

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТРЕПТЯЩ КРЪГ В ПРОГРАМНИ СРЕДИ

Велислава Райдовска, Величко Манев

Резюме: Статията дава пример за лекотата на математическите изчисления при решаването на последователен трептящ кръг чрез програмния продукт Matlab. Работата на веригата е симулирана в компютърна програмна среда NI Multisim. Разработената програма в Matlab, представена в доклада, се използва в учебния процес в курса по Електротехника, включен в учебната програма на специалностите „Електроенергийна техника“ или „Компютърни и комуникационни системи“ за образователно-квалификационна степен „Бакалавър“.

Ключови думи: трептящи кръгове, NI Multisim, Matlab

Въведение

Използването на симулациите в практическото обучение по всички учебни технически дисциплини е основа за модернизирание на образователната система на всяка страна и съществен елемент от Европейската образователна политика.

В разработената методика освен теоретичното запознаване с материала и експериментални изследвания като междинно звено се включва и симулационно провеждане на упражнението. Това спомага за по-добра подготовка на студентите, по-уверената им работа с измервателната апаратура. Заинтересоваността на студента към усвояваната материя се повишава.

Цел на изследването

Изследването има за цел да се затвърдят теоретичните познания на студентите за единичните трептящи кръгове, да се запознаят с практическото осъществяване на настройката на трептящия кръг, снемане характеристиките му и запознаване с порядъка на характерните величини.

Основни зависимости при трептящи кръгове

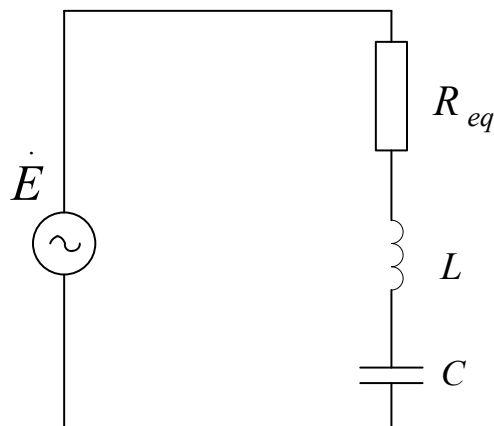
Последователният трептящ кръг представлява неразклонена по отношение на реактивните си елементи пасивна електрическа верига (Кюркчиева Р., 2001), състояща се от един кондензатор, една бобина, а в повечето случаи и един резистор, свързани последователно. Теоретичният анализ на последователния трептящ кръг се извършва на базата на приблизителна заместваща схема на кръга, дадена на фиг.1.

Съпротивлението R_{eq} представлява сума от

$$R_{eq} = r_L + r_C + r,$$

където

- r_L – загубното съпротивление на бобината от последователната заместваща схема на бобината;
- r_C – загубното съпротивление на кондензатора от последователната заместваща схема на реалния кондензатор;
- r – добавъчното съпротивление, което изпълнява ролята на ограничителен ток през кръга.



Фиг.1. Последователен третиц кръг

Основна характеристика на кръга е неговото комплексно входно съпротивление:

$$Z = z.e^{j\phi} = R + jX = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = X(\operatorname{tg}\delta + j) = X\left(\frac{1}{Q} + j\right), \quad (1)$$

където z и ϕ са модулът и фазовия ъгъл; R и X са активното и реактивното съпротивление; $\operatorname{tg}\delta$ - тангенсът на ъгъла на загубите; Q - качественият фактор.

Модулът и фазовият ъгъл на входния импеданс са съответно:

$$|Z| = \sqrt{r^2 + X^2} \quad (2)$$

$$\phi = \operatorname{arctg} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{r} = \operatorname{arctg} \frac{X}{r}, \quad (3)$$

За честотата $\omega=0$ като се вземе предвид (1) се установява, че реактивното съпротивление X на кръга има стойност $(-\infty)$, а при $\omega = \infty$ то става равно на $(+\infty)$.

Очевидно съществува някаква честота ω_0 , разположена между горните две по честотната ос, при която реактивната компонента на входния импеданс

$$X = \omega L - \frac{1}{\omega C}, \quad (4)$$

става равна на нула

$$X_0 = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0 \quad (5)$$

Уравнение (5) се нарича резонансно условие, а честотата ω_0 , която се определя от него

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (6)$$

носи наименованието резонансна честота.

Резонансът, който настъпва се нарича последователен резонанс, сериен резонанс или резонанс на напрежение. Импедансът $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = R$, а това означава, че токът I във веригата е чисто активен, тъй като се определя само от напрежението и активното съпротивление R (Масларов, Райдовска, 2016).

Индуктивното и капацитивното съпротивление при резонансната честота са равни и се наричат **характеристично съпротивление** ρ :

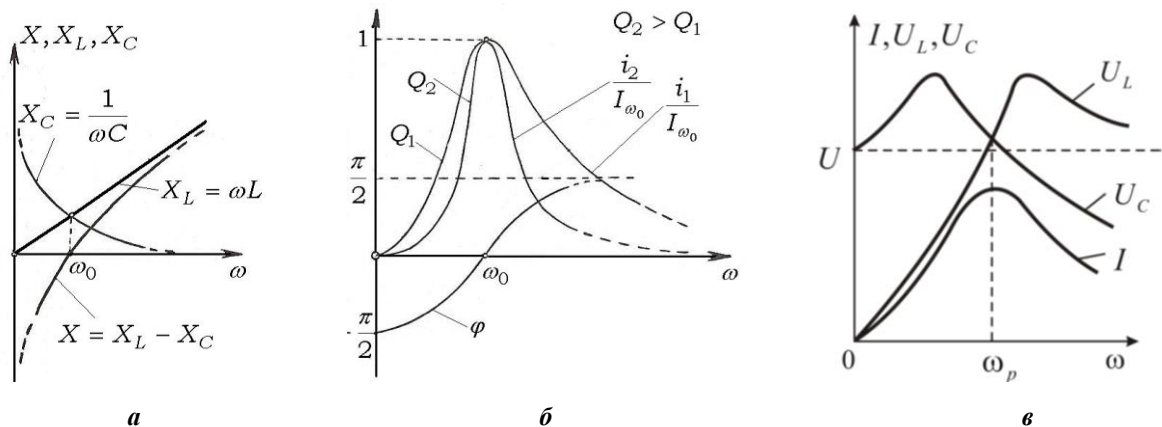
$$\rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (7)$$

Отношението между напрежителния пад върху индуктивността U_L или върху капацитета U_C и напрежението на захранващия генератор U се нарича **качествен фактор на резонансния контур** и се бележи с Q :

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{\omega_0 L I}{R I} = \frac{\rho}{R}. \quad (8)$$

Изменението на индуктивното и капацитивното съпротивление и на разликата между тях във функция от честотата на захранващото напрежение е показано на фиг.2а, а на фиг.2б – изменението на тока I и неговата фаза φ в зависимост от същата честота. Вижда се влиянието на качествения фактор върху кривата на тока във функция от честотата. Това е т.нар. резонансна крива. При по-голям качествен фактор тя се изменя много по-стръмно в зоната около резонансната честота (*Масларов, Райдовска, 2016*).

От фиг.2в се вижда, че максималните напрежения върху реактивните елементи, не се получават точно при резонансната честота. Колкото обаче по-голям е по-стойност Q -факторът, толкова по-близо са разположени тези честоти до резонансната честота. Максимумите на напреженията върху бобината и кондензатора приблизително Q -пъти превишават входното напрежение. От тук идва и наименованието напрежителен резонанс.



Фигура 2. Зависимости при последователно трептящ кръг:
 а – на реактивното, индуктивното и капацитивното съпротивление от честотата;
 б – изменението на тока I и неговата фаза φ от честота;
 в – напреженията върху реактивните елементи от честотата

Изчисляване в програмна среда Matlab

За да се изчислят основните величини, се използва програмна среда Matlab. В работното пространство се въвежда разработената за целта програма за изчисляване параметрите на последователен трептящ кръг:

```
disp('програма за изчисляване параметрите на последователен трептящ кръг')
disp('*****')
clear
```

```

Uin=input('Ефективна стойност на входното напрежение, в V: Uin=')
r=input('Активно съпротивление, в Ohm: r=')
L=input('Индуктивност, в H: L=')
C=input('Капацитет, в F: C=')
f0=1/(2*pi*sqrt(L*C))
ro=sqrt(L/C)
Q=ro/r
Sfa=f0/Q
f1=f0-(Sfa/2)
f2=f0+(Sfa/2)
ULmax=Q*Uin
UCmax=Q*Uin
fLmax=f0/(sqrt(1-(1/Q^2)))
fCmax=f0*(sqrt(1-(1/Q^2)))
disp(['Резонансната честота в Hz е f0=',num2str(f0)])

```

В програмата са заложили основни, известни от електротехниката, формули (Кюркчиева Р., 2001).

Изследване на трептящ кръг

Студентите е необходимо да изследват последователен трептящ кръг при зададени от ръководителя параметри на съставлящите кръга елементи. Изследването включва:

- да се изчислят резонансната честота f_0 , характеристичното съпротивление ρ , качествения фактор Q , абсолютна ширина на пропусканата честотна лента S_a^f , граничните честоти f_1 и f_2 , максималните напрежения върху реактивните елементи U_{Lmax} , U_{Cmax} и честотите f_{Lmax} и f_{Cmax} .
- да се реализира последователният трептящ кръг със зададени параметри на елементите в програмна среда NI Multisim:
- да се свалят опитно характеристиките $U_L = U_L(f)$, $U_C = U_C(f)$, $U_R = U_R(f)$.

За последователен кръг с елементи $L = 4mH$; $C = 705pF$; $r = 113\Omega$ при стартиране на разработената програма в Matlab, полученият резултат е:

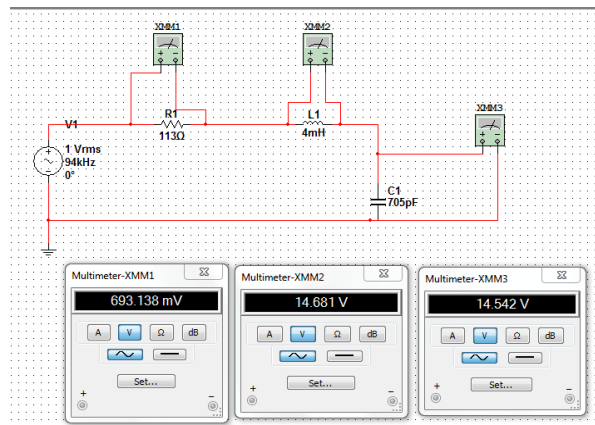
$$\begin{aligned}
 \rho &= 2.3820e+003 \Omega & f_2 &= 9.7023e+004 \text{ Hz} & U_{Lmax} &= 21.0793 \text{ V} \\
 Q &= 21.0793 & U_{Cmax} &= 21.0793 \text{ V} \\
 S_a^f &= 4.4961e+003 & f_{Lmax} &= 9.4882e+004 \text{ Hz} \\
 f_1 &= 9.2527e+004 \text{ Hz} & f_{Cmax} &= 9.4669e+004 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

Резонансната честота в Hz е $f_0 = 94775.3894$.

f,	kHz	80	90	94.67	94.78	94.88	95	100	110
U_{Cout}	V	3.679	11.441	17.867	18.256	18.635	17.431	6.61	3.577
U_{Lout}	V	2.69	10.588	19.082	18.735	18.378	17.974	7.552	2.587
U_{Rout}	V	0.194	0.522	0.895	0.877	0.8596	0.8397	0.335	0.144

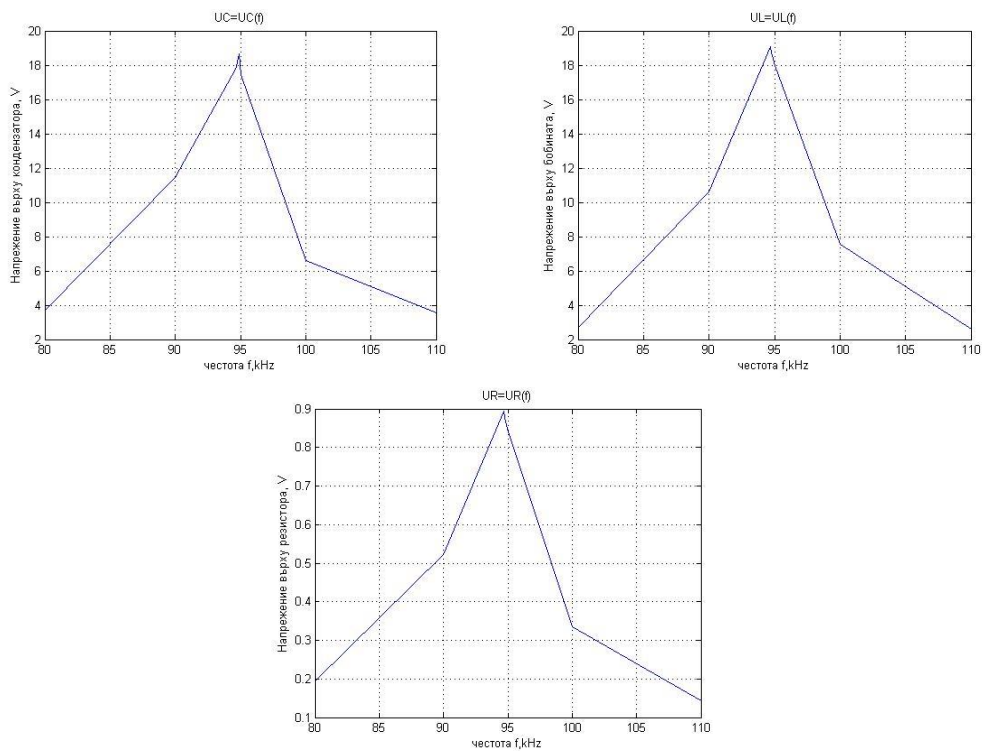
Таблица 1.

В работното поле на програмна среда Multisim се въвежда електрическата верига и се задават стойностите на параметрите ѝ (фигура 3). Резултатите от измерването се нанасят в таблица 1.



Фигура 3. Изследване на трептящия кръг в програмна среда Multisim

На фигура 4 се виждат експериментално получените зависимости на напреженията върху кондензатора, бобината и резистора.



Фигура 4. Експериментално получените зависимости на напреженията върху кондензатора, бобината и резистора

Заклучение

Настоящата разработка се използва при обучение на студенти по електротехника. В упражнението освен теоретичното запознаване с материала и експериментални изследвания като междинно звено се включва и симулационно провеждане на упражнението. Това спомага за по-добра подготовка на студентите, по-уверената им работа с измервателната апаратура. Заинтересоваността на студента към усвояваната материя се повишава. Използването на разработената програма за изчисляване параметрите на последователен трептящ кръг в средата Matlab облекчава изчислителните действия в упражнението.

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge the support of the "Research & Development" division of UNIVERSITY OF PLOVDIV PAISII HILENDARSKI in the project: СП17-ТК-004/ 16.05.2017.

Литература

Кюркчиева, Р., *Комуникационни вериги*, Ръководство за упражнения и курсов проект, ТУ – Варна, 2001.

Масларов, И. и В. Райдовска, *Електротехника и електроника*, учебник, второ допълнено и преработено издание, изд. „Прима-Авангард“, София, София, ISBN: 978-619-160-606-1, 2016.

ПУ „Паисий Хилендарски“, Физико-технологичен факултет,
гр. Смолян, ул. „Дичо Петров“ 28
e-mail: v_raydovska@abv.bg

RESEARCH OF THE OSCILLATORY CIRCUIT VIA COMPUTER PROGRAMMED ENVIRONMENT

Velislava Raydovska, Velichko Manev

Summary. The paper provides an example for easiness of mathematics at solving series oscillatory circuit through the software Matlab. The work of the circuit is simulated via computer programme Environment NI Multisim. The use of the Matlab programme software which is presented in the paper will be used in the educational process in the Electrical Engineering course, included in the curriculum of the specialty “Electricity technology” or "Computer and Communication Systems" for the Bachelor educational degree.

Key words: series oscillatory circuit, NI Multisim, Matlab