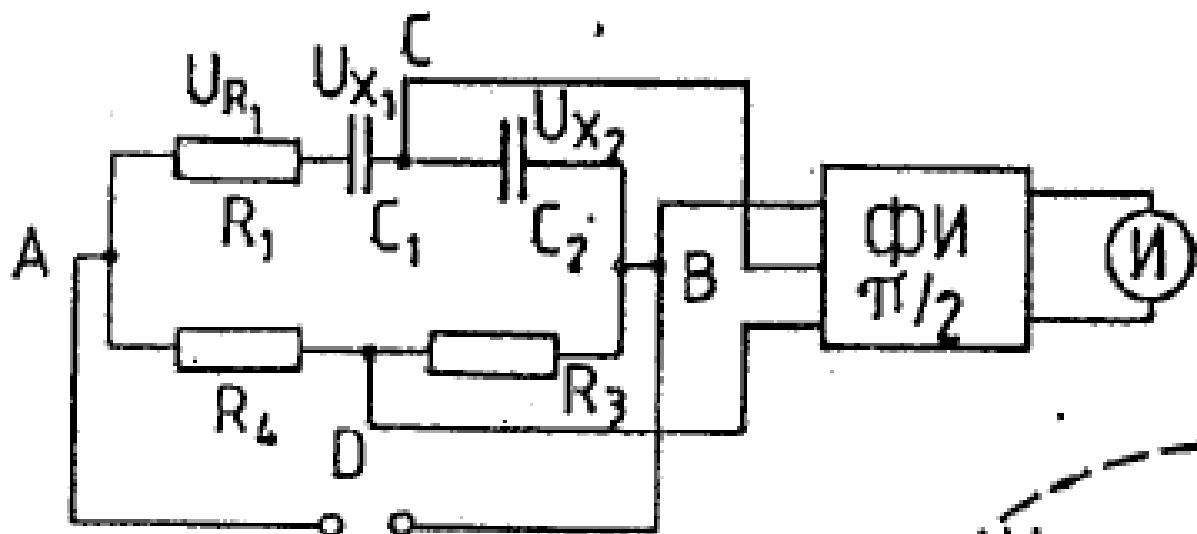
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!



стр. 21 от 32

КВАЗИУРАВНОВЕСЕНИ МОСТОВЕ



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

стр. 22 от 32

КВАЗИУРАВНОВЕСЕНИ МОСТОВЕ

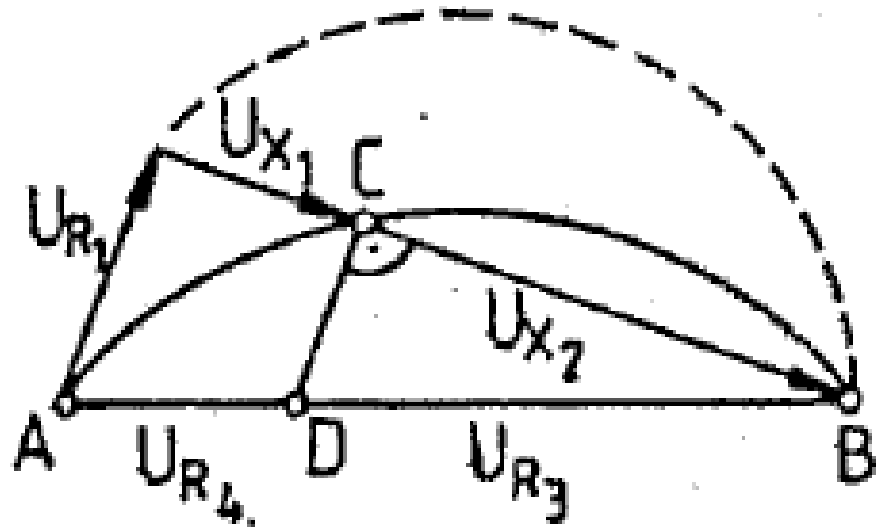
$$\frac{U_{R4}}{U_{R3}} = \frac{U_{X1}}{U_{X2}}$$

$$\frac{U_{R4}}{U_{R3}} = \frac{1}{j\omega C_1}$$

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{1}{j\omega C_2}$$

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{C_2}{C_1}$$

$$C_1 = C_2 \frac{R_3}{R_4}$$



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

стр. 23 от 32

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА КОНДЕНЗАТОРИ

- Кондензаторите се характеризират с два параметъра – капацитет C и тангенс на ъгъла на диелектричните загуби $tg\delta$.
- При последователната заместваща схема $tg\delta$ се изразява чрез отношението:

$$tg\delta = \frac{U_R}{U_C} = \omega RC$$

- При паралелната заместваща схема:

$$tg\delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{1}{\omega RC}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

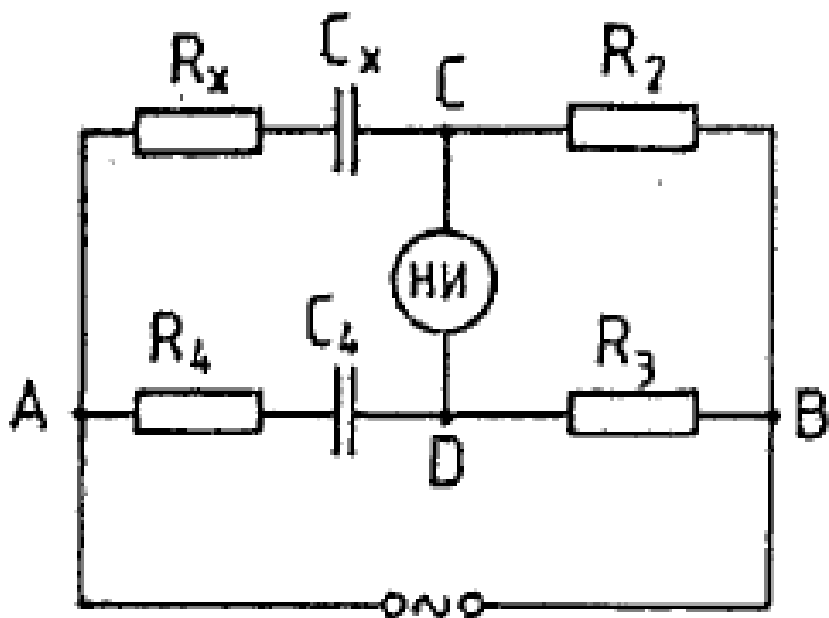
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА КОНДЕНЗАТОРИ

- **Мост на Вин** - за измерване на капацитети на кондензатори с малки загуби



$$\left(R_X + \frac{1}{j\omega C_X} \right) R_3 = \left(R_4 + \frac{1}{j\omega C_4} \right) R_2$$

$$C_X = C_4 \frac{R_3}{R_2}$$

$$R_X = R_4 \frac{R_2}{R_3}$$

$$\operatorname{tg} \delta_X = \omega R_X C_X = \omega R_4 C_4$$

$$C_X \geq 1 \text{ nF}$$



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!

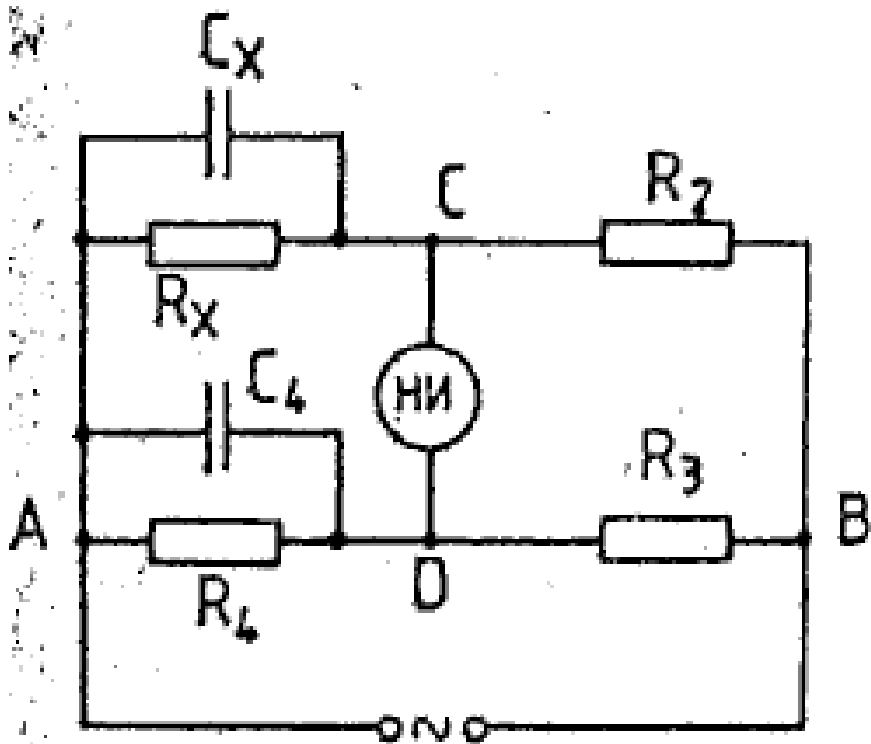


Европейски социален фонд

стр. 25 от 32

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА КОНДЕНЗАТОРИ

- **Мост на Нернст** - за измерване на капацитета на кондензатори с големи загуби, дължащи се главно на утечки



$$\left(\frac{1}{1/R_X + j\omega C_X} \right) R_3 = \left(\frac{1}{1/R_4 + j\omega C_4} \right) R_2$$

$$C_X = C_4 \frac{R_3}{R_2}$$

$$R_X = R_4 \frac{R_2}{R_3}$$

$$\operatorname{tg} \delta_X = \frac{1}{\omega R_X C_X} = \frac{1}{\omega R_4 C_4}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

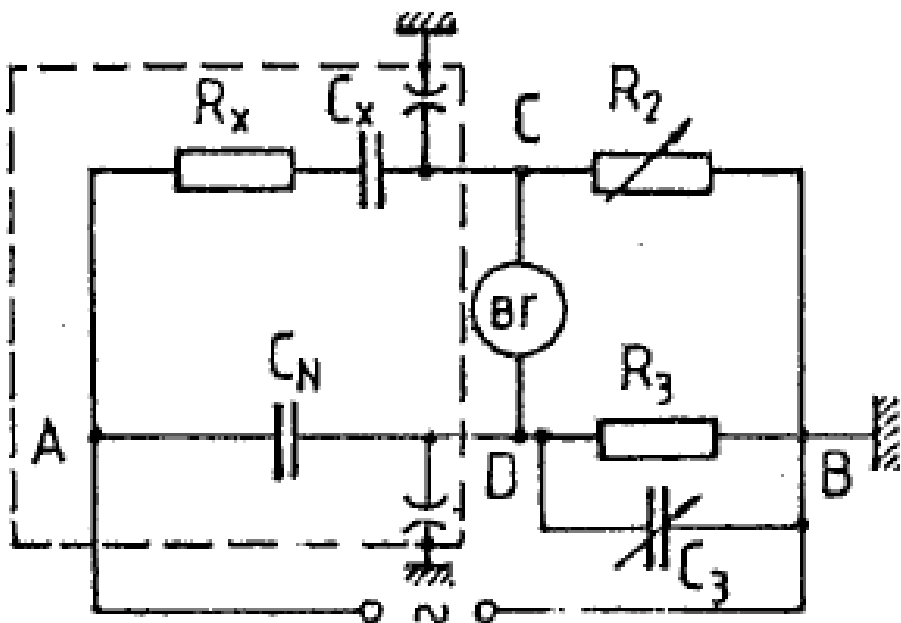
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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 ПАРАМЕТРИ НА КОНДЕНЗАТОРИ

- **Мост на Шеринг** - за определяне на загубите в диелектрици и измерване на капацитета и ъгъла на загубите в кабелите за високо напрежение.



$$C_x = C_4 \frac{R_3}{R_2}$$

$$R_x = R_2 \frac{C_3}{C_4}$$

$$\operatorname{tg} \delta_x = \omega R_x C_x = \omega R_3 C_3$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

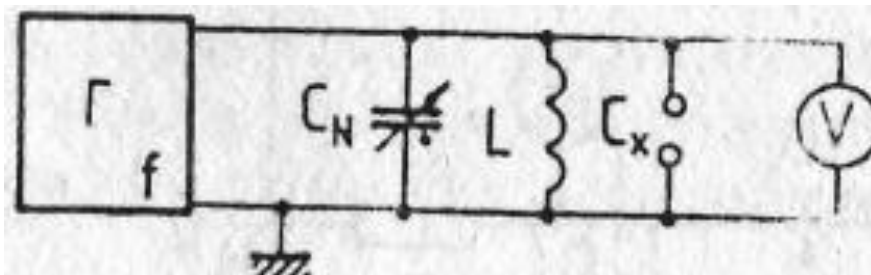
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА КОНДЕНЗАТОРИ

- **Резонансен метод** - за измерване на малки капацитети при високи честоти



$$C_X = C_{N1} - C_{N2}$$

- паралелен резонансен контур от регулируемия еталонен кондензатор C_N и бобината L .
- при максимална стойност C_{N1} на C_N се постига резонанс, който се констатира с максималното показание на волтметъра V .
- с включването на измервания капацитет C_X резонансният контур се разстройва. Състоянието на резонанс (максималното показание на волтметъра) се постига отново с намаляване на капацитета C_N до стойност C_{N2} .
- стойността на неизвестния капацитет се определя от разликата между двете стойности на регулируемия кондензатор



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!



стр. 28 от 32

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА БОБИНИ

- В инженерната практика всички системи от проводници и бобини се характеризират с параметрите индуктивност L и активно съпротивление R .
 - в електротехниката бобините да се представят с параметрите L и R ,
 - в радиотехниката - с параметрите L и качествено число Q , където

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L}{R}$$

- За измерване на параметрите на бобини се използват мостови методи и резонансен методи.



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!

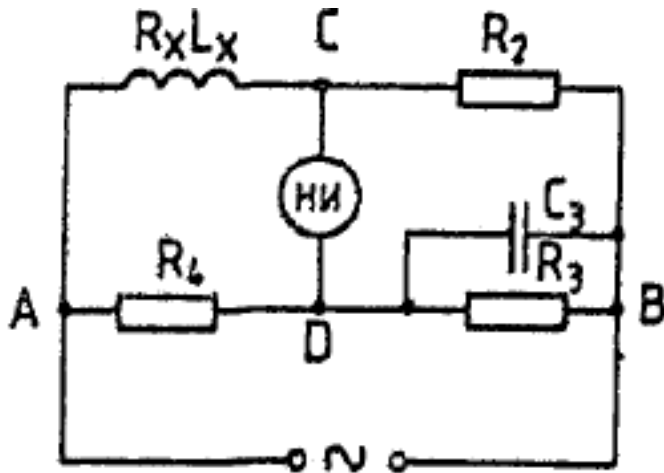


Европейски социален фонд

стр. 29 от 32

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА БОБИНИ

- Мост на Максвел-Вин

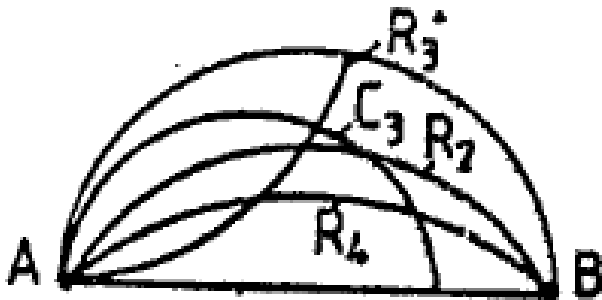


$$\frac{(R_X + j\omega L_X)R_3}{1 + j\omega C_3 R_3} = R_2 R_4$$

$$R_X = R_2 \frac{R_4}{R_3}$$

$$L_X = R_2 R_4 C_3$$

$$Q = \frac{\omega L_X}{R_X} = \omega R_3 C_3$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

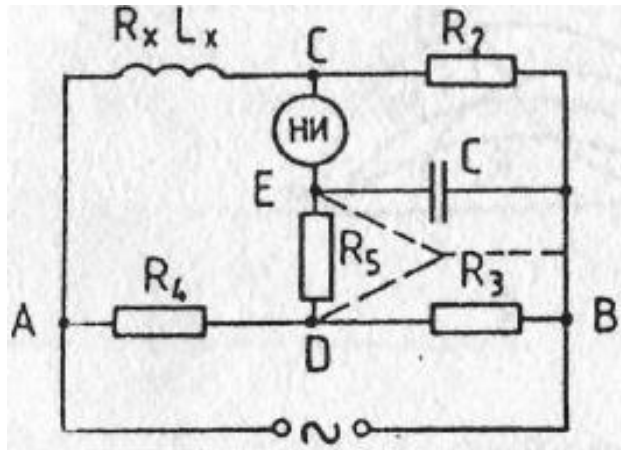
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА БОБИНИ

- **Шестраменен мост на Андерсен** – използва се за измерване на индуктивности с нисък качествен фактор - $Q < 0,5$



$$R_X = R_2 \frac{R_4}{R_3}$$

$$L_X = C \frac{R_2}{R_3} [R_3 R_4 + R_5 (R_3 + R_4)]$$

- За да се уравни мостът винаги трябва да бъде изпълнено условието $L_X/C > R_2 R_4$
- Мостът се уравни разделно чрез различни захранвания – първо с постоянен, а след това и с променлив ток
 - при постоянен ток - чрез регулиране на R_3
 - при променлив ток - чрез регулиране на R_5
- Уравниването може да се извърши и само при променлив ток
- Има добра сходимост, тъй като R_5 участва само в едно от двете равенства



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!

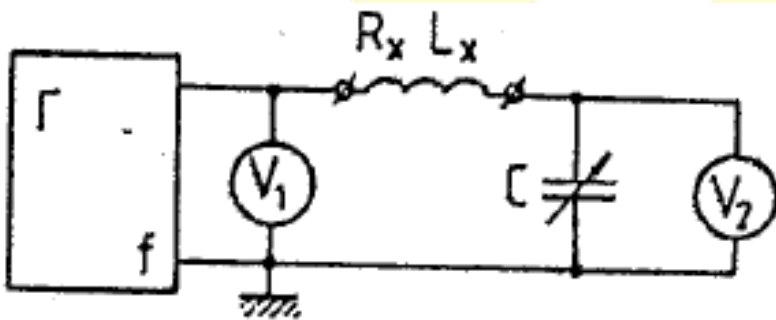


Европейски социален фонд

стр. 31 от 32

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА БОБИНИ

- **Резонансен метод** – аналогичен на резонансния метод за измерване на капацитети
 - приложение - за измерване на индуктивности от $0,1 \mu\text{H}$ до 20mH при високи честоти
 - за изграждане на Q-метри - уреди за измерване на качествения фактор на бобини



$$L_x = \frac{1}{\omega^2 C}$$

$$U_2 = I \frac{1}{\omega C} = \frac{U_1}{R_x \omega C} = U_1 \frac{\omega L_x}{R_x} = U_1 Q$$



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!

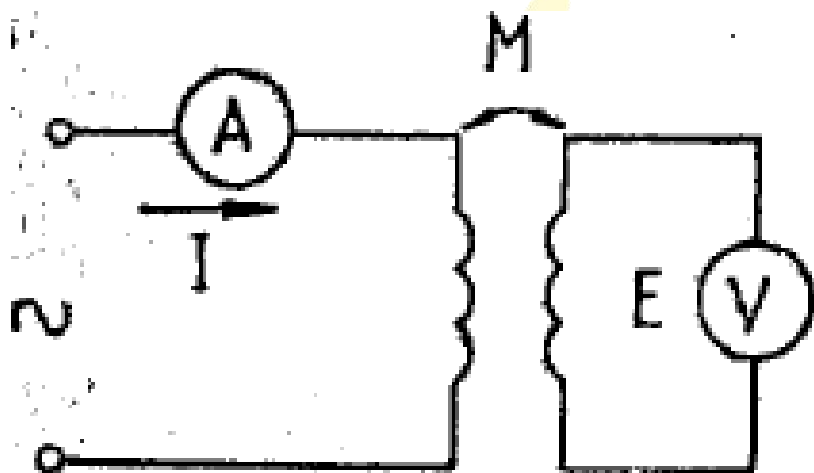


Европейски социален фонд

стр. 32 от 32

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ВЗАИМНА ИНДУКТИВНОСТ

- **Косвен метод чрез амперметър и волтметър**
 - през едната от намотките на бобината M се пропуска променлив ток I с известна честота f , който се измерва с амперметър
 - в другата намотка се индуктира е.д.н. $E = \omega MI$, което се отчита от волтметър



$$M = \frac{E}{2\pi fI}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

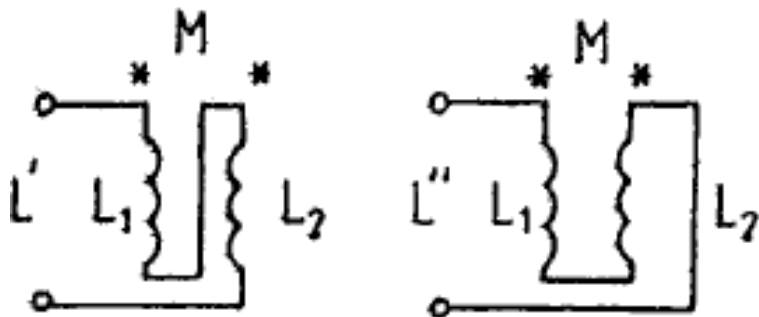
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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 ПАРАМЕТРИ НА ВЗАИМНА ИНДУКТИВНОСТ

- **Косвен метод чрез измерване на индуктивностите на двете намотки**
 - измерват се двете индуктивностите L' и L'' , съответно при съпосочно и противопосочно последователно свързване на двете намотки на бобината
 - Този метод се използва за измерване на взаимни индуктивности с голям коефициент на връзката, тъй като за разликата между две близки по стойност величини грешката може да бъде значителна.



$$L' = L_1 + L_2 + 2M$$

$$L'' = L_1 + L_2 - 2M$$

$$M = \frac{L' - L''}{4}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

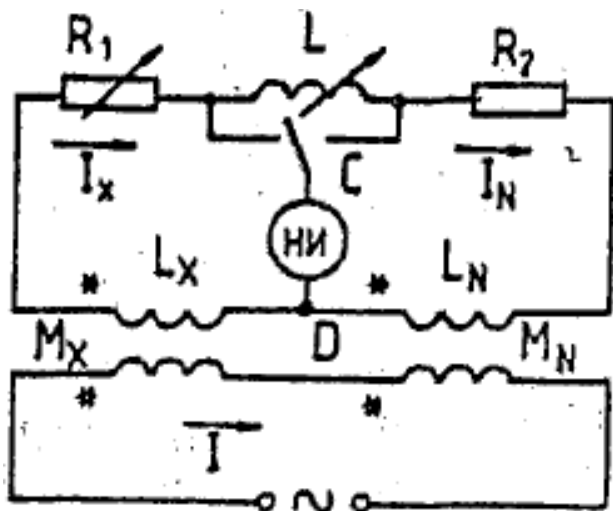
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



стр. 34 от 32

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ВЗАИМНА ИНДУКТИВНОСТ

- **Мост на Максвел**



Мостът се уравновесява чрез регулиране на R_1 и L , като индуктивността L се включва към рамото с по-малка собствена индуктивност

- При свързване на късо на точките C и D, за вторичните контури са в сила:

$$-j\omega M_X I = I_X (R'_1 + j\omega L_X)$$

$$-j\omega M_N I = I_N (R'_2 + j\omega L_N)$$

- $I_X = I_N$, т.е. нулево показание на нулевия индикатор НИ

$$\frac{M_X}{M_N} = \frac{R'_1 + j\omega L_X}{R'_2 + j\omega L_N}$$

- R'_1 и R'_2 са сумарните активни съпротивления в съответните контури

$$M_X = M_N \frac{R'_1}{R'_2}$$

$$L_X = L_N \frac{R'_1}{R'_2}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

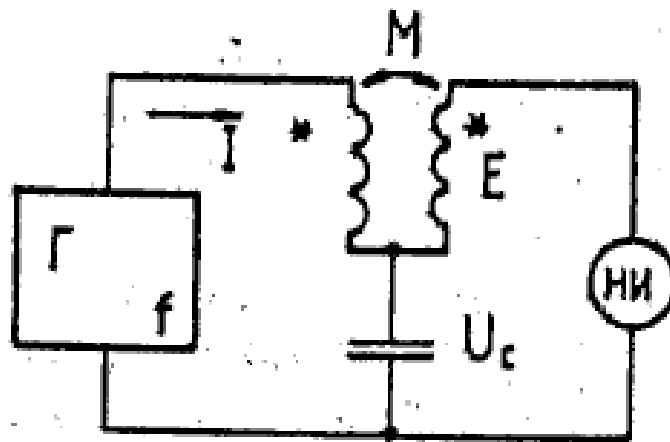
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ВЗАИМНА ИНДУКТИВНОСТ

- **Резонансен метод**
- През първичната намотка се пропуска ток от захранващ генератор с регулируема честота f .
- Във вторичната намотка, включена противоположно, се индуцира е.д.н., което се сравнява с напрежителния пад върху кондензатор с малък ъгъл на загубите, през който протича токът на първичната намотка.
- При постигане на резонанс (нулево показание на нулевия индикатор НИ) е налице.
- Резонансът се постига чрез регулиране на честотата на захранващия генератор или капацитета C на кондензатора



$$\dot{E} = \dot{U}_c$$

$$\dot{E} = j\omega M \dot{I}$$

$$\dot{U}_c = \frac{\dot{I}}{j\omega C}$$

$$M = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}$$



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

ЛИТЕРАТУРА

Измерване на параметри на електрически вериги при променлив ток

- 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!

