

ОПИСАНИЕ УЧЕБНО-ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА LgH

Лабораторно-практическое занятие посвящено расчёту, построению и анализу логарифмических частотных характеристик RLC -фильтров 1...4-го порядков, постановке (в процессе выполнения работы) машинного эксперимента в **программной среде LgH**, для работы которой необходим компьютер с ОС Windows и объёмом свободной памяти 8 Мбайт.

Учебно-программный продукт (УПП) LgH разработан с использованием среды Borland C++Builder 4.0 Professional и состоит из двух частей: теоретической и практической (рис. 12).

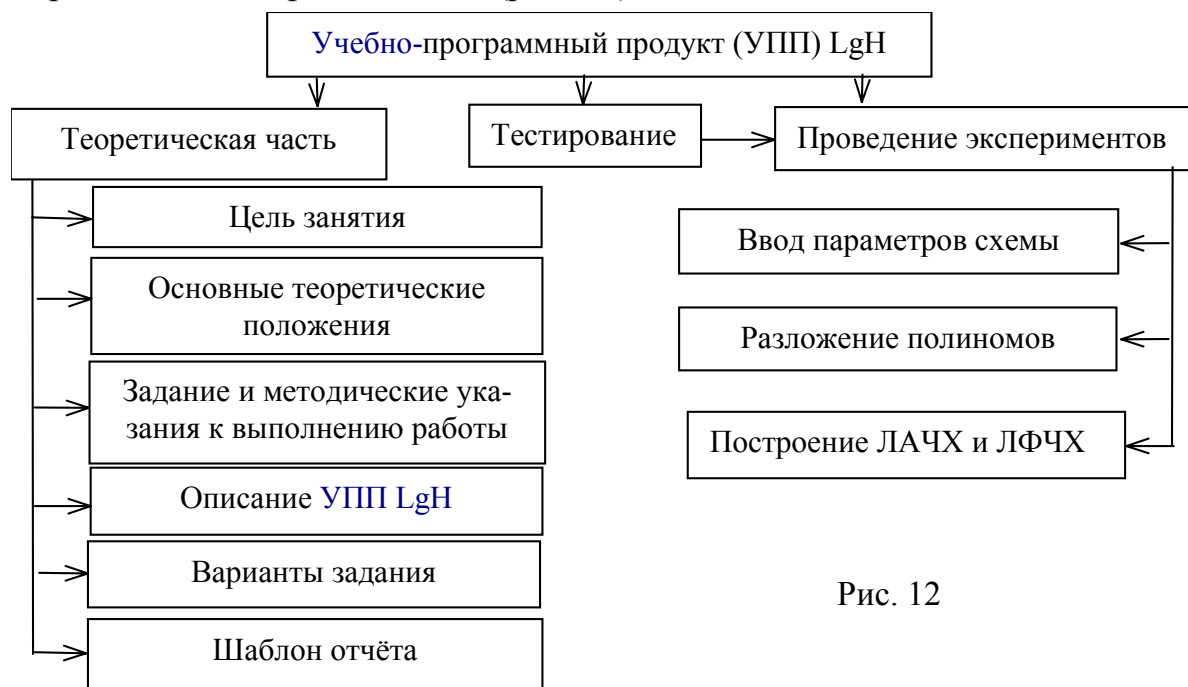












Рис. 12

Для быстрого доступа к указанным на рис. 12 разделам УПП на панель (см. 3-ю строку, в левом верхнем углу, рис. 13) выведены соответствующие кнопки:

-  - цель занятия;
-  - основные теоретические положения;
-  - методические указания к выполнению работы;
-  - описание программы;
-  - варианты задания;
-  - шаблон отчёта (только для слушателей дистанционного обучения) для отправки на Web-сервер МАТИ;
-  - тестирование (самоконтроль уровня усвоения теоретического материала);
-  - ввод параметров элементов схемы фильтра;
-  - разложение полиномов передаточных функций на множители;
-  - построение ЛАЧХ и ЛФЧХ.

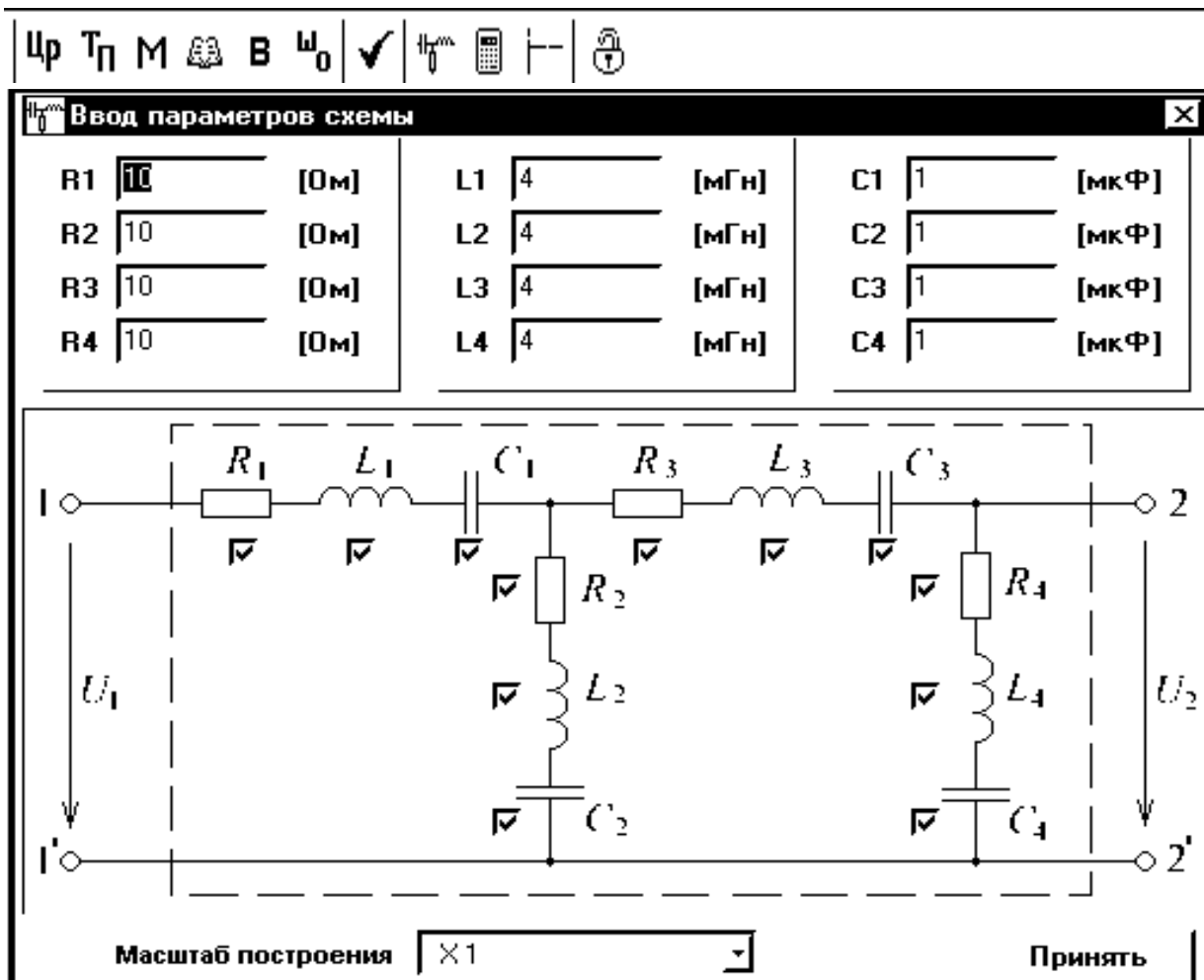


Рис. 13

При нажатии левой клавиши мыши (в дальнейшем щёлкнуть мышью) на соответствующей кнопке на экран дисплея выводятся тексты, рисунки, схемы, примеры расчёта и построения ЛАЧХ и ЛФЧХ фильтров, варианты задания на расчёт и моделирование фильтров и методические указания к их выполнению, задания тестов, бланк (шаблон) отчёта для отправки на Web-сервер вуза (при дистанционной форме обучения).

Внимание! Доступ к программам: "Разложение полиномов на множители", "Ввод параметров элементов схемы фильтра" и "Построение ЛАЧХ и ЛФЧХ" студент может получить только при получении **положительного результата тестирования** (преподаватель получает доступ к программам после введения пароля, кнопка). Поэтому, прежде чем приступить к машинному эксперименту, студенту нужно ответить на задания тестов (кнопка) с целью проверки уровня усвоения методов расчёта и последовательности построения графиков ЛАЧХ и ЛФЧХ RLC -фильтров.

Моделирование фильтров в среде LgH ведётся на основе **обобщённой схемы замещения двухзвенного RLC -четырёхполюсника** (см. рис. 13 и рис. 14, а), в которой операторное сопротивление k -ой ветви

$$Z_k(p) = R_k(p) + pL_k + D_k / p; \quad D_k = 1 / C_k$$

По умолчанию параметры R_k, L_k, C_k элементов фильтра принимают значения, указанные на рис. 13. Согласно варианту (см. табл. 2) студент вводит с клавиатуры в соответствующие ячейки значения параметров элементов (заменяя значения, установленные по умолчанию), а избыточные элементы "убирает" с экрана посредством щелчков мышью на переключателях, расположенных около избыточных элементов.

Выражение передаточной функции по напряжению RLC -фильтров первого и второго порядков удобно найти, воспользовавшись правилом делителя тока или другими методами (МУН, МКТ, законами Кирхгофа).

Для получения передаточной функции $H_u(p)$ обобщённой схемы RLC -фильтра представим его звенья (см. рис. 14, а) в виде четырёхполюсников с операторными A -коэффициентами в матричной форме (рис. 14, б):

$$\begin{bmatrix} A_1(p) & B_1(p) \\ C_1(p) & D_1(p) \end{bmatrix} \text{ и } \begin{bmatrix} A_2(p) & B_2(p) \\ C_2(p) & D_2(p) \end{bmatrix},$$

$$\text{где } A_1(p) = \frac{U_1(p)}{U'_2(p)} \Big|_{I_2=0}; \quad B_1(p) = \frac{U_1(p)}{I'_2(p)} \Big|_{U'_2=0}; \quad C_1(p) = \frac{I_1(p)}{U'_2(p)} \Big|_{I_2=0};$$

$$D_1(p) = \frac{I_1(p)}{I'_2(p)} \Big|_{U'_2=0}; \quad A_2(p) = \frac{U'_2(p)}{U_2(p)} \Big|_{I_2=0}; \quad B_2(p) = \frac{U'_2(p)}{I_2(p)} \Big|_{U_2=0} \text{ и т. д.}$$

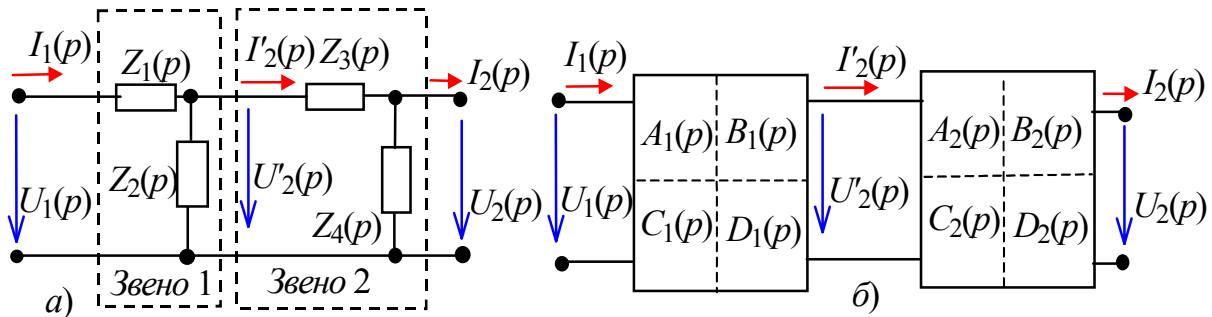


Рис. 14

Тогда соотношения между величинами на зажимах фильтра:

$$\begin{bmatrix} U_1(p) \\ I_1(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(p) & B(p) \\ C(p) & D(p) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_2(p) \\ I_2(p) \end{bmatrix},$$

$$\text{где } A(p) = A_1(p)A_2(p) + B_1(p)C_2(p); \quad B(p) = A_1(p)B_2(p) + B_1(p)D_2(p); \\ C(p) = C_1(p)A_2(p) + D_1(p)C_2(p); \quad D(p) = C_1(p)B_2(p) + D_1(p)D_2(p).$$

$$\text{Так как } A_1(p) = \frac{U_1(p)}{U'_2(p)} \Big|_{I_2=0}, \text{ то } H_u(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} \Big|_{I_2=0} = \frac{1}{A(p)},$$

$$\text{где } A(p) = A_1(p)A_2(p) + B_1(p)C_2(p) =$$

$$= \left(\frac{Z_1(p) + Z_2(p)}{Z_2(p)} \right) \cdot \left(\frac{Z_3(p) + Z_4(p)}{Z_4(p)} \right) + Z_1(p) \frac{1}{Z_4(p)}.$$

Откуда

$$H_u(p) = \frac{Z_2(p) \cdot Z_4(p)}{Z_1(p)[Z_2(p) + Z_3(p) + Z_4(p)] + Z_2(p)[Z_3(p) + Z_4(p)]} =$$

$$= \frac{a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0}{b_4 p^4 + b_3 p^3 + b_2 p^2 + b_1 p + b_0}, \quad (15)$$

где $a_4 = L_2 L_4$; $a_3 = L_2 R_4 + L_4 R_2$; $a_2 = L_2 D_4 + L_4 D_2 + R_2 R_4$;

$$a_1 = R_2 D_4 + R_4 D_2; \quad a_0 = D_2 R_4; \quad b_4 = L_1 L_{2-4} + L_2 L_{3,4};$$

$$b_3 = L_1 R_{2-4} + L_{2-4} R_1 + L_2 R_{3,4} + L_{3,4} R_2;$$

$$b_2 = L_1 D_{2-4} + L_{2-4} D_1 + R_1 R_{2-4} + L_2 D_{3,4} + L_{3,4} D_2 + R_2 R_{3,4};$$

$$b_1 = R_1 D_{2-4} + R_{2-4} D_1 + R_2 D_{3,4} + R_{3,4} D_2; \quad b_0 = D_1 D_{2-4} + D_2 D_{3,4};$$


$$L_{2-4} = L_2 + L_3 + L_4; \quad L_{3,4} = L_3 + L_4; \quad D_{2-4} = D_2 + D_3 + D_4; \quad D_{3,4} = D_3 + D_4.$$

Внимание. При коротком замыкании на выходе, которое возникает при сопротивлении $Z_2(p) = 0$ и/или $Z_4(p) = 0$, функция $H_u(p) = 0$.

Прежде чем приступить к построению ЛАЧХ и ЛФЧХ фильтра, необходимо преобразовать выражение (15) таким образом, чтобы свободные члены полиномов числителя и знаменателя были равны единице, а затем разложить полиномы на простые множители. Например,

$$H(p) = \frac{p(8p + 400)}{5p^3 + 10p^2 + 82p + 40} = \frac{400}{40} \frac{p \left(\frac{8}{400} p + 1 \right)}{\frac{5}{40} p^3 + \frac{10}{40} p^2 + \frac{82}{40} p + 1} =$$

$$= 10 \frac{p(0,02p + 1)}{0,125p^3 + 0,25p^2 + 2,05p + 1}, \quad \text{где } H_0 = H(p) \Big|_{p \rightarrow 0, \omega \rightarrow 0} = 10.$$

Для вычисления корней полиномов с действительными коэффициентами можно воспользоваться программой, вызвав её щелчком мышью на кнопке "" строки главного окна, см. рис. 13). Введя в диалоговом режиме порядок полинома n и значения коэффициентов, например, $n = 3$; $b_3 = 0.125$; $b_2 = 0.25$; $b_1 = 2.05$; $b_0 = 1$, получим:

$$p_1 = -0,744222 + j3,883904; \quad p_2 = -0,744222 - j3,883904; \quad p_3 = -0,511555.$$

Тогда выражение передаточной функции примет вид (см. (2) и (3))

$$H(p) = 10 \frac{p(0,02p + 1)}{0,125(p + 0,511555)[p^2 + 2 \cdot 0,744222p + 0,744222^2 + 3,883904^2]} =$$

$$= 10 \frac{1}{0,125 \cdot 0,511555 \cdot 15,63858} \cdot \frac{p(0,02p + 1)}{(1,954824p + 1)[0,0639444p^2 + 0,0951774p + 1]} =$$

$$= 10 \frac{p(0,02p+1)}{(1,954824p+1)[0,0639444p^2+0,0951774p+1]}. \quad (16)$$


Заменив $p = j\omega$ и сгруппировав действительные и мнимые члены полиномов числителя и знаменателя выражения (15), найдем комплексный коэффициент передачи фильтра

$$\begin{aligned} H_u(j\omega) &= \frac{(a_4\omega^4 - a_2\omega^2 + a_0) + j(a_1\omega - a_3\omega^3)}{(b_4\omega^4 + b_2\omega^2 + b_0) + j(b_1\omega - b_3\omega^3)} = \\ &= \frac{A(\omega)C(\omega) + B(\omega)D(\omega)}{C^2(\omega) + D^2(\omega)} + j \frac{B(\omega)C(\omega) - A(\omega)D(\omega)}{C^2(\omega) + D^2(\omega)} = \\ &= \sqrt{\frac{A^2(\omega) + B^2(\omega)}{C^2(\omega) + D^2(\omega)}} + e^{j \arctg \frac{B(\omega)C(\omega) - A(\omega)D(\omega)}{A(\omega)C(\omega) + B(\omega)D(\omega)}}, \end{aligned}$$


где $A(\omega) = a_4\omega^4 - a_2\omega^2 + a_0$; $B(\omega) = a_1\omega - a_3\omega^3$;
 $C(\omega) = b_4\omega^4 - b_2\omega^2 + b_0$; $D(\omega) = b_1\omega - b_3\omega^3$;

$$H_u(\omega) = \sqrt{\frac{A^2(\omega) + B^2(\omega)}{C^2(\omega) + D^2(\omega)}} - \text{АЧХ фильтра}; \quad (17)$$

$$\Psi_u(\omega) = \arctg \frac{B(\omega)C(\omega) - A(\omega)D(\omega)}{A(\omega)C(\omega) + B(\omega)D(\omega)} - \text{ФЧХ фильтра}. \quad (18)$$

Моделирование фильтров (кнопка ), расчёт и построение ЛАЧХ

$$L(\omega) = 20 \lg H_u(\omega) = 10 \lg \frac{A^2(\omega) + B^2(\omega)}{C^2(\omega) + D^2(\omega)} \quad (19)$$

и ЛФЧХ (по (18)) (кнопка ) в диапазоне частот от $\omega_{min} = 0,1$ рад/с (т. к. значение $\omega = 0$ недопустимо) до $\omega_{max} = 10^{15}$ рад/с студент выполняет с использованием ПЭВМ, а для фильтров 1-го и 2-го порядков - также "вручную". При этом учтено, что при $a_0 = 0$ и $b_0 \neq 0$, $L(1) = -20 \lg b_0$; при $a_0 \neq 0$ и $b_0 = 0$, $L(1) = 20 \lg a_0$; при $a_0 = 0$ и $b_0 = 0$, $L(1) = 0$. Если $a_0 \neq 0$ и $b_0 \neq 0$, то $L(1) = 20 \lg H_0$. При значениях $H_u \leq 10^{-20}$ принято $L(\omega) = -200$ дБ.

По окончании работы студент оформляет отчёт на бумажном носителе, а слушатель дистанционной формы обучения полученные результаты заносит в специальный бланк (кнопка "Шо") и отправляет его по электронной почте или сети Internet на Web-сервер института (для проверки и отметки о выполнении работы).