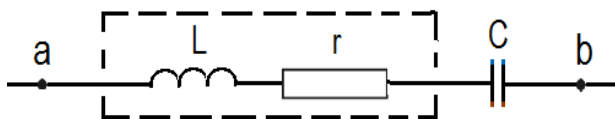
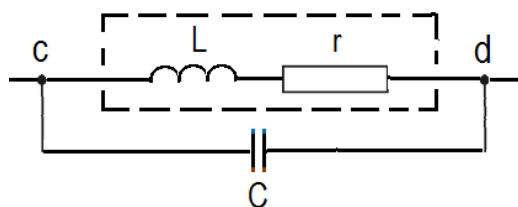


6. Трептящи кръгове. Снемане на резонансна крива. Определяне на ширината на кривата и Q-фактора на трептящия кръг

Трептящите кръгове са типичен представител на т.нар. RLC-схеми. Най-често срещани са схемите съдържащи една бобина, един кондензатор и един резистор. Дори резистор в схемата формално да няма, той реално съществува като омово съпротивление на намотките на бобината и съпротивление, отчитащо утечката в диелектрика на кондензатора. Влиянието на второто обикновено се пренебрегва в сравнение с това на бобината, на която се приписва **съпротивление на загуби r** , в което се включват омови загуби, загуби от излъчване на магнитно поле в околното пространство, загуби в магнитната среда (сърцевината на бобината) и др. Има два начина на свързване на бобина и кондензатор – последователно (фиг. 1а) и паралелно (фиг. 1б). Пунктирът огражда елементи, които са неразделни конструктивно.



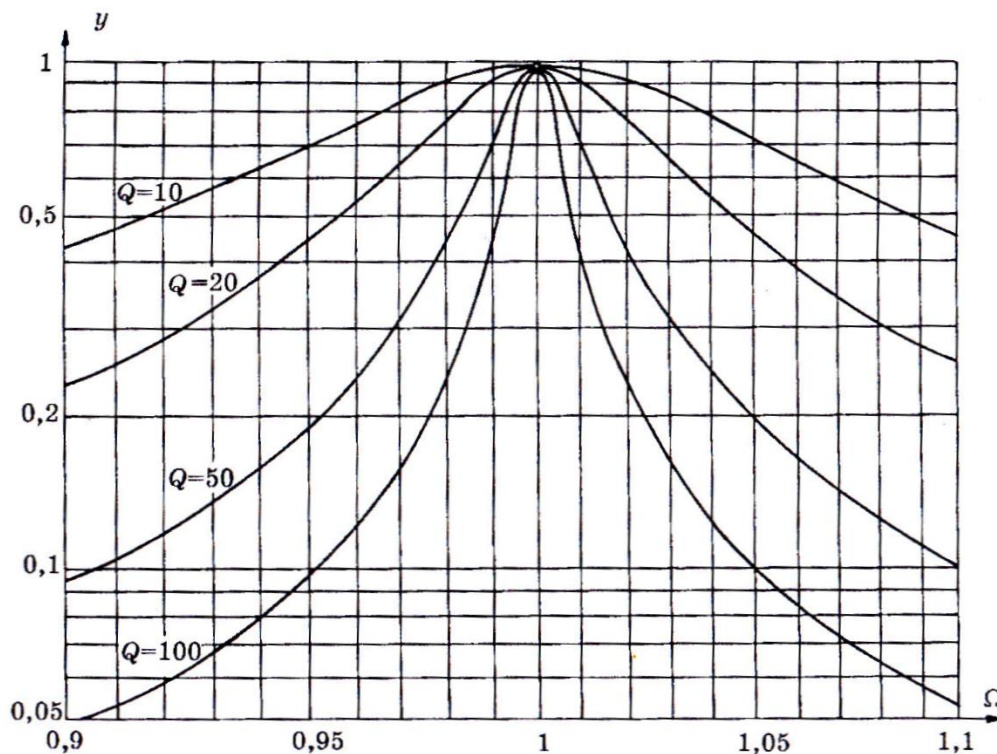
фиг. 1а



фиг. 1б

Независимо от начина на свързване и в двете схеми се наблюдава явлението **резонанс**, при което имагинерните компоненти в импеданса на схемите взаимно се компенсират и съпротивлението на веригата става чисто активно. Честотата, при която става това се нарича **резонансна честота f_0** , или собствена честота на веригата, която се превръща в **трептящ кръг**, в който възникват затихващи или незатихващи (при наличие на постоянен източник на енергия) трептения. Последователната схема става **последователен трептящ кръг**, в който се наблюдава **резонанс на напрежение** – напрежението върху кондензатора (бобината) при резонанс става значително по-голямо от това на възбуждащия кръга генератор на напрежение. Паралелната схема се превръща в **паралелен трептящ кръг**, в който се наблюдава **резонанс на ток** – токът

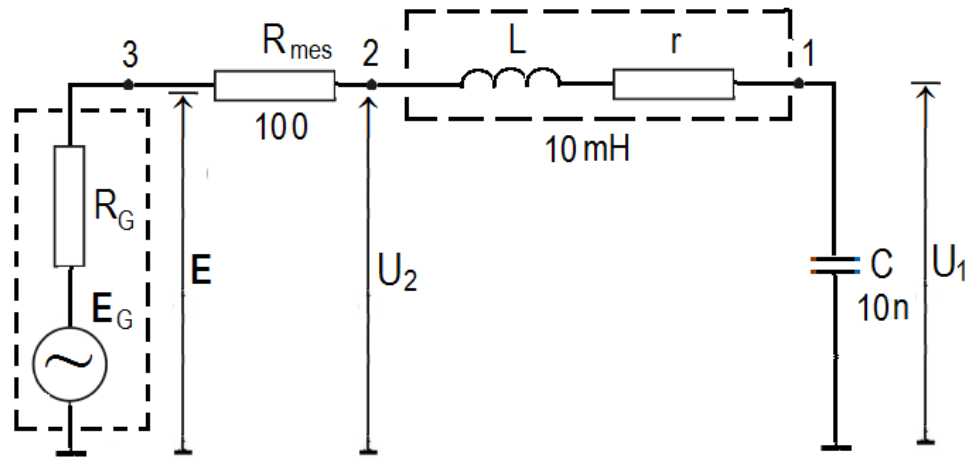
през бобината (кондензатора) при резонанс става значително по-голям от тока на възбуждащия кръг генератор на ток. Освен резонансната честота, основен параметър на всеки трептящ кръг е неговият **качествен фактор** (Q-фактор), който показва колко пъти напрежението (тока) в кръга при резонанс е по-голям(о) от напрежението (тока) на възбуждащия генератор. Зависимостта на напрежението $U = U(f)$ (тока $I = I(f)$) в трептящия кръг от честотата има камбановидна форма с максимум при резонансната честота f_0 и се нарича **резонансна крива**. Много често тя се чертае нормирана – въвежда се безразмерна променлива $y = U / U_m (= I / I_m)$, където U_m , I_m са максималните стойности на U , I и безразмерна честота $\Omega = f / f_0$. Формата ѝ зависи от големината на качествения фактор Q (фиг. 2).



фиг. 2

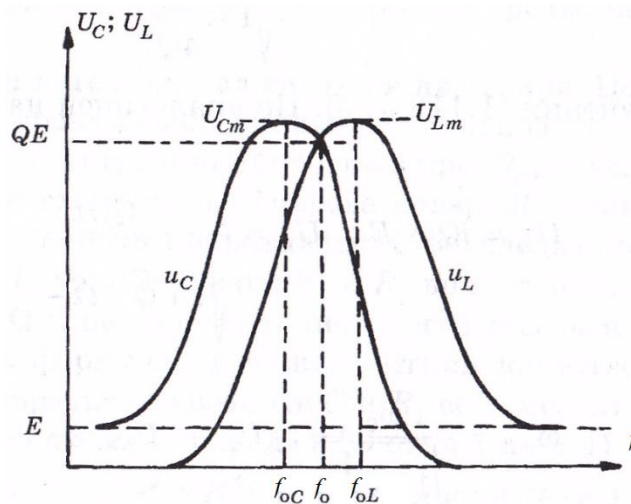
Ширината ѝ на ниво 0.707 от максималната стойност се нарича **ширина на резонансната крива** ($2\Delta f$), Δf – полу-ширина на резонансната крива. Ширината на резонансната крива е пряко свързана с качествения фактор Q , като $Q = f_0 / 2\Delta f$. Въвежда се и параметъра $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$, който има размерност на съпротивление и се нарича **вълново съпротивление**.

Последователен трептящ кръг. За експериментално определяне на параметрите му се използва схемата на фиг. 3.



фиг. 3

Съпротивлението R_{mes} внася допълнителни загуби в трептящия кръг и намалява качествения фактор, но е необходимо за пресмятане на протичащия в кръга ток. R_G е вътрешното съпротивление на генератора. Схемата се настройва точно в резонанс, чрез изменение на честотата на генератора, докато напрежението U_2 в т. 2 стане минимално. Много често, но с определена грешка, настройването в резонанс се прави, като се търси максимална стойност на напрежението върху L или C (в случая U_1). Резонансните честоти f_{0L} и f_{0C} се различават малко от f_0 поради наличието на резисторите в кръга (фиг. 4). При качествен фактор $Q > 10$ грешката е по-малка от 0.1%.



фиг. 4

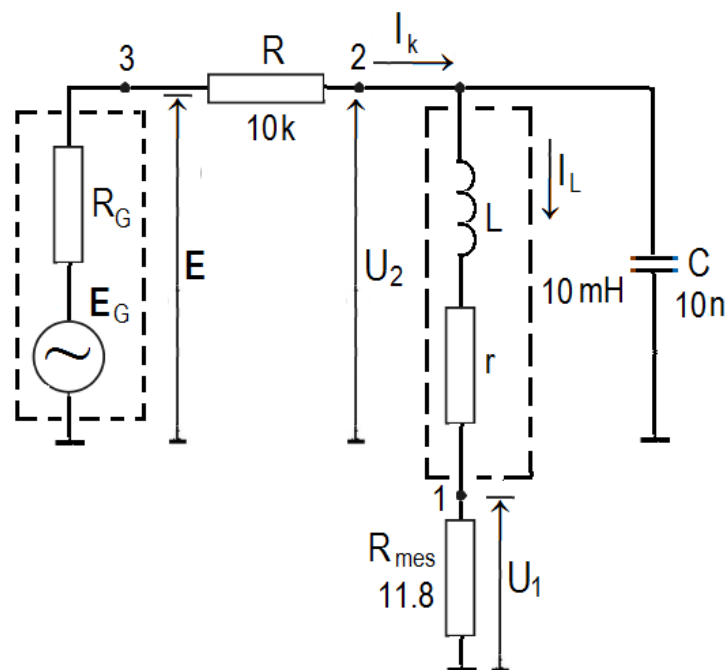
В схемата могат да се определят няколко Q-фактора чрез измерване на напреженията E , U_1 и U_2 както следва:

- собствен $Q = U_1 / U_2$ – отчита само загубите в r ;
- еквивалентен $Q_e = U_1 / E$ – отчита загубите в $r + R_{mes}$;
- пълен $Q_{total} = f_0 / 2\Delta f$ – отчита пълните загуби в кръга ($r + R_{mes} + R_G$) – чрез определяне ширината на резонансната крива.

Стойността на тока в кръга при резонанс може да се пресметне от израза

$$I = (E - U_2) / R_{mes} , \text{ а собствената честота е } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Паралелен трептящ кръг. За експерименталното определяне на параметрите му се използва схемата на фиг. 5.



фиг. 5

Съпротивлението R е с голяма стойност по отношение на останалите резистори в схемата, за да се симулира захранване на трептящия кръг от източник на ток, а R_{mes} позволява да се определи токът I_L през бобината. Схемата се настройва точно в резонанс, чрез промяна на честотата на генератора, докато напрежението U_2 в т. 2 стане максимално. Резонансната честота е $f_r = f_0 (1 - r^2 / \rho^2)$ и се различава от тази на последователния трептящ кръг при същите стойности на L и C . Понякога, но с определена грешка, настройването в резонанс става, като се търси максимална стойност на тока

през реактивните елементи. При качествен фактор $Q > 10$ грешката е по-малка от 0.1%.

Чрез измерване на напреженията E , U_1 и U_2 при резонанс ($f = f_r$) могат да се определят токовете $I_L = U_1 / R_{mes}$ и $I_k = (E - U_2) / R$, както и :

- характеристичното съпротивление $\rho = U_2 / I_L$;
- еквивалентното съпротивление $R_e = U_2 / I_k$;
- загубите $R_1 = \rho^2 / R_e = I_k U_2 / I_L^2$ от наличието на r и R_{mes} ;
- собствените загуби $r = R_1 - R_{mes}$;
- собственото еквивалентно съпротивление $R_{0e} = \rho^2 / r$;
- загубите $R_2 = E / I_k$ от наличието на R , r и R_{mes} .

Стойностите на Q -факторите се получават от експериментално определените по-горе параметри:

- собствен Q -фактор $Q = \rho / r$;
- еквивалентен Q -фактор $Q_e = I_L / I_k$ от наличието на r и R_{mes} ;
- пълнен $Q_{total} = f_r / 2\Delta f$ – отчита пълните загуби в кръга ($r + R_{mes} + R + R_G$) – чрез определяне ширината на резонансната крива.

Задачи

Задача 1. Определяне на параметрите на последователен трептящ кръг.

Свързва се схемата от фиг. 3. От генератора се подава напрежение $E = 1V$ с честота $f_i = 1kHz$. Към точки 1 и 2 се свързват двата канала на осцилоскоп. С промяна на честотата f_i схемата се настройва в резонанс (минимум на U_2). Да се сравни честотата на резонанс с теоретичната $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. Към т. 1 се свързва цифров волтметър, който повлиява малко на резонансната честота. Схемата се донастройва на резонанс и се отчита напрежението U_1 . След това с волтметъра се измерват U_2 и E . (През цялото време осцилоскопа остава включен към т. 1 и 2) . Да се пресметне теоретичната стойност на характеристичното съпротивление $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ и да се определят експерименталните стойности на качествения фактор $Q = U_1 / U_2$ и съпротивлението на загуби $r = \rho / Q$. Да се определи еквивалентния качествен фактор $Q_e = U_1 / E$ и загубите $R_e = \rho / Q_e$. Изпълнява ли се $R_e = r + R_{mes}$?

Задача 2. Снемане на резонансната крива последователен трептящ кръг.

Работи се по същата схема, като цифровия волтметър мери постоянно напрежението U_1 (в случая U_C). Честотата на генератора f_i се мени в интервала $[8 \text{ kHz} \div 24 \text{ kHz}]$ със стъпка 1 kHz и се снима за висимостта $U_1 = U_1(f_i)$. Определя се и $U_{1\text{max}}$ при резонансната честота f_{0C} . Данните се оформят в таблица и се начертава резонансната крива. На ниво $0.707 U_{1\text{max}}$ от кривата се определят честотите f_1 и f_2 , определящи ширината на резонансната крива $2\Delta f = f_2 - f_1$. Пресмята се пълният Q-фактор $Q_{\text{total}} = f_{0C} / 2\Delta f$. Поради симетрията на резонансната крива $f_{0C} = (f_2 + f_1) / 2$ и $Q_{\text{total}} = (f_2 + f_1) / 2(f_2 - f_1)$.

Да се определи вътрешното съпротивление на генератора R_G от уравнението $Q_{\text{total}} = \rho / (r + R_{\text{mes}} + R_G)$.

Задача 3. Определяне на параметрите на паралелен трептящ кръг.

Свързва се схемата от фиг. 5. От генератора се подава напрежение $E = 1 \text{ V}$ с честота $f_i = 1 \text{ kHz}$. Към точки 1 и 2 се свързват двата канала на осцилоскоп. С промяна на честотата f_i схемата се настройва в резонанс (максимум на U_2) и се определя резонансната честота f_r . Към т. 1 се свързва цифров волтметър, който повлиява малко на резонансната честота. Схемата се донастройва на резонанс и се отчита напрежението U_1 . След това с волтметъра се измерват U_2 и E . (През цялото време осцилоскопа остава включен към т. 1 и 2). Да се изчислят токовете $I_L = U_1 / R_{\text{mes}}$ и $I_k = (E - U_2) / R$, еквивалентното съпротивление $R_e = \rho^2 / (r + R_{\text{mes}})$, като стойността на r се взема от Задача 1. Да се определи експерименталната стойност на еквивалентния Q-фактор $Q_e = I_L / I_k$ и да се сравни с теоретичната $Q_e = R_e / \rho$.