

РАСЧЕТ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Д. А. Мельников, С. И. Ходанович

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель Л. Г. Бычкова

Цепи с зависимыми источниками могут обладать разнообразными АЧХ, подобными характеристикам узкополосных полосовых фильтров, а также фильтров высоких и низких частот. Перспективными базовыми узлами для построения фильтров являются операционные усилители. Фильтры, использующие RC -цепи и усилительные микросхемы, получили название *активных*.

Цель работы: расчет и исследование передаточной характеристики избирательной цепи с управляемым источником; сравнение с передаточными характеристиками одиночного последовательного колебательного контура, собранного на пассивных элементах.

Пассивный последовательный резонансный контур обладает двумя замечательными свойствами: селективными (полосовой фильтр) и усиления напряжения на реактивных элементах по отношению к входному. Оба свойства проявляются при добротности контура $Q > 1$, т. е. $\rho > R$, где $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ – волновое сопротивление контура.

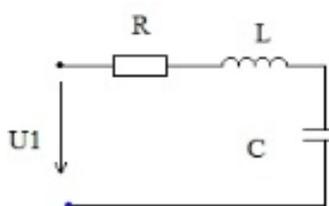


Рис. 1. Схема контура

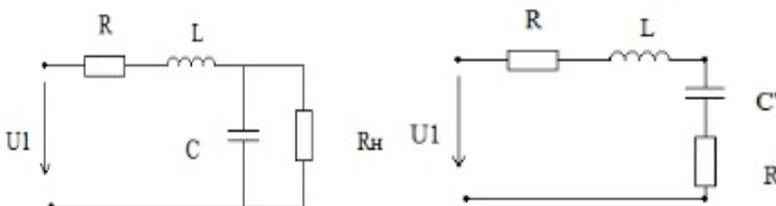


Рис. 2. Подключение нагрузки к контуру

Как известно, о свойствах цепей можно судить по расположению корней знаменателя передаточной функции на комплексной плоскости. В частности, если знаменатель имеет структуру $-\omega^2 + j\omega B + D$, то $B = \frac{\omega_0}{Q}$, а $D = \omega_0^2$, где ω_0 – резонансная частота; Q – добротность контура. Проверим это на примере последовательного контура (рис. 1).

$$K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I \left(-j \frac{1}{\omega C} \right)}{I \left(R + j\omega L - j \frac{1}{\omega C} \right)} = \frac{\frac{1}{LC}}{-\omega^2 + j\omega \frac{R}{L} + \frac{1}{LC}}, \text{ где } \frac{1}{LC} = \omega_0^2. \quad (1)$$

Знаменатель этого выражения такой же, как и в предыдущем случае. Следовательно, передаточные характеристики ведут себя одинаково.

При подключении нагрузки добротность контура снижается за счет внесения дополнительного активного сопротивления (рис. 2), свойства контура при этом ухудшаются. Большим недостатком такого контура является его малое входное сопротивление, так что для сохранения свойств нагрузка должна быть достаточно большой: обычно выбирают $R_n \geq 100 \rho$. При нагрузочных сопротивлениях меньшего значения добротность пассивной цепи заметно падает.

В электронике широкое применение находят устройства частотной селекции на основе операционных усилителей. Идеальный ОУ представляет собой источник напряжения, управляемый напряжением, с бесконечно большим коэффициентом усиления, бесконечно большим входным сопротивлением и нулевым выходным сопротивлением. Входное сопротивление активных цепей на несколько порядков выше, чем в RLC -цепи. Второе важное достоинство активного контура – отсутствие индуктивных сопротивлений. В данной работе выполнен расчет и экспериментальное исследование передаточной характеристики активного контура второго порядка, содержащего два конденсатора (рис. 3). Расчет выполнен по линейной схеме замещения (рис. 4) методом узловых потенциалов.

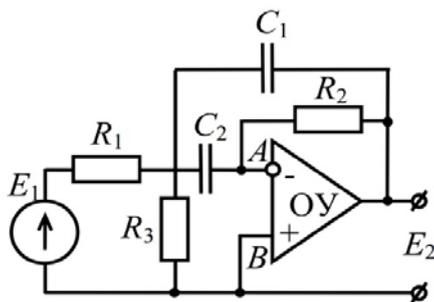


Рис. 3. Активный контур

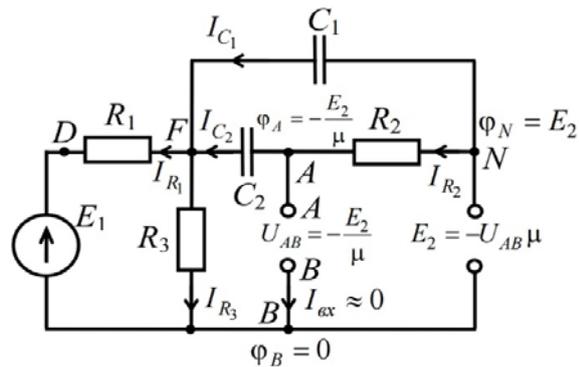


Рис. 4. Линейная схема замещения

Уравнения по методу узловых потенциалов для узлов F и A :

$$\begin{cases} \varphi_F \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + j\omega C_1 + j\omega C_2 \right) - j\omega C_2 \varphi_A = \frac{E_1}{R_1} + j\omega C_1 E_2; \\ -j\omega C_2 \varphi_F + \varphi_A \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right) = \frac{E_2}{R_2}. \end{cases} \quad (2)$$

Так как $U_{AB} = -\frac{E_2}{\mu}$ и принимая $\mu \rightarrow \infty$, $C_1 = C_2 = C$, после преобразований получим передаточную характеристику в следующем виде:

$$\underline{K} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{j\omega}{R_1 C}}{-\omega^2 + j\omega \left(\frac{2}{R_2 C} \right) + \left(\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3 C^2} \right)}. \quad (3)$$

Сравнивая знаменатель полученного выражения со знаменателем формулы (1) пассивного контура, можно сделать вывод, что передаточные характеристики подобны. Следовательно, резонансную частоту цепи и добротность контура с активными элементами можно рассчитать по следующим формулам :

$$\omega_0 = \frac{1}{C \sqrt{\frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3}}}; \quad Q = \frac{\omega_0 C R_2}{2}. \quad (4)$$

В работе выполнены экспериментальные исследования коэффициентов передачи пассивного и активного контуров при различных значениях нагрузки. Экспериментальные графики приведены на рис. 5.

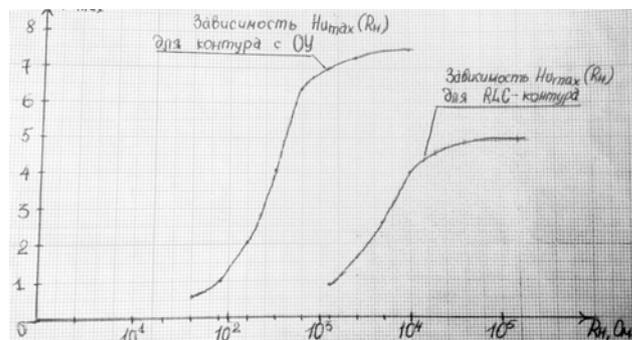


Рис. 5. Зависимость коэффициента передачи от величины нагрузки

Из графика видно, что в электронном контуре коэффициент передачи по напряжению сохраняет значение, близкое значению в режиме холостого хода при довольно низких нагрузках. Например, при нагрузке 10^4 Ом в пассивном контуре коэффициент падает на 20 %, (от значения 5 до 4), а в электронном контуре имеет значение такое же, что и в режиме холостого хода – 7.5. При нагрузке 10^3 Ом коэффициент передач в пассивном контуре меньше единицы, в электронном – 7.

Таким образом, одним из важных достоинств исследуемого контура является высокое входное и малое выходное сопротивления, что выгодно отличает данный активный четырехполюсник от аналогичного пассивного. У пассивного последовательного колебательного контура входное сопротивление на резонансной частоте составляет десятки Ом, а минимальное сопротивление нагрузки, при котором добротность падает незначительно, – десятки–сотни кОм. У активного контура входное сопротивление практически равно R_1 , т. е. на несколько порядков больше, чем у последовательного RLC -контура. Сопротивление нагрузки может быть значительно меньше, чем сопротивление пассивного контура. Отсутствие индуктивных катушек позволяет изготавливать избирательные цепи с использованием микроэлектронных элементов, что делает их компактными, значительно расширяет области применения подобных устройств.

Литература

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учеб. для вузов / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1984.
2. Добротворский, И. Н. Теория электрических цепей: Лабораторный практикум : учеб. пособие для техникумов / И. Н. Добротворский. – М. : Радио и связь, 1990.