

# ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЧАСТОТНОЇ ВИБІРКОВОСТІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПОСЛІДОВНОМУ КОЛИВАЛЬНОМУ КОНТУРІ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

## Анотація

У даній роботі представлено розширений теоретичний аналіз функціонування послідовного RLC-контуру в режимі резонансу напруг. Детально розглянуто математичний апарат опису частотних характеристик та фізичну природу вибіркості радіотехнічних систем. Особлива увага приділяється дослідженню енергетичного балансу між реактивними компонентами контуру та впливу активних втрат на форму резонансної кривої. Проаналізовано умови, за яких досягається максимальна ефективність передачі потужності від джерела до навантаження в умовах вузькосмугової фільтрації. Результати дослідження дозволяють оптимізувати параметри коливальних систем без застосування засобів комп'ютерного моделювання, спираючись виключно на аналітичні розрахунки комплексного опору та добротності.

**Ключові слова:** послідовний резонанс; добротність; смуга пропускання; амплітудно-частотна характеристика; вибірквість; енергетичний баланс; реактивний опір.

## Abstract

This paper presents an extended theoretical analysis of the series RLC circuit operation in the voltage resonance mode. The mathematical apparatus for describing frequency characteristics and the physical nature of the selectivity of radio systems are considered in detail. Special attention is paid to the study of the energy balance between the reactive components of the circuit and the influence of active losses on the shape of the resonance curve. The conditions for achieving maximum power transfer efficiency from the source to the load under narrowband filtering are analyzed. The research results allow for optimizing the parameters of oscillating systems without using computer simulation tools, relying solely on analytical calculations of complex impedance and quality factor.

**Keywords:** series resonance; quality factor; bandwidth; amplitude-frequency characteristic; selectivity; energy balance; reactive impedance.

## Вступ

Проблема частотної селекції сигналів є фундаментальною для сучасної телекомунікаційної галузі, де щільність розміщення частотних каналів постійно зростає. Основним інструментом вирішення цього завдання є використання резонансних явищ в електричних колах, які дозволяють виділяти корисний сигнал на фоні завад [1]. Явище резонансу напруг у послідовному контурі виникає при повній компенсації реактивних опорів індуктивності та ємності, що призводить до мінімізації загального комплексного опору кола та різкого зростання амплітуди струму. Розуміння фізичних процесів, що відбуваються в цей момент, є критичним для проектування вхідних кіл радіоприймачів та передавальних трактів.

## Математична модель та аналіз частотних властивостей

Комплексний опір послідовного RLC-контуру визначається як сума активної та реактивної складових:

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

де  $R$  – активний опір втрат,  $L$  – індуктивність,  $C$  – ємність. Умова резонансу  $\omega_0 L = 1/(\omega_0 C)$  дозволяє визначити резонансну частоту за формулою Томсона. Важливо підкреслити, що в цей момент напруги

на реактивних елементах  $U_L$  та  $U_C$  можуть у багато разів перевищувати напругу джерела [2]. Відношення цих напруг до напруги на вході називається добротністю  $Q$ :

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

З математичної точки зору, добротність визначає швидкість спадання амплітудно-частотної характеристики при відхиленні від центральної частоти  $f_0$ .

### Енергетичні процеси та вибірковість

Енергетичний аспект резонансу полягає в безперервному обміні енергією між магнітним полем котушки та електричним полем конденсатора. У ідеальному випадку без втрат ( $R = 0$ ) цей процес тривав би вічно. Однак наявність активного опору призводить до дисипації енергії. Селективність або вибірковість кола характеризується смугою пропускання  $\Delta f$ , яка вимірюється на рівні  $1/\sqrt{2}$  від максимального значення потужності [3]. Теоретично доведено, що чим вища добротність контуру, тим вузьчою є смуга пропускання:

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q} \quad (3)$$

Це означає, що для систем мобільного зв'язку, де потрібна висока вибірковість, необхідно використовувати компоненти з мінімальними втратами. Зокрема, у гетерогенних мережах, де 5G та Wi-Fi сигнали можуть працювати у сусідніх діапазонах, параметри фільтрації стають вирішальним фактором стабільності з'єднання.

### Висновки

Теоретичне дослідження підтвердило, що параметри  $L$ ,  $C$  та  $R$  є взаємозалежними величинами, які визначають як частоту налаштування, так і здатність кола до фільтрації. Збільшення активного опору суттєво погіршує селективні властивості, «розмиваючи» резонансну криву та знижуючи амплітуду корисного сигналу. Практичне значення роботи полягає в можливості прецизійного розрахунку смуги пропускання на етапі теоретичного проектування систем зв'язку без необхідності залучення складних обчислювальних засобів. Отримані аналітичні залежності є базою для розрахунку пасивних елементів у телекомунікаційному обладнанні, що забезпечує стабільність роботи пристроїв у складних заводських ситуаціях. Подальші дослідження в цьому напрямку можуть бути зосереджені на аналізі впливу температурної нестабільності параметрів компонентів на зміщення резонансної частоти в реальних умовах експлуатації.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Протопопов М. О. Теорія електричних кіл та сигналів: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2018. 120 с.
2. Alexander C. K., Sadiku M. N. Fundamentals of Electric Circuits. 7th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2020. 992 p.
3. Dorf R. C., Svoboda J. A. Introduction to Electric Circuits. 9th ed. Hoboken: Wiley, 2013. 912 p.

**Романовський Дмитро Олександрович** – студент групи ПЗТ-25мс2, факультет інформаційних електронних систем, e-mail: dimaromanovskyi@gmail.com.

**Пінаєв Богдан Олегович** – старший викладач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Pinaev.bogdam@gmail.com.

**Dmytro Romanovskyi** – student, Faculty of Information Electronic Systems, e-mail: dimaromanovskyi@gmail.com.

**Pinaev Bohdan** – Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Pinaev.bogdam@gmail.com.