

# РЕЗОНАНС В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С ЭЛЕМЕНТАМИ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА

Петровский И. И., Свито И. Л.

Кафедра теоретических основ электротехники,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: Petrovski47@mail.ru, svito@bsuir.by

В работе рассматривается возможность применения элементов высшего порядка, предложенных как новые элементы в теории электрических цепей, для исследования резонансных явлений и использования их при построении частотно-зависимых и резонансных контуров в электротехнических устройствах.

## ВВЕДЕНИЕ

Элементы высшего порядка, предлагаемые для применения в электрических цепях как новые к существующим R,L,C обозначаются



где n - порядок элемента [1-4].

### I. АНАЛИЗ СХЕМЫ С ЭЛЕМЕНТОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Принципиальная схема элемента второго порядка представлена на рис. 1.

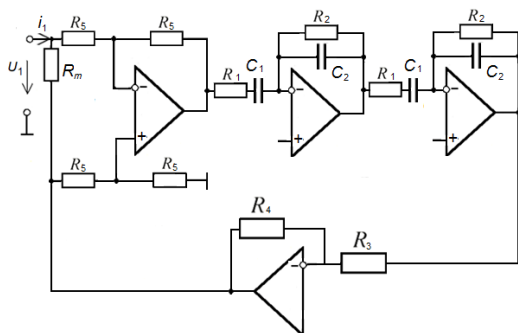


Рис. 1 – Схема элемента второго порядка

Исследуем схему, представленную на рис.2, состоящую из активного сопротивления и элемента второго порядка.

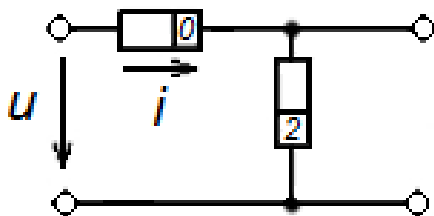


Рис. 2 – Обобщённая схема резонансного контура с элементом второго порядка

Примем, что входной сигнал синусоидален, тогда дифференциальное уравнение будет иметь вид

$$K_2 \frac{d^2 i}{dt^2} + Ri = U_m \sin \omega t.$$

Решение уравнения представляется в виде установившейся и свободной составляющих

$$i = i_y + i_c.$$

Свободная составляющая определяется из уравнения

$$K_2 \frac{d^2 i}{dt^2} + Ri = 0.$$

Корни характеристического уравнения  $K_2 p^2 + R = 0$  будут  $p_{1,2} = \pm j \sqrt{\frac{R}{K_2}}$ , что представляет собой уравнение

$$i(t) = A \cos \sqrt{\frac{R}{K_2}} t + B \sin \sqrt{\frac{R}{K_2}} t.$$

Для определения установившегося режима примем, что

$$i_y = I_{my} \sin \omega t,$$

тогда

$$\frac{d^2 i_y}{dt^2} = -\omega^2 I_{my} \sin \omega t.$$

После подстановки данного выражения в исходное уравнение оно примет вид

$$(-K_2 \omega^2 I_{my} + R I_{my}) \sin \omega t = U_m \sin \omega t.$$

Следовательно

$$I_{my} = \frac{U_m}{R - K_2 \omega^2}$$

Тогда общее решение исходного уравнения примет вид

$$i(t) = I_m \sin \omega_0 t + \frac{U_m}{K_2 (\omega_0^2 - \omega^2)} \sin \omega t,$$

где  $\omega_0 = \sqrt{\frac{R}{K_2}}$

Второе слагаемое этого решения представляет собой частотно-зависимую часть. Её амплитуда указывает на резонансные явления в цепи, что изображено на рис. 3.

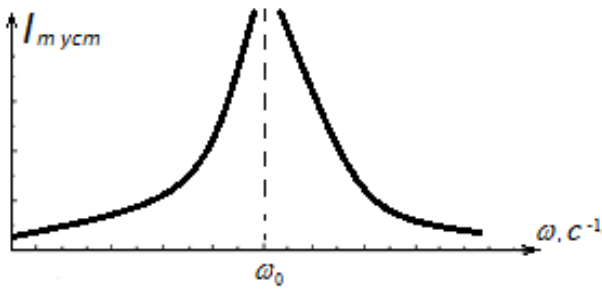


Рис. 3 – Амплитудно-частотная характеристика тока

При этом фазовая характеристика представлена на рис. 4.

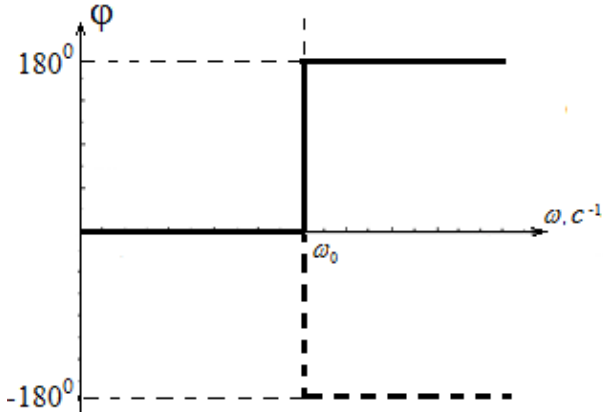


Рис. 4 – Фазочастотная характеристика

Такую же зависимость от частоты показывает также общее сопротивление цепи (рис. 2), если сопротивление элемента второго порядка  $Z_2 = -w^2 K_2$ , то сопротивление цепи

$$Z = R - w^2 K_2 = K_2 (w_0^2 - w^2).$$

Если ток  $I_m = \frac{U_m}{Z}$ , то  $I_m = \frac{U_m}{K_2(w_0^2 - w^2)}$ , следовательно  $U_m = -I_m w^2 K_2$ .

После подстановки  $I_m$  в это выражение напряжение примет вид

$$u(t) = -\frac{w^2}{(w_0^2 - w^2)} U_m \sin \omega t,$$

Что графически изображено на рис. 5.

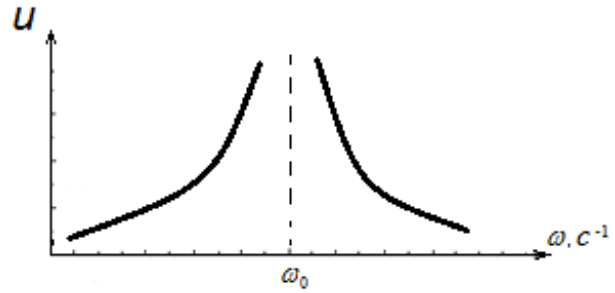


Рис. 5 – Амплитудно-частотная характеристика напряжения

## II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, из приведённого можно сделать вывод, что с помощью элемента высшего порядка можно получить и исследовать явления резонанса токов и напряжений. Полученные результаты могут быть использованы при расчётах частотно-зависимых контуров в электротехнических устройствах, а также в фильтрующих системах.

## III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Panzer, K. Ein Beitrag zum Entwurf von aktiven Bandfiltern mit der minimalen Anzahl von Kondensatoren. Dissertation, TU Munchen, 1975.
2. И.И. Петровский, И.Л. Свито. Применение элементов высшего порядка в фильтрах нижних и высших частот. Материалы международной научной конференции «ИТС-2020», 2020 г., БГУИР Минск, Беларусь.
3. Philippow, E., Bruckner, P., Schaltungsanordnung zum Erzeugung sowie zum Transformation linearer und nichtlinearer frequenzabhandiger Zweitpole hoherer Ordnung. Patentanmeldung, TH Ilmenau, 1976.
4. И.И. Петровский, И.Л. Свито, Л.Ю. Шилин. Элементы высшего порядка в полосовых фильтрах. Материалы международной научной конференции «ИТС-2021», 2021 г., БГУИР Минск, Беларусь.