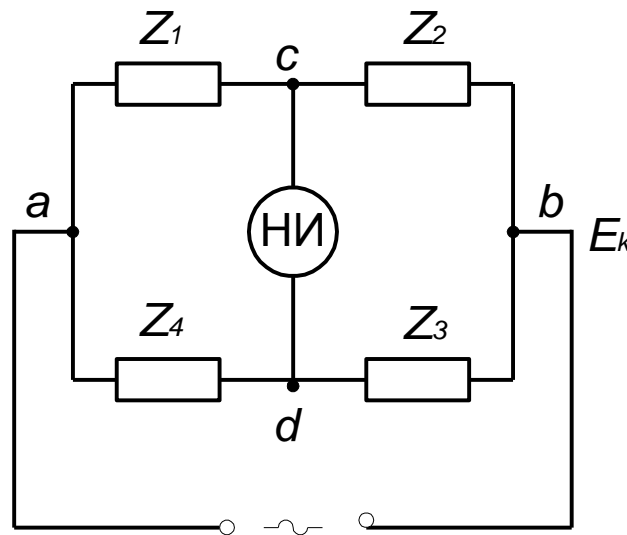

В 8. Видове мостове за променлив ток. Принципни схеми. Измерване на капацитети и на индуктивности.

МОСТОВЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

Измервани величини и параметри

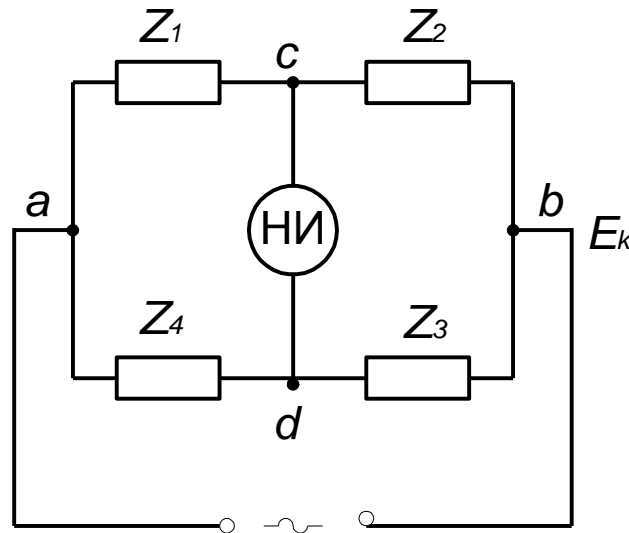
- Мостовете за променлив ток се използват за измерване на параметрите на вериги при променлив ток ($L, C, R, \operatorname{tg}\delta, Q, M$) и някои параметри на периодичните процеси (честота и фаза). Те биват четирираменни и шестраменни
- В общия случай рамената им са комплексни съпротивления.



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.



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:

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

$$z_1 z_3 = z_2 z_4$$

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

или

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

Измерване на параметри на кондензатори

Всеки реален кондензатор може да се представи чрез последователна или паралелна заместваща схема от капацитет и активно съпротивление. Прието е кондензаторът да се характеризира с два параметъра: капацитета C и тангесът на ъгълът на диелектричните загуби $\text{tg}\delta$. При последователна схема $\text{tg}\delta$ представлява отношение между активната и капацитивната съставка на напрежението.

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

а при паралелна схема- отношението на активната и капацитивната съставка на тока:

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

При изследване на кондензатори се използват методи и уреди за разделно отчитане на параметрите C и $\text{tg}\delta$.

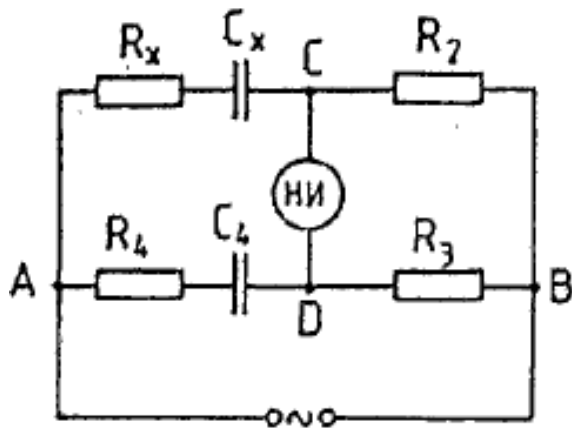
Условие за равновесие на четирираменен мост. (две скаларни уравнения - равенство на реалните и на имагинерните части:

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

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

Измерване на капацитети

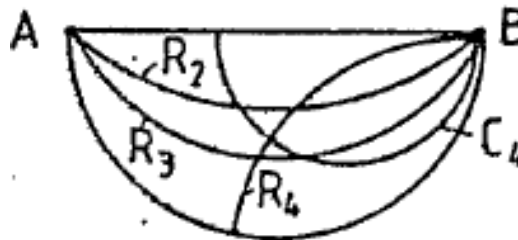
- **Мост на Вин** - за измерване на капацитети на кондензатори с малки загуби $C_x \geq 1 \text{ nF}$



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

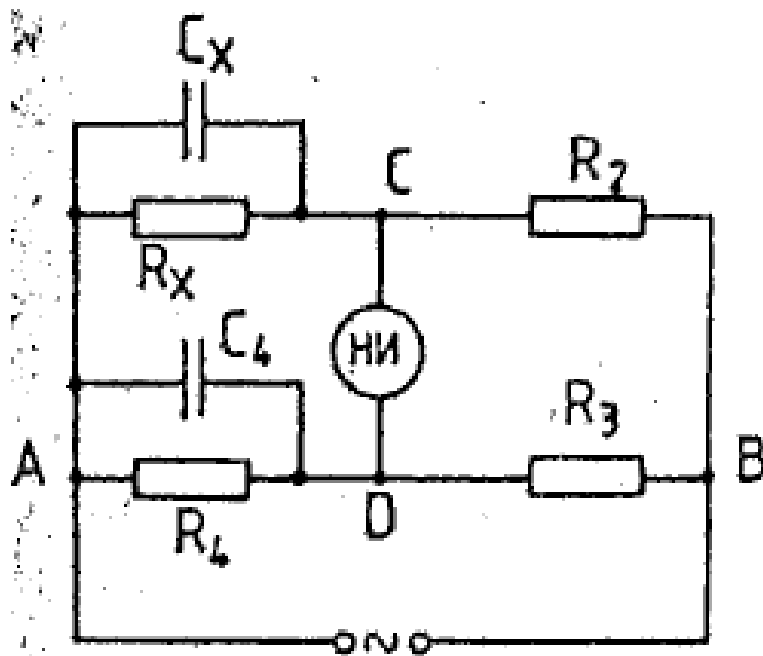
$$R_X = R_4 \frac{R_2}{R_3}$$

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



Измерване на капацитети

Мост на Нернст - за измерване на капацитета на кондензатори с по-големи загуби, дължащи се главно на утечки (паралелна заместваща схема на кондензатора)



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

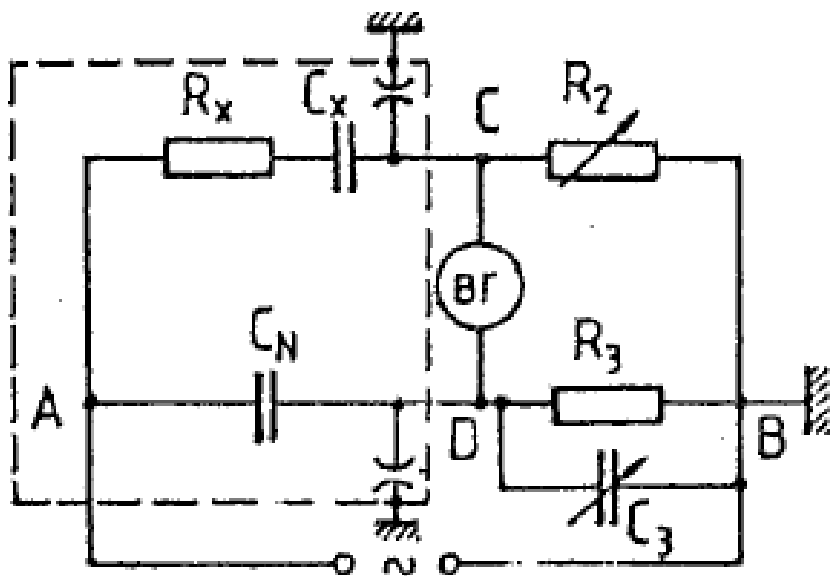
$$R_x = R_4 \frac{R_2}{R_3}$$

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

$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{1}{\omega R_x C_x} = \frac{1}{\omega R_4 C_4}$$

Измерване на капацитети

Мост на Шеринг - за определяне на загубите в диелектрици и измерване на капацитета и ъгъла на загубите в кабелите за ВН. Мостовата схема се захранва с високо напрежение. За осигуряване на безопасна работа измерваният обект C_x и образцовият кондензатор C_N се ограждат със защитна решетка, т.В се заземява, а към т.С и D се поставят защитни разрядници. C_N има много малък капацитет- 10 pF и като диелектрик в него се използва инертен газ с високо налягане. По този начин регулируемите елементи R_2 и C_3 се намират под безопасно напрежение.



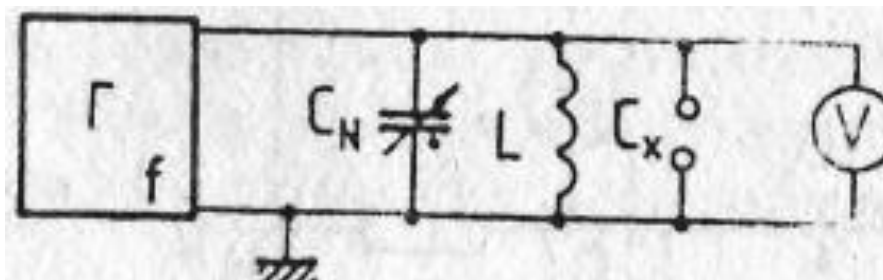
$$C_x = C_4 \frac{R_3}{R_2}$$

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

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

Измерване на капацитети

Резонансен метод – Използва се за измерване на малки капацитети при високи честоти



Регулируемият еталонен кондензатор C_N и бобината L са включени паралелно и образуват резонансен контур.

При максимална стойност C_{N1} на C_N се постига резонанс чрез регулиране на честотата на високочестотния генератор, 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:

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

За бърза и лесна настройка волтметърът трябва да има голямо входно съпротивление, а генераторът да има високоомен изход.

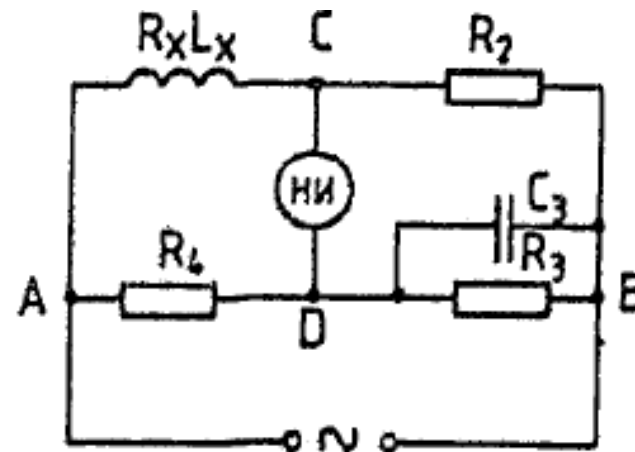
Измерване на индуктивности

- 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 метод.

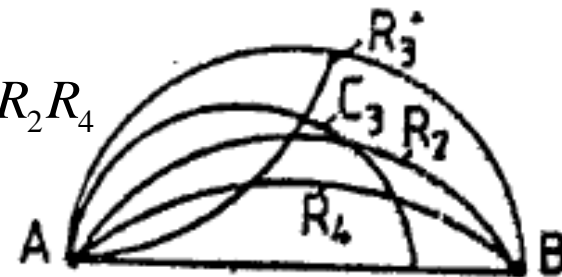
- Мост на Максвел-Вин



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

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

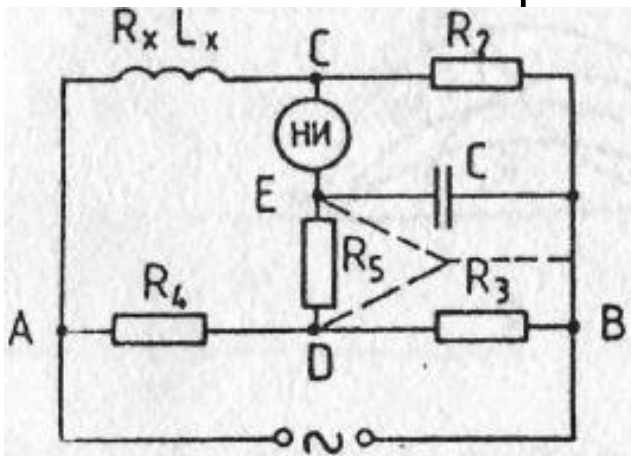
$$L_x = R_2 R_4 C_3$$



$$Q = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega R_3 C_3$$

Измерване на индуктивности

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



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

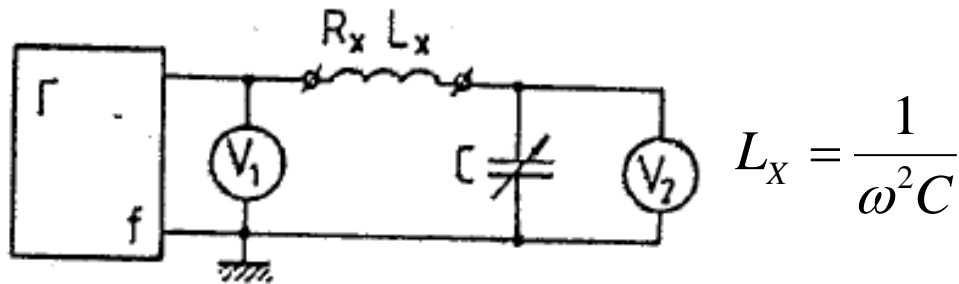
- Преобразуване от шестраменен в четирираменен мост.
- Триъгълникът DBE се преобразува в еквивалентна звезда със съпротивления

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

- За да се уравни моста винаги трябва да бъде изпълнено условието $L_X/C > R_2 R_4$
- Мостът се уравнива отделно 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

Измерване на индуктивности и взаимни инд.

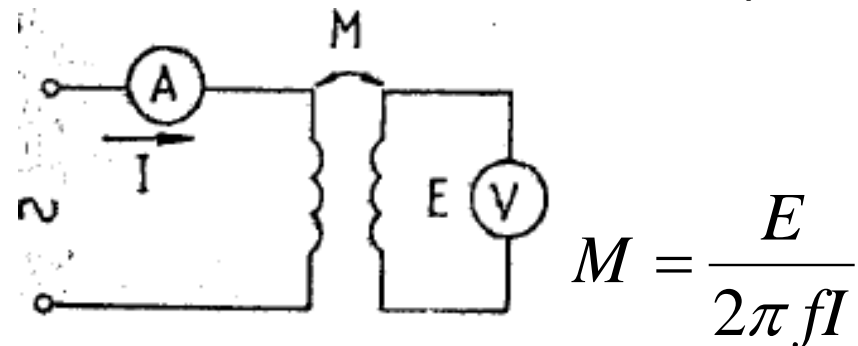
- **Резонансен метод** – аналогичен на резонансния метод за измерване на капацитети
 - Приложение - за измерване на индуктивности от $0,1 \mu\text{H}$ до 20mH при високи честоти
 - За изграждане на Q-метри - уреди за измерване на качествения фактор на бобини



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

- **Измерване на взаимни индуктивности. 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 индуцира е.д.н. $E = \omega M I$, което се отчита от волтметър



Измерване на взаимни индуктивности

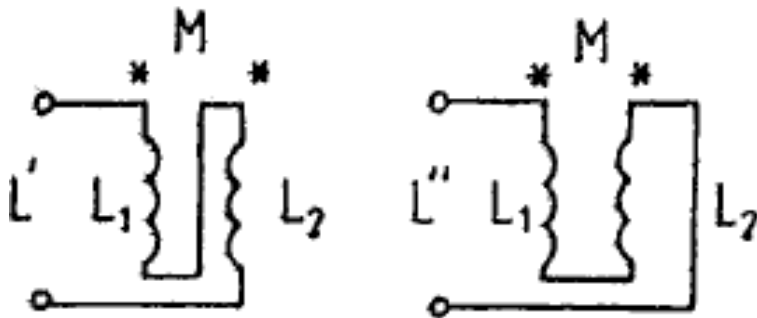
- Косвен метод чрез измерване на индуктивностите на двете намотки
- Измерват се двете индуктивностите L' и L'' , съответно при съпосочно и противоположно последователно свързване на двете намотки на бобината

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

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

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

- *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.*



ЛИТЕРАТУРА

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