

Лабораторно упражнение № 3

Изследване на магнитно свързани трептящи кръгове

1. Цели на упражнението

След провеждането на това упражнение вие трябва да можете:

1.1. Да изчислявате основните параметри на магнитно свързани трептящи кръгове.

1.2. Да извършвате настройка на магнитно свързани трептящи кръгове.

2. Литература

Койчев К., С. Садинов, Сигнали и системи, Алма Матер Интер., 2010

Койчев К. Теория на сигналите, ТУ Габрово, 1998

Ненов Г., С. Захариева. Основи на радиоелектрониката, Техника, С. 1989

3. Необходими уреди

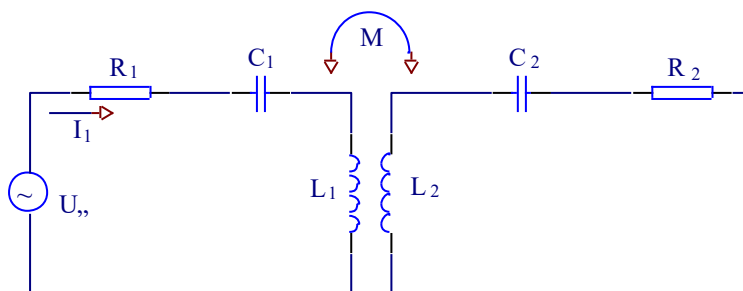
-Лабораторен макет, средночестотен генератор, високочестотен волтмер

4. Теоретична обосновка

Два кръга се наричат свързани, когато енергията преминава от единия в другия. Кръгът, който се захранва непосредствено от генератора се нарича първичен, а кръгът в който възникват трептенията под въздействие на първичния кръг - вторичен.

Връзката между кръговете може да се осъществи чрез общо електрическо поле, чрез общо магнитно поле или чрез общо съпротивление, като в зависимост от това се различават няколко вида връзки: индуктивна, капацитивна, галванична и смесена връзки.

Най-голямо разпространение е получила магнитната връзка, която се осъществява чрез общо за двата кръга магнитно поле. Практически магнитната връзка се реализира чрез трансформаторно (индуктивно) свързване на двата кръга (фиг. 1).



фиг. 1

При индуктивно свързване на кръговете, в бобината L_2 във втория кръг, максимално е.д.н. $E_{2\text{таx}}$ ще се индуцира, когато целия магнитен поток на бобината L_1 пресича навивките на бобината L_2 , т.е. когато L_1 и L_2 образуват трансформатор без разсейване. В такъв случай коефициента на взаимна индукция M е максимален и е

$$M_{\text{max}} = \sqrt{L_1 L_2} . \quad (1)$$

Коефициентът на връзка κ е

$$\kappa = \frac{E_2}{E_{2\text{max}}} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} . \quad (2)$$

Коефициентът на връзка κ може да има стойности от $0 \div 1$. Той характеризира влиянието на единия кръг върху другия.

Фактор на връзката се нарича величината

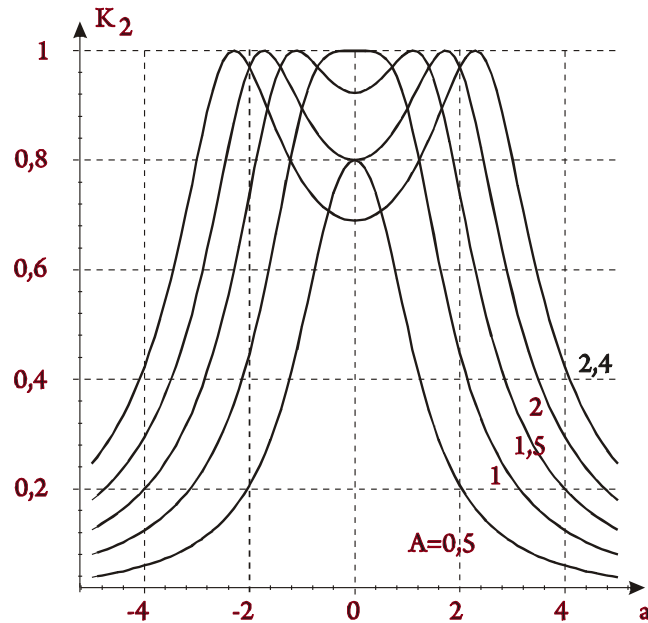
$$A = \frac{X_{12}}{\sqrt{R_1 R_2}} = \frac{\omega M}{\sqrt{R_1 R_2}} = \frac{\omega \kappa \sqrt{L_1 L_2}}{\sqrt{R_1 R_2}} . \quad (3)$$

В (3) с X_{12} е означено реактивното съпротивление на елемента за връзка между кръговете.

Коефициентът на предаване $K(\omega)$ се дава с израза:

$$K(\omega) = \frac{QA}{\sqrt{(A^2 + 1 - a^2) + 4a}}, \quad (4)$$

където a е обобщената разстройка :



фиг. 2

$$a = \left(\frac{f}{f_p} - \frac{f_p}{f} \right) Q \approx \frac{2\Delta f}{f_p} Q \quad (5)$$

В (5) приблизителното равенство е в сила при малки разстройки ($2\Delta f \ll f_p$) а

$$Q = \frac{1}{\omega C_{1,2} R_{1,2}} = \frac{\omega L_{1,2}}{R_{1,2}} \quad (6)$$

е качествения фактор на кръга.

Наличието на два трептящи кръга обуславят два вида резонансни криви - на първия и на втория кръг. На фиг.2 са начертани семейство криви $K_2(\omega)$ при параметър A , които се наричат обобщени резонансни характеристики на втория трептящ кръг и не зависят от вида на връзката между кръговете. Вижда се, че при $A \leq 1$ резонансните криви имат същия ход, както при единичния трептящ кръг, но са по близки до идеалната правоъгълна форма, т.е. свързаните трептящи кръгове осигуряват по-добра избирателност, от колкото единичния трептящ кръг.

Когато $A < 1$ връзката се нарича слаба (подкритична), а при $A = 1$ - критична.

Критичната стойност на коефициента на предаване се определя с израза

$$K_{kp} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2}} \quad (7)$$

При критична връзка токът през втория кръг става максимум при резонансната честота f_p . По нататъшното увеличаване на A превръща връзката в силна (критична) и характера на резонансните криви се променя. Те добиват два максимума и един минимум и се наричат двугърби. Единият максимум е при $f < f_p$ и неговата честота се определя с израза:

$$f_{01} = f_p \left(1 - \frac{1}{2} \sqrt{\kappa^2 - \frac{1}{Q^2}} \right) \quad (8)$$

Честотата на другия максимум (при $f > f_p$) е:

$$f_{02} = f_p \left(1 + \frac{1}{2} \sqrt{\kappa^2 - \frac{1}{Q^2}} \right) \quad (9)$$

Честотата при която се получава минимума е равен на f_p .

Лентата на пропускане на свързаните трептящи кръгове лежи между честотите, при което коефициента K_2 намалява с $\sqrt{2}$ пъти (или с 3 dB) по отношение на максималния. Широчината на тази лента се определя с изразите в зависимост от вида на връзката:

а) За подкритична връзка ($A < 1$)

$$2\Delta f = \frac{f_p}{Q} \sqrt{A^2 - 1 + \sqrt{2(A^4 + 1)}} \quad (10)$$

б) За надкритична връзка ($A > 1$)

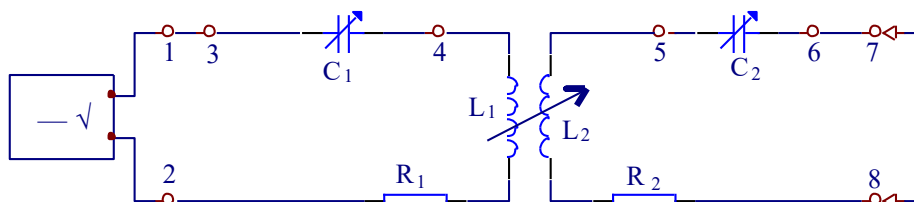
$$2\Delta f = \frac{f_p}{Q} \sqrt{A^2 + 2A - 1} \quad (11)$$

в) За критична връзка ($A = 1$)

$$2\Delta f = \frac{f_p}{Q} \sqrt{2} \quad (12)$$

Целта на настройката на свързаните трептящи кръгове е да се получи максимум на тока I_2 през втория кръг, което практически отговаря на максимум на напрежението върху кондензатора C_2 . Самата настройка се извършва чрез промяна на стойността на кондензатора или на бобината на един от трептящите кръгове и на коефициента на връзка между тях. В зависимост от елементите за настройка се получават различни максимални стойности на напрежението върху кондензатора C_2 .

Схемата на опитната постановка е показана на фиг. 3.



фиг. 3

Чрез промяна на стойностите на кондензаторите C_1 и C_2 е възможно да се настройват двата трептящи кръга в резонанс. Чрез плъзгача намиращ се върху макета може да се регулира разстоянието между бобините, т.е. да се регулира коефициента на връзка между тях.

5. Задачи за изпълнение

5.1. Чрез (6) да се пресметнат Q-факторите на двата трептящи кръга от фиг. 6, като се има в предвид, че стойностите на елементите от схемата са : $L_1 = 10,3 \text{ mH}$, $L_2 = 11 \text{ mH}$; $f_{01} = f_{02} = 100 \text{ kHz}$; $R_1 = R_2 = 500 \Omega$; $C_1 = C_2 = 8 \div 560 \text{ pF}$.

5.2. Да се изчисли критичният коефициент на връзка между двата кръга за посочените в 5.1 данни. Изчислението се извършва по формула 7.

От така получените стойности за κ намерете големината на подкритичната κ_1 , критична κ_2 и надкритична κ_3 връзка по формулите :

$$\kappa_1 = 0,3 \kappa_{кр} ; \kappa_2 = \kappa_{кр} ; \kappa_3 = 1,2 \kappa_{кр} .$$

Получените резултати от т. 5.1 и 5.2 да се нанесат в табл. 1.

5.3. Да се извърши настройка на свързаните трептящи кръгове.

Настройката се извършва в следната последователност:

С помощта на плъзгача върху макета се задава коефициент на връзка $\kappa < \kappa_1$.

а) Да се изключи връзката между клеми 7 и 8.

б) Към клеми 1 и 2 да се включи сигнал-генератор и се зададе честота $f = 100 \text{ kHz}$ и напрежение $3 \div 5 \text{ V}$

в) Да се включи в.ч. волтметър към клеми 3 и 4 и се отчете напрежението върху кондензатора U_{C_1} .

г) С помощта на променливия кондензатор C_1 да се настрои първия трептящ кръг в резонанс ($U_{C_1} = U_{C_1 \text{ max}}$).

д) Да се включи връзката между клеми 7 и 8 а в.ч. в клеми 5 и 6.

е) С помощта на променливия кондензатор C_2 да се настрои втория трептящ кръг в резонанс ($U_{C_2} = U_{C_2 \max}$).

5.4. Да се снимат честотните характеристики на свързаните трептящи кръгове. За целта, най-напред да се зададе коефициент на връзката $k=k_1$ при големина на входния сигнал от $(3 \div 5)$ V.

Измерването на напрежението за честотите близки до 100 kHz да се извърши много внимателно, тъй като то се променя с голяма скорост.

Получените резултати да се нанесат в табл. 2.

По аналогичен начин да се снимат честотните характеристики за $k_2 = k_{кр}$ и $k_3 = 1.2k_{кр}$, като резултатите се нанасят в същата таблица.

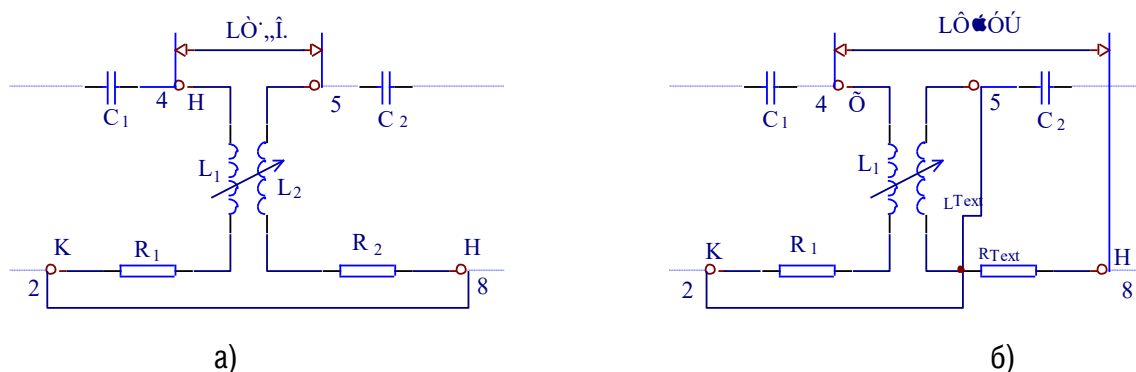
Получените характеристики да се изчертаят в една и съща координатна система в нормиран вид - фиг.1.

5.5. От така начертаните честотни характеристики при ниво 0,707 да се определи експериментално за трите случая пропусканата честотна лента. Данните да се нанесат в табл. 3.

5.6. Да се пресметнат теоретично широчините на пропусканите честотни ленти Δf (формули 10, 11, 12), при отчитане на формула 3, за различните видове връзки, а също и честотите f_{01} и f_{02} , за които се получава максимум на амплитудно честотните характеристики (формули 8 и 9). Резултатите да се нанесат в табл. 3, като се сравнят теоретичните и експериментални резултати.

Приложен проблем

За практическо определяне на коефициента на връзка k е необходимо да се измери общата индуктивност на двете бобини при съгласувано $L_{с\grave{y}гл.}$ (фиг. 4а) и противоположно $L_{прот.}$ (фиг. 4б) включване на техните намотки.



фиг. 4

В първия случай общата индуктивност е

$$L_{с\grave{y}гл.} = L_1 + L_2 + 2M, \quad (13)$$

а във втория

$$L_{прот.} = L_1 + L_2 - 2M. \quad (14)$$

От тези формули се получава изразът за взаимната индуктивност:

$$M = \frac{L_{с\grave{y}гл.} - L_{прот.}}{4}. \quad (15)$$

Ако се знае индуктивността на всяка бобина L_1 и L_2 , с помощта на (15) може да се определи коефициента на връзката съгласно (2).

Величината $(1 - k^2)$ се нарича коефициент на разсейване. Тя се характеризира с наличието във всяка бобина на магнитни потоци, непресичащи другата бобина и разсейващи се в околното пространство. Използва се понятието индуктивност на разсейване, което се определя като :

$$L_s = (1 - k^2)L_1. \quad (16)$$

За приетите стойности на L_1 и L_2 измерете $L_{с\grave{y}гл.}$ и $L_{прот.}$ с помощта на R-L-C мост като реализирате последователно схемите от фиг. 4 а,б. Това да стане при крайно ляво и крайно дясно положение на плъзгача върху макета. Изчислете стойностите на M , k и L_s съгласно (15, 16, и 17) и ги нанесете в табл. 3.

7. Самостоятелно изследване

Като се имат на предвид резултатите от т. 5.6 се вижда, че лентата на пропускане е различна при различен коефициент на връзка между кръговете. Това позволява чрез промяна на k да се

регулира лентата на пропускане. Максималната широчина на лентата на пропускане се получава когато напрежението U_2 за f_p (падината на характеристиката) е равно на $U_{2\max}/\sqrt{2}$ (фиг. 2).

При $\kappa_3 > \kappa_{кр}$ това се постига при $\kappa_3 = 2,44 d$, където d е реципрочната стойност на Q-фактора на трептящия кръг. За този случай определете колко пъти лентата на пропускане е по-голяма от лентата на пропускане на съответния единичен трептящ кръг. Последното съответства на $\kappa_1 < \kappa_{кр}$. Резултата нанесете в табл. 4.

При $\kappa_2 = \kappa_{кр}$ ($\kappa_{кр} = d$) направете аналогични пресмятания. Резултата нанесете в табл. 4.

На базата на получените резултати направете съответни изводи. Същите отразете в протоколната част на упражнението.

Въпроси

1.Какво представляват свързаните трептящи кръгове и какво е приложението им в радиотехниката?

.....

.....

.....

.....

.....

2.Какво представлява коефициента на връзка κ и какво е неговото влияние върху АЧХ на свързаните трептящи кръгове?

.....

.....

.....

.....

3.Каква е целта на настройката на свързаните трептящи кръгове?

.....

.....

.....

.....

4.Защо случаят $\kappa_3 > \kappa_{кр}$ не намира практическо приложение ?

.....

.....

.....

.....

5.Освен, че се подобрява избирателността при използването на свързаните трептящи кръгове, какво друго тахно положително качество намира приложение в електрониката?

.....

.....

.....

.....