

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ И ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЦЕПЕЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Ю. Н. Ляховец, В. А. Черехун

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Л. Г. Бычкова

Как известно, последовательный резонансный контур, представленный на рис. 1, *а*, обладает свойством усиления напряжения и избирательными свойствами. Если снимать выходное напряжение с емкости, то передаточная функция определяется соотношением

$$\underline{H}_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{- \omega^2 + j\omega\left(\frac{R}{L}\right) + \frac{1}{LC}}. \quad (1)$$

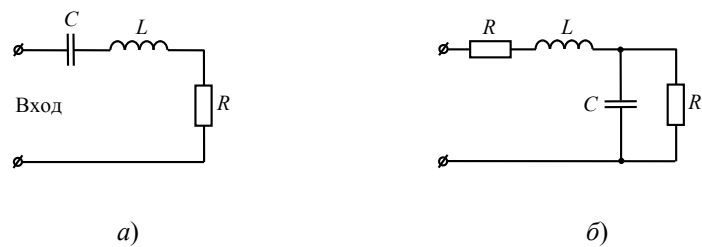


Рис. 1. Пассивный контур: *а* – без нагрузки; *б* – с нагрузкой

Коэффициент $\omega \frac{R}{L} = \omega \frac{\omega_0}{Q}$, где $Q = \frac{\omega_0 L}{R}$ – добротность контура, $\frac{1}{LC} = \omega_0^2$, где ω_0 – резонансная частота.

Таким образом,

$$\underline{H}_u = \frac{\omega_0^2}{- \omega^2 + j\omega \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}. \quad (2)$$

При $\omega = \omega_0$, $H_u = Q$.

Чем выше добротность контура, тем больше коэффициент передачи и уже полоса пропускания контура. Большим недостатком этой схемы является малое входное сопротивление на резонансной частоте, поскольку увеличение сопротивления R приводит к уменьшению добротности Q и ухудшению свойств контура. При подключении нагрузки (рис. 1, *б*) активное сопротивление и резонансная частота контура изменяются:

$$R_{\text{вх}} = R + \frac{R_{\text{н}}}{(R_{\text{н}} \omega C)^2 + 1}; \quad \omega'_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{(R_{\text{н}} C)^2}} \quad (3)$$

Можно показать, что отношение частоты ω_0 и добротности Q в контуре без нагрузки определяются по формулам:

$$\frac{\omega'_0}{\omega_0} = \sqrt{1 - \gamma^2}; \quad \frac{Q'}{Q} = \sqrt{\frac{1 - \frac{1}{\gamma^2}}{1 + \frac{Q}{\gamma}}},$$

где $\gamma = \frac{R_n}{\rho}$; $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$. (4)

Анализ формул (4) показывает, что свойства контура сохраняются, если $\gamma \geq 100$, т. е. при достаточно больших нагрузках $R_n \geq 100$. Это является недостатком пассивного колебательного контура.

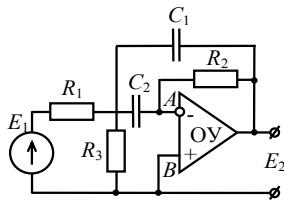


Рис. 2. Активный контур

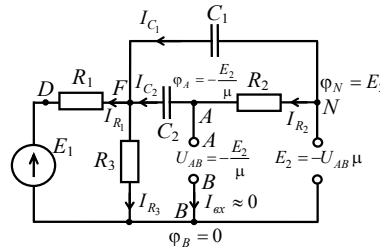


Рис. 3. Схема замещения активного контура

Этого недостатка лишены активные цепи с зависимыми источниками. На рис. 2 показана схема активного контура и его расчетная схема замещения. Как известно, о свойствах цепей можно судить по расположению корней знаменателя передаточной функции. Расчет цепи выполнен методом узловых потенциалов. Операционный усилитель (ОУ) принят идеальным (коэффициентный усилитель $\mu \rightarrow \infty$, входное сопротивление ОУ $Z_{вх} = \infty$):

$$\begin{cases} \varphi_F \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + j\omega C_1 + j\omega C_2 \right) - j\omega C_2 \varphi_A = \frac{E_1}{R_1} + j\omega C_1 E_2; \\ -j\omega C_2 \varphi_F + \varphi_A \left(\frac{1}{R_2} + j\omega C_2 \right) = \frac{E_2}{R_2}. \end{cases} \quad (5)$$

Решая систему (5), с учетом $\frac{E_2}{\mu} /_{\mu \rightarrow \infty} = 0$, $U_{AB} = 0$, получим передаточную функцию:

$$\underline{H}_u = \frac{E_2}{E_1} = \frac{\frac{j\omega}{R_1 C}}{-\omega^2 + j\omega \left(\frac{2}{R_2 C} \right) + \left(\frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 R_3 C^2} \right)}. \quad (6)$$

Цепь, описанная выражением (6), имеет такие же передаточные характеристики, как и пассивная RLC цепь [см. формулу (1)]. Следовательно, передаточные характеристики пассивного и активного контура одинаковы. Резонансная частота и добротность цепи с активными элементами:

$$w_0 = \frac{1}{C \sqrt{\frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3}}}; \quad Q = \frac{w_0 CR}{2}. \quad (7)$$

Нами были экспериментально исследованы передаточные характеристики пассивного и активного контуров. На рис. 4 и 5 приведены графики передаточных характеристик для различных значений добротности и нагрузочного сопротивления в функции от относительной частоты $\eta = \frac{w}{w_0}$.

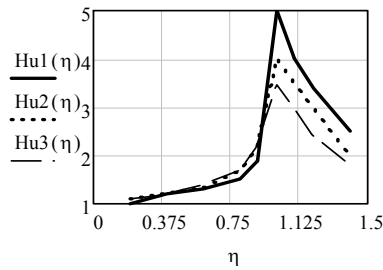


Рис. 4. Зависимость функции $HU(\eta)$ пассивного контура: кривая $HU1(\eta)$ – без нагрузки; кривая $HU2(\eta)$ – с $RH = 3$ кОм; кривая $HU3(\eta)$ – с $RH = 10$ кОм

Как видно из графика, при уменьшении нагрузки максимальное значение коэффициента передачи по напряжению HU падает.

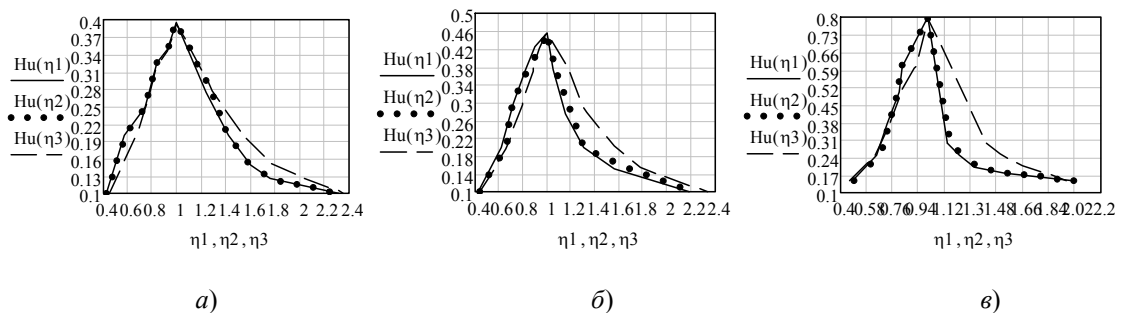


Рис. 5. Зависимости функции $HU(\eta)$ активного контура: кривая $HU1(\eta)$ – без нагрузки; кривая $HU2(\eta)$ – с $RH = 100$ Ом; кривая $HU3(\eta)$ – с $RH = 1000$ Ом: а – значение добротности Q минимально; б – среднее значение добротности Q ; в – максимальное значение добротности Q

Как видно из графиков, коэффициент передачи по напряжению HU не зависит от величины подключенной нагрузки.

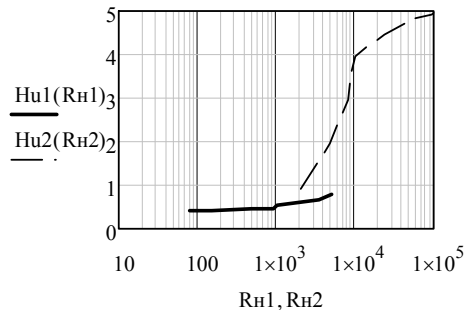


Рис. 6. Зависимости максимального значения коэффициента передачи по напряжению от сопротивления нагрузки в активном и пассивном контурах:
 кривая $Hu1(Rn1)$ – зависимость для активного контура;
 кривая $Hu2(Rn2)$ – зависимость для пассивного контура

На данном графике наглядно видно, что коэффициент передачи по напряжению в пассивном контуре $Hu2(Rn2)$ сильно зависит от величины подключенной нагрузки, в активном же контуре $Hu1(Rn1)$ коэффициент не изменяется.

Таким образом, в работе показано, что активный контур имеет характеристики подобные пассивному резонансному контуру. И при этом свойства активного контура оказываются лучше, чем у пассивного: коэффициент передачи и добротность не зависят от нагрузки. Результаты исследования внедрены в учебный процесс в качестве учебно-исследовательской работы.