

ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕЗОНАНСНИ ЯВЛЕНИЯ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ВЕРИГИ. ЛАБОРАТОРНО УСТРОЙСТВО

Снежана Стоянова, Младен Проиков, Божидар Цветков

Република България, 8000 Бургас, бул. „Проф. Яким Якимов“ №1, Университет „Проф. д-р. Асен Златаров“, Факултет по технически науки, Катедра „Електроника, електротехника и машинознание“, sstoyanova_8000@abv.bg

A RESONANCE PHENOMENON IN THE ELECTRICAL CIRCUIT RESEARCH. LABORATORY DEVICE

Snejana Stoyanova, Mladen Proikov, Bojodar Cvetkov

Republic of Bulgaria, 8010 Burgas, 1 Prof. Yakimov, bul., Prof. Assen Zlatarov University, Technical Science Faculty, Department "Electronics, electrical engineering and mechanics", e-mail: [sstoyanova_8000@abv.bg](mailto:ssstoyanova_8000@abv.bg)

ABSTRACT

The resonance phenomena are particularly important issue in the electrical circuits and occur in the electric power and in the radio-electronic equipment. Also they have importance in the communication equipment (radio transmission and radio reception equipment) and in the electrical measurement equipment for high frequency.

A laboratory device for research of electrical circuit from serially connected active, inductive and capacitive element is made. The electrical circuit is supplied with sinusoidal voltage from generator of sound frequencies in the range from 50 mHz to 10 000 Hz. Tensions on the elements of the circuit are measured with electronic voltmeters. The resonant properties and the frequency characteristics of the circuit are investigated. The characteristic frequencies of resonance - wave resistance, quality factor and damping factor of the resonance are determined. The application of the voltage resonance for realization of belt and enclosing filters is presented.

The made laboratory device is appropriate for practice studies of the students from the electrical engineering specialty in the University "Prof. PhDA Sen Zlatarov" - Burgas.

ВЪВЕДЕНИЕ

Резонансните явления играят съществена роля в електрическите вериги. При последователно свързване на индуктивни и капацитивни и малки активни товари във веригата е възможно възникването на пренапрежения, ако честотата на падовете на напрежения в реактивните елементи е близка до резонансната. Например при включване на ненатоварени дълги линии към генератори или трансформатори, могат да се появят пренапрежения при резонансната честота. Това може да доведе до пробив в изолационните конструкции. При паралелното им свързване и малка активна проводимост протичат много големи токове. Резонансните явления могат да се използват за получаване на чисто активен товар и предаване на максимална мощност в него, както и за подобряване на фактора на мощността в някои електроенергийни уредби.

Резонансните явления са пряко свързани с практическото им използване във филтърните устройства в аудиотехниката, комуникационната техника и радиоприемната техника за усилване по ток или понапрежение при проектирането на резонансни усилвателни стъпала.

При резонанс в електроенергийната система захранващият източник не доставя реактивна мощност на веригата, а моментната мощност на входа не може да стане отрицателна величина - няма енергийни колебания между генератора и консуматора. Такива колебания могат да се осъществят само между индуктивните и капацитивните елементи.

Общата сума от електрическите и магнитните енергии, съсредоточени в тези елементи, е постоянна във времето.

Целта на настоящата разработка е конструиране и изработване на лабораторно действащо устройство за изследване на честотните зависимости с практическото използване на резонансните вериги във филтърните устройства за пропускане или непропускане на сигнали с определена честота.

ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Резонансните явления са стационарни състояния на пасивните електрически вериги, съставени от активни, индуктивни и капацитивни елементи, където входното напрежение и входният ток съвпадат по фаза. Елементите на електрическата верига могат да бъдат свързани последователно, паралелно или смесено. При последователен резонанс индуктивното $X_L = \omega L$ и капацитивното съпротивление $X_C = \frac{1}{\omega C}$ се изравняват, а при паралелен резонанс - индуктивната $B_L = \frac{1}{\omega L}$ и капацитивната проводимост $B_C = \omega C$ са равни.

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}; \quad \omega C = \frac{1}{\omega L};$$

Веригата става чисто активна:

$$Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = R; \quad Y = G + j \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) = G$$

Резонансната честота ω_p е равна на:

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

При резонанс токът в електрическата верига се определя само от активното съпротивление R , респективно от активната проводимост G . Ефективната стойност на резонансния ток е $I = I_{\max}$ при последователен резонанс и $I = I_{\min}$ при паралелен резонанс.

Ефективните стойности на напреженията върху реактивните елементи са:

$$U_L = \omega_p L I = Q U; \quad U_C = \frac{1}{\omega_p C} I = Q U; \quad U_L = U_C = Q U$$

Основните параметри на последователния резонанс са вълновото съпротивление, качествения фактор и коефициента на затихване.

$$\rho = \frac{L}{C}; \quad Q = \frac{\rho}{R}; \quad d = \frac{1}{Q},$$

където ρ - вълново съпротивление, Ω .

Q - качествен фактор определя резонансните свойства на веригата;

d - коефициент на затихване на резонанса.

Ефективните стойности на токовете през реактивните елементи са:

$$I_C = \omega_p C U = Q I; \quad I_L = \frac{1}{\omega_p L} U = Q I; \quad I_L = I_C = Q I$$

Основните параметри на последователния резонанс са вълновата проводимост, качествения фактор и коефициента на затихване.

$$\gamma = \frac{C}{L}; \quad Q = \frac{\gamma}{G}; \quad d = \frac{1}{Q}$$

γ - вълнова проводимост, S ;

Важно практическо значение има формулата на качествения фактор Q , изразен чрез широчината на лентата на пропускане:

$$Q = \frac{\omega_p}{\omega_2 - \omega_1},$$

където ω_p – резонансна честота;

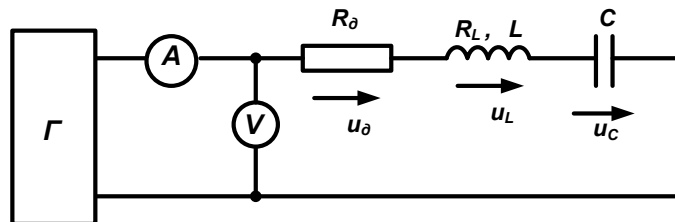
$\omega_2 - \omega_1$ – широчина на честотната лента на пропускане.

Избирателните свойства на честотно-селективните вериги се използват за настройка на входни стъпала и антени на радиоприемни и радиопредавателни устройства. Лентовият филтър представлява честотно-преобразователна верига, която пропуска на изхода си с малко затихване честотите между две гранични стойности. Честотите извън лентата, дефинирана от граничните стойности, се пропускат с голямо затихване. Изходното напрежение е пропорционално на тока във веригата, който има максимум при резонансната честота. Заграждащият филтър представлява честотно избирателна верига, която не пропуска на изхода си честотите между две гранични стойности. Честотите извън лентата, дефинирана от граничните стойности се пропускат с много малко затихване. Обикновено граничните честоти се дефинират на ниво $0,707$ ($-3dB$) по отношение на нивото в лентата на пропускане.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Схема на опитната постановка

Схемата на опитната постановка е дадена на фиг. 1



фиг.1. Схема на опитната постановка

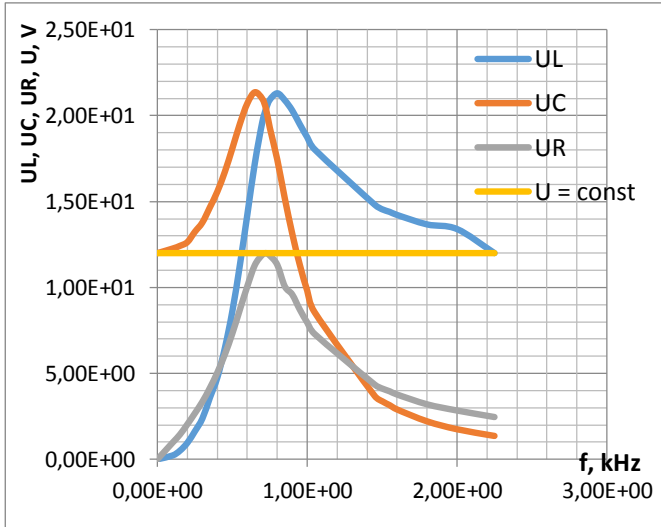
Схемата на опитната постановка е от последователен тип. Използвани са бобина с индуктивност 22 mH , кондензатор с капацитет $2,2 \mu\text{F}$, резистор $R_\delta = 580 \Omega$ и съпротивление на проводника на бобината $R_L = 60 \Omega$. Електрическата верига е захранена със синусоидално напрежение от генератор на звукови честоти с обхват $0,05 \text{ Hz}$ до 10 MHz . Напреженията върху елементите на веригата са измерени с електронни волтметри с високо входно съпротивление и широк честотен обхват. Токът във веригата е определен по напрежителния пад върху резистора: $I = \frac{U}{z}$.

Резултати от експерименталните изследвания

Определената резонансна честота е $f_p = 0,725 \text{ kHz}$, токът във веригата е $I_{max} = 10,4 \text{ mA}$, а падовете на напрежение върху реактивните елементи са $U_L = U_C = 1 \text{ V}$. Индуктивното и капацитивното съпротивления се изравняват, като $X_L = X_C = 100 \Omega$, реактивното съпротивление е $X = 0$ и веригата става чисто активна: пълното комплексно съпротивление е равно на пълното съпротивление и на активното съпротивление: $Z = z = R = 58,7 \Omega$. Получените честотни характеристики са дадени на фиг.2 – зависимости на $I = I(f)$, фиг.3 - $U_L = U_L(f)$, $U_C = U_C(f)$ и $U_R = U_R(f)$, фиг.4 - $\varphi = \varphi(f)$ и фиг. 5 – честотните характеристики $X_L = X_L(f)$, $X_C = X_C(f)$, $X = X(f)$, $z = z(f)$, $R = R(f)$.

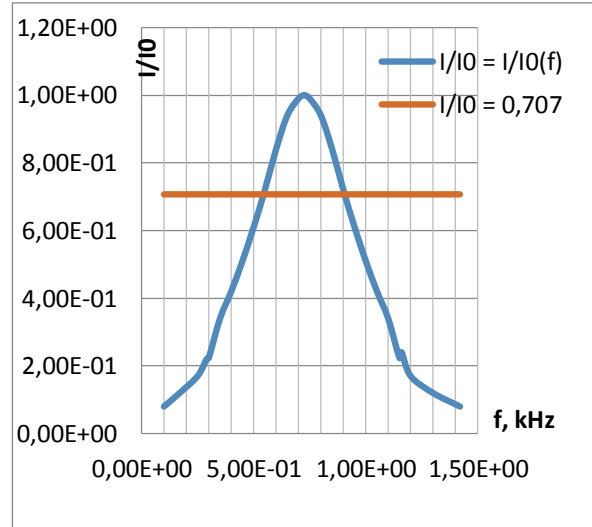
Получените стойности за параметрите на резонанса са: $Q = 2,07$; $d = 0,48$; $\rho = 347,6 \Omega$.

На фиг. 6 е дадена честотната характеристика на лентовия филтър, а на фиг.7 - честотната характеристика на заграждащия филтър.



фиг.2а

фиг.2а. Зависимости на падовете на напрежения в елементите на електрическата верига $U_L = U_L(f), U_C = U_C(f)$ и $U_R = U_R(f)$ при $U = 220 V = const$

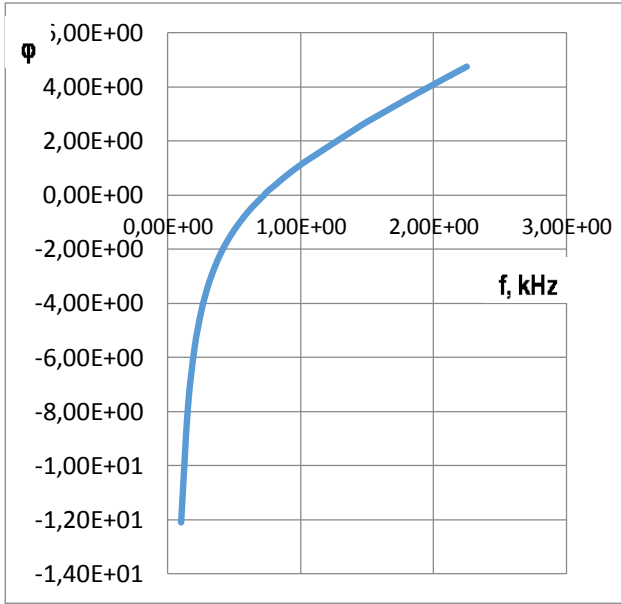


фиг.2б

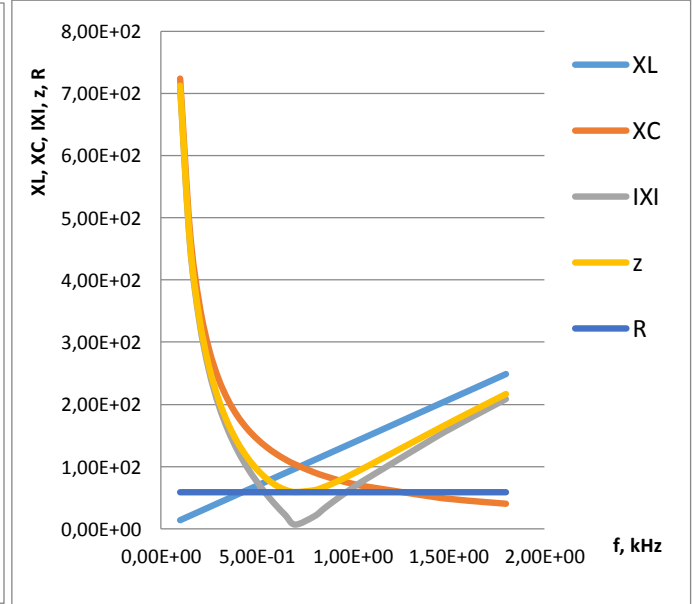
фиг.2б. Зависимост на тока във веригата от честотата $I = I(f)$ при $U = const$.

Определяне на честотната лента на пропускане $\Delta f = f_2 - f_1 = 350 \text{ Hz}, f_1 = 550 \text{ Hz}, f_2 = 900 \text{ Hz}$

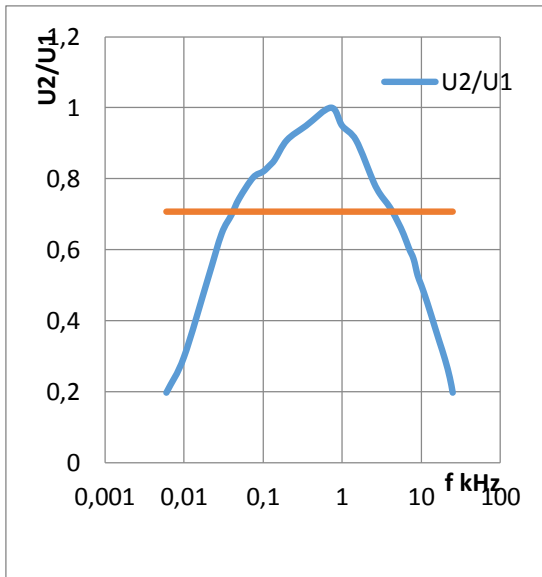
фиг.2. Честотни характеристики



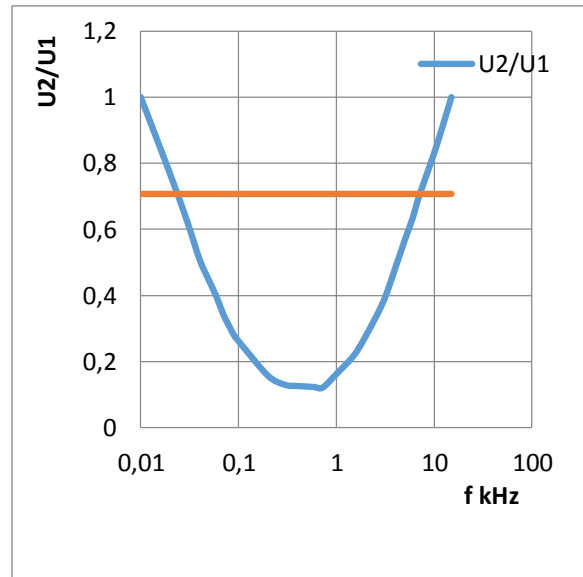
фиг.4. Зависимост на фазовата разлика от честотата $\varphi = \varphi(f)$



фиг.5. Честотни характеристики $X_L = X_L(f), X_C = X_C(f), X = X(f), z = z(f), R = R(f)$



фиг.6. Честотна характеристика на лентов филтър



фиг.7. Честотна характеристика на заграждащ филтър

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проектирано е и е изработено лабораторно устройство за изследване на резонансните явления в електрическите вериги.

2. Изследвани са резонансните явления в последователна електрическа верига. Получени са честотните характеристики на електрическата верига. Определени са основните параметри на резонансното явление-вълновото съпротивление, качествения фактор и коефициента на затихване на резонанса. Определени са граничните честоти и честотната лента.

3. Получени са честотните характеристики на лентов и заграждащ филтър на основата на последователен резонанс.

4. Лабораторното устройство може да се използва за обучение на студентите от специалностите „Електротехника“, „Електроника“ и „Компютърни системи и технологии“, Образователно-квалификационни степени „Магистър“, „Бакалавър“ и „Професионален бакалавър“.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стоянова, С., Ръководство за лабораторни упражнения по теоретична електротехника, Университет „Проф.д-р Асен Златаров“, Бургас, 2014.

2. Стоянова, С., Приложна електротехника, Издателство „Божич“, Бургас, 2012.

3. Брандински, К. и др., Ръководство за лабораторни упражнения по теоретична електротехника, ИК „Кинг“, София, 2004.

4. Фархи, С., С. Папазов, Теоретична електротехника част 1, ДИ „Техника“, София, 1987.

5. Червенкова, Т., С. Божков, Програма за подпомагане на студентите при изследване на резонанс в последователна верига, Proceedings of summer school “Advanced aspects of theoretical electrical engineering”, Sozopol 2005, pp. 181-186.