

## ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ RC-СТРУКТУР С НЕОДНОРОДНЫМИ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Бондарчук Г. А., Дмитриев В. Д.

Известны исследования как одиночных, так и составных RC-структур с распределенными параметрами. Данная работа посвящена исследованию амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик двух RC-структур с неоднородными распределенными параметрами (рис. 1а.), причем одна из них включена прямо (ширина структуры сужается от начала к концу), а другая инверсно. Конструктивно такой фильтр представляет собой одно целое и выполняется в едином технологическом цикле (рис. 1б.).

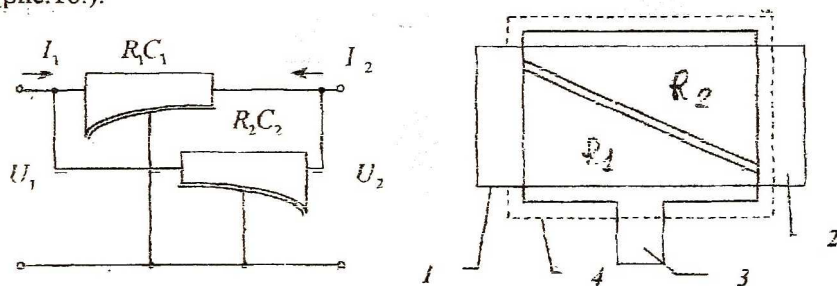


Рисунок 1. Параллельно включенные RC-структуры:  
а – эквивалентная схема; б – конструкция фильтра: 1,2 – выводы от резисторов,  
3 – вывод от проводящего слоя, 4 – диэлектрический слой.

Запишем  $\|Z\|$  матрицу для каждой из RC-структур:

для  $R_1C_1$  структуры

$$\|Z^{(1)}\| = \begin{vmatrix} Z_{11}^{(1)} & Z_{12}^{(1)} \\ Z_{21}^{(1)} & Z_{22}^{(1)} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

для  $R_2C_2$  структуры

$$\|Z^{(2)}\| = \begin{vmatrix} Z_{11}^{(2)} & Z_{12}^{(2)} \\ Z_{21}^{(2)} & Z_{22}^{(2)} \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Пользуясь теорией соединения четырехполюсников и опуская несложные промежуточные преобразования, для схемы (рис. 1а) представим общую матрицу  $\|Z^{(1,2)}\|$  в следующем виде:

$$\|Z^{(1,2)}\| = \begin{vmatrix} \frac{Z_{11}^{(1)}}{Z^{(1)}} + \frac{Z_{11}^{(2)}}{Z^{(2)}} & \frac{Z_{12}^{(1)}}{Z^{(1)}} + \frac{Z_{12}^{(2)}}{Z^{(2)}} \\ \frac{Z_{21}^{(1)}}{Z^{(1)}} + \frac{Z_{21}^{(2)}}{Z^{(2)}} & \frac{Z_{22}^{(1)}}{Z^{(1)}} + \frac{Z_{22}^{(2)}}{Z^{(2)}} \end{vmatrix} \cdot \frac{|Y^{(1,2)}|}{|Y^{(1,2)}|}, \quad (3)$$

где

$$|Y^{(1,2)}| = \frac{(Z_{22}^{(1)}|Z^{(2)}| + Z_{22}^{(2)}|Z^{(1)}|) \cdot (Z_{11}^{(1)}|Z^{(2)}| + Z_{11}^{(2)}|Z^{(1)}|)}{(|Z^{(1)}| \cdot |Z^{(2)}|)^2} - \frac{(Z_{12}^{(1)}|Z^{(2)}| + Z_{12}^{(2)}|Z^{(1)}|) \cdot (Z_{21}^{(1)}|Z^{(2)}| + Z_{21}^{(2)}|Z^{(1)}|)}{(|Z^{(1)}| \cdot |Z^{(2)}|)^2}.$$

Отсюда определяем коэффициент передачи по напряжению при отсутствии нагрузки

$$K(\omega) = \frac{Z_{21}^{(1)}|Z^{(2)}| + Z_{21}^{(2)}|Z^{(1)}|}{Z_{11}^{(1)}|Z^{(2)}| + Z_{11}^{(2)}|Z^{(1)}|}. \quad (4)$$

Для количественного анализа необходимо выбрать конкретную RC-структуру с неоднородными распределенными параметрами. В данном случае рассматриваем известный вариант, когда ширина RC-структуры изменяется по экспоненциальному закону. При этом параметры Z-матрицы представляются

для  $R_1C_1$ -структуры в виде

$$Z_{11}^{(1)} = \frac{\beta_1 \ell}{2} + \frac{\theta_1}{ih\theta_1}; \quad Z_{12}^{(1)} = Z_{21}^{(1)} = \frac{\theta_1 e^{\frac{\beta_1 \ell}{2}}}{sh\theta_1}; \quad Z_{22}^{(1)} = e^{\beta_1 \ell} \left[ \frac{\theta_1}{ih\theta_1} - \frac{\beta_1 \ell}{2} \right], \quad (5)$$

а для  $R_2C_2$ -структуры

$$Z_{11}^{(2)} = e^{\beta_2 \ell} \left[ \frac{\theta_2}{ih\theta_2} - \frac{\beta_2 \ell}{2} \right]; \quad Z_{12}^{(2)} = \frac{\theta_2 e^{\frac{\beta_2 \ell}{2}}}{sh\theta_2}; \quad Z_{21}^{(2)} = \frac{\theta_2 e^{\beta_2 \ell}}{sh\theta_2}; \quad Z_{22}^{(2)} = \frac{\theta_2}{ih\theta_2} + \frac{\beta_2 \ell}{2}, \quad (6)$$

где

$$\theta_1 = \sqrt{\left(\frac{\beta_1 \ell}{2}\right)^2 + j\omega R_1 C_1}, \quad \theta_2 = \sqrt{\left(\frac{\beta_2 \ell}{2}\right)^2 + j\omega R_2 C_2},$$

$$\beta \ell = \ln \frac{r(\ell)}{r(0)} \quad \text{коэффициент неоднородности.}$$

Подстановка выражений (5) и (6) в уравнение комплексного коэффициента передачи (4) приводит к виду

$$K(\omega) = \frac{\theta_1 e^{\left(\frac{\beta_2 \ell + \beta \ell}{2}\right)} \frac{1}{\text{sh} \theta_1} \left[ \theta_2^2 - \left(\frac{\beta_2 \ell}{2}\right)^2 \right] + \theta_2 e^{\left(\frac{\beta_1 \ell + \beta \ell}{2}\right)} \left[ \theta_1^2 - \left(\frac{\beta_1 \ell}{2}\right)^2 \right] \frac{1}{\text{sh} \theta_2}}{e^{\beta_2 \ell} \left( \frac{\theta_1}{\text{th} \theta_1} + \frac{\beta_1 \ell}{2} \right) \left[ \theta_2^2 - \left(\frac{\beta_2 \ell}{2}\right)^2 \right] + e^{j(\beta_2 \ell - \beta \ell)} \left( \frac{\theta_2}{\text{th} \theta_2} - \frac{\beta_2 \ell}{2} \right) \left[ \theta_1^2 - \left(\frac{\beta_1 \ell}{2}\right)^2 \right]} \quad (7)$$

При равных параметрах, т.е.  $\theta_1 = \theta_2$  и  $\beta_1 \ell = \beta_2 \ell$ , выражение (7) упрощается и принимает вид:

$$K(\omega) = \frac{\theta}{\theta \cdot \text{ch} \theta \cdot \text{ch} \frac{\beta \ell}{2} - \frac{\beta \ell}{2} \cdot \text{sh} \theta \cdot \text{sh} \frac{\beta \ell}{2}}$$

На основе формулы (7) построены амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики фильтра (рис. 2 и 3).

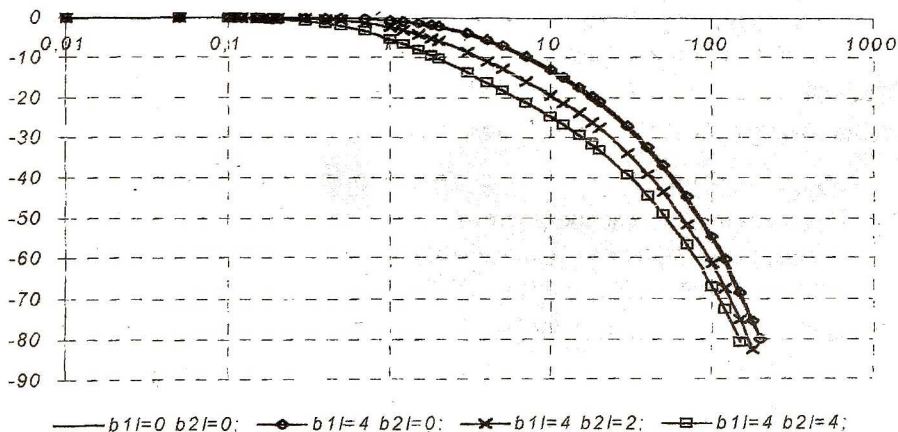


Рисунок 2. Зависимость коэффициента передачи от параметра  $\omega RC$  при различных коэффициентах неоднородности  $\beta l$ .

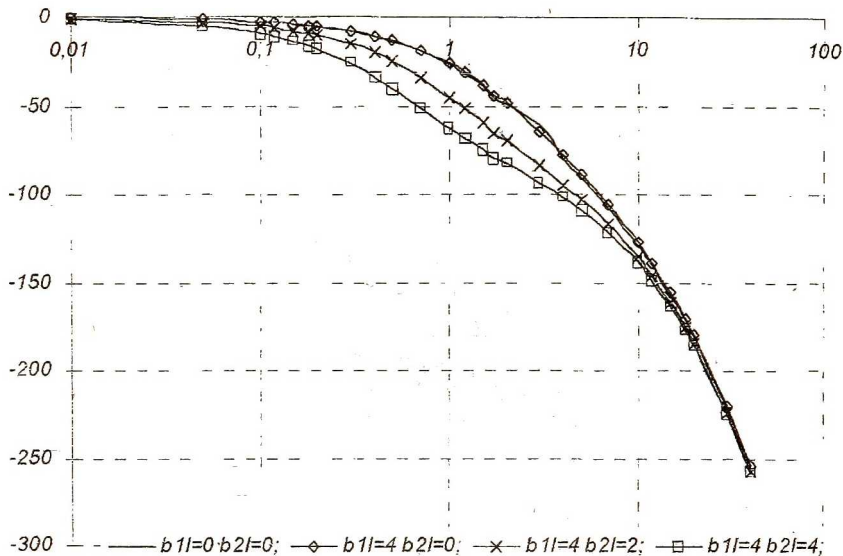


Рисунок 3. Зависимость фазового угла поворота от  $\omega RC$  при различных коэффициентах неоднородности  $b_l$ .

Указанные характеристики приведены для различных соотношений коэффициентов неоднородностей RC-структур. Из графиков видно, что более высокая крутизна спада амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик соответствует соотношениям  $\beta_1 l = 0$  и  $\beta_2 l = 0$ ,  $\beta_1 l = \beta_2 l = 4$ . Вариант  $\beta_1 l = \beta_2 l = 0$  соответствует  $R_1 C_1$  и  $R_2 C_2$  - структурам с однородными распределенными параметрами.

На рис.4 приведены графики изменения модуля коэффициента передачи на декаду относительно  $-3$ дБ. Наибольшее ослабление наблюдается при значении  $K|\beta_1 l| < 1,5$  для параметров  $\beta_2 l = 0$ ,  $\beta_2 l = 1$  и  $\beta_2 l = 4$ .

На основании полученных результатов можно сформулировать следующее определение. Параллельное соединение двух RC-структур с неоднородными распределенными параметрами не приводит к повышению избирательных свойств относительно одиночной  $R_1 C_1$ -структуры с неоднородными распределенными параметрами.

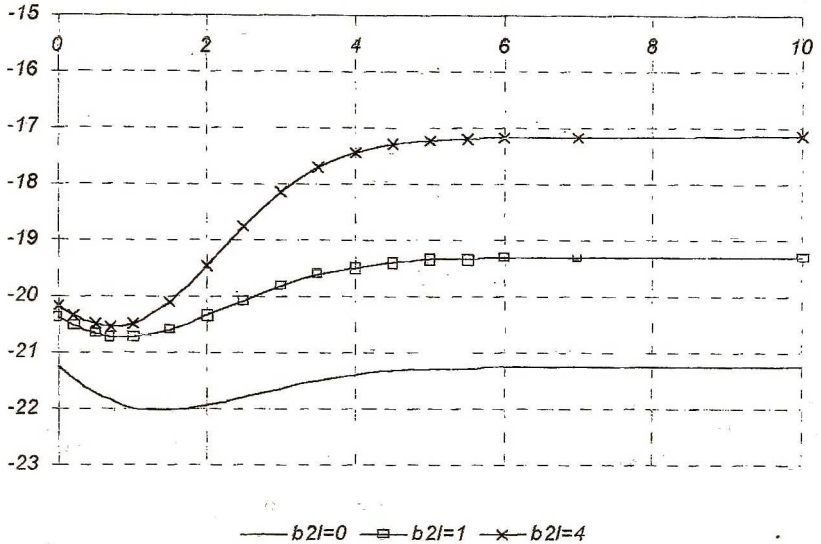


Рисунок 4. Зависимость коэффициента ослабления на декаду по уровню  $-3$  дБ от коэффициента неоднородности  $b_1$ .

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОТКЛОНЕНИЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛАЗА ОТ НОРМЫ

Иноземцев М.Ю., Матюнин С.А.

Интерференция - перераспределение интенсивности света – образуется при суперпозиции нескольких волн одинаковой частоты и соизмеримой амплитуды. По виду интерференционной картины можно определить степень расфокусировки изображения, определить вид и величины дефектов оптической системы глаза.

В оптическом отношении глаз является адаптивной оптической системой с переменным фокусным расстоянием. Оптическая система состоит из совокупности преломляющих сред. Изменение фокусного расстояния системы осуществляется за счет мышечного усилия, изменяющего кривизну поверхности хрусталика. Изображение предметов нормального глаза фокусируется на заднюю поверхность глаза – сетчатку.

Используя суперпозицию основного луча и луча, отраженного от глазного дна можно наблюдать интерференционную картину (рис. 1).