

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АПЕРИОДИЧЕСКИХ
ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА**

Руководство к лабораторной работе № 4,5 по дисциплине
«Теория электрических цепей»
для студентов радиотехнического факультета
всех специальностей

Разработчики:
доцент кафедры ТОР
И.В. Мельникова,
доцент кафедры ТОР
К.Ю.Дубовик

Томск 2013

Оглавление

1. Цель работы.....	3
2. Краткие теоретические сведения.....	3
2.1 Комплексная функция цепи	3
2.2 Частотные характеристики цепи	5
2.3 Определение частотных характеристик цепи (АЧХ и ФЧХ) с помощью выражений комплексной функции цепи (КФЦ)	7
2.4 Определение характера частотных характеристик цепи (АЧХ и ФЧХ) на основе схемы без вывода выражений АЧХ и ФЧХ.....	10
2.5 Определение полосы пропускания цепи (ППЦ).....	12
3. Домашнее задание	12
4. Лабораторная работа №4: ИССЛЕДОВАНИЕ ВХОДНЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АПЕРИОДИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА	14
4.1 Подготовка лабораторного оборудования	14
4.2 Измерение АЧХ и ФЧХ входной функции простой цепи	15
4.3 Измерение АЧХ и ФЧХ входной функции сложной цепи	18
5. Лабораторная работа №5: ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АПЕРИОДИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА	18
5.1 Подготовка лабораторного оборудования	18
5.2 Измерение АЧХ передаточной функции простой цепи	18
5.3 Измерение ФЧХ передаточной функции простой цепи	19
5.4 Измерение АЧХ и ФЧХ передаточной функции сложной цепи.....	20
5. Выводы по работе.....	20
7. Контрольные вопросы	20
8. Список литературы	23

1. Цель работы

1) Усвоить понятия амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), фазо-частотных характеристик (ФЧХ) и полосы пропускания цепи (ППЦ);

2) Освоить методику измерения входных частотных характеристик на примере простых цепей, содержащих резисторы и один из реактивных элементов: конденсатор или катушку индуктивности.

3) Освоить методику измерения передаточных частотных характеристик на примере простых цепей, содержащих резисторы и один из реактивных элементов: конденсатор или катушку индуктивности.

2. Краткие теоретические сведения

Любая цепь, содержащая разнотипные (реактивные и активные) элементы, является частотно зависимой, т.е. на различных частотах значения входного сопротивления цепи, а также падения напряжений на отдельных элементах различны [2, стр.28-47]. В связи с этой особенностью в радиотехнических цепях требуются знания основных характеристик в заданных частотных диапазонах.

К основным характеристикам цепи можно отнести ее входное сопротивление и коэффициент передачи цепи.

2.1 Комплексная функция цепи

Для математического описания частотных характеристик необходимо записать комплексную функцию цепи:

В общем случае **комплексная функция цепи** (КФЦ) есть отношение комплексной амплитуды отклика к комплексной амплитуде воздействия [3]:

$$\dot{T}(j \cdot \omega) = \frac{A_{mOT}}{A_{mB}} = \frac{A_{OT}}{A_B}, \quad (2.1)$$

где $\dot{T}(j \omega)$ - комплексная функция цепи,
 \dot{A}_{mOT} , \dot{A}_{mB} - комплексные амплитуды отклика и воздействия,
 \dot{A}_{OT} , \dot{A}_B - комплексы действующих значений отклика и воздействия.

Воздействие и отклик цепи определяются в соответствии конкретной задачей исследования. Например, для цепи, представленной на рисунке 2.1, можно составить несколько КФЦ:

$$\dot{Z}_1(j\omega) = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \quad \dot{Y}_2(j\omega) = \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2} \quad (2.2)$$

$$\dot{K}_U(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1}, \quad \dot{K}_I(j\omega) = \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1}; \quad \dot{z}_{12}(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} \quad \dot{Y}_{21}(j\omega) = \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1}. \quad (2.3)$$

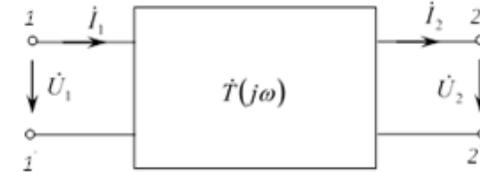


Рис. 2.1 - Схема цепи, находящейся в режиме передачи сигнала

Все КФЦ принято делить на входные и передаточные. КФЦ называется **входной**, если воздействие и отклик принадлежат одной и той же паре зажимов: $\dot{Z}_1(j\omega)$, $\dot{Y}_2(j\omega)$ и т.п. (выражения вида(2.2), рис.2.1); КФЦ называется **передаточной**, если хотя бы один зажим (вывод) цепи не является общим для сигналов воздействия и отклика: $\dot{K}_U(j\omega)$, $\dot{K}_I(j\omega)$, $\dot{Z}_{21}(j\omega)$ и т.п. (выражения вида (2.3), рис.2.1).

Двухполюсник (цепь с двумя зажимами) описывается только входными функциями. Трех-, четырех-, n-полюсник описываются как входными, так и передаточными КФЦ.

Любая схема по отношению к зажимам генератора (узлам подключения $\dot{U}_{вх}$) является двухполюсником (рис. 2.2а). Любая, даже самая простая схема в режиме передачи рассматривается как четырехполюсник (или n-полюсник) (рис.2.2.б и в) :

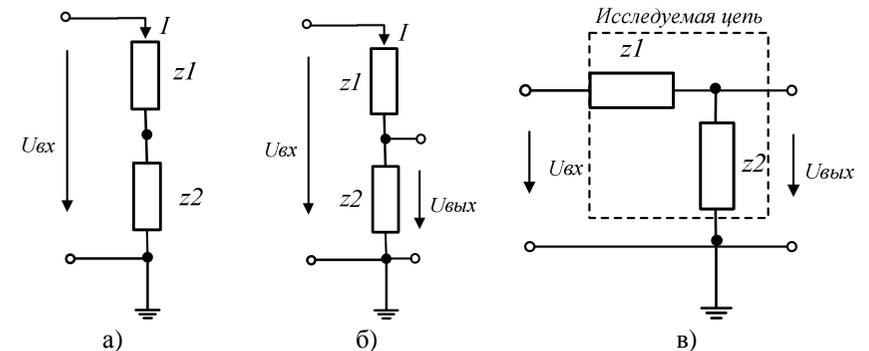


Рис.2.2 Схема замещения двухполюсника четырехполюсником

2.2 Частотные характеристики цепи

Из выражений (2.2) и (2.3) следует, что отклик и воздействие имеют комплексный характер, из чего следует, что любая КФЦ несет информацию как об амплитудных, так и о фазовых соотношениях отклика и воздействия; поэтому любая КФЦ может быть представлена в виде двух характеристик: амплитудно-частотной (АЧХ) и фазо-частотной [3]:

$$\dot{T}(j\omega) = \frac{A_{OT} e^{j\varphi_{OT}}}{A_B e^{j\varphi_B}} = T(\omega) e^{j\varphi(\omega)} \quad (2.4)$$

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) показывает закон изменения амплитуды отклика от изменения частоты гармонического воздействия при неизменной амплитуде самого входного воздействия. Математически АЧХ определяется как модуль КФЦ:

$$T(\omega) = |\dot{T}(j\omega)| = \text{Mod } \dot{T}(j\omega) = \frac{A_{OT}}{A_B}. \quad (2.5)$$

АЧХ может иметь размерность сопротивления, проводимости или быть безразмерной величиной;

При измерениях может возникнуть ситуация, когда АЧХ в интересующем диапазоне частот изменяется на несколько порядков (например, от 1 до 1000), тогда в технике пользуются логарифмическим масштабом; значения АЧХ в децибелах (дБ) определяется как:

$$T(\omega) = 20 \lg \frac{A_{OT}}{A_B}. \quad (2.6)$$

Фазо-частотная характеристика (ФЧХ) показывает, как меняется фаза сигнала отклика относительно фазы сигнала воздействия при изменении частоты воздействия. Математически ФЧХ определяется как главный аргумент КФЦ:

$$\varphi(\omega) = \varphi_{OT} - \varphi_B = \text{Arg } \dot{T}(j\omega). \quad (2.7)$$

ФЧХ измеряется либо в градусах, либо в радианах.

Общая методика получения выражений для частотных характеристик цепи состоит в следующем [3]:

- 1) получают выражение Комплексной функции цепи: $\dot{T}(j\omega)$,
- 2) находят выражение АЧХ как модуль КФЦ: $|\dot{T}(j\omega)|$,
- 3) находят выражение ФЧХ как аргумент КФЦ: $\text{Arg } \dot{T}(j\omega)$.

Полоса пропускания цепи (ППЦ) - непрерывная область частот, в пределах которой значения амплитудно-частотных характеристик цепей отличаются от своего максимального значения не более чем в $\frac{1}{\sqrt{2}}$ раз или на 3 дБ (рис.2.3)

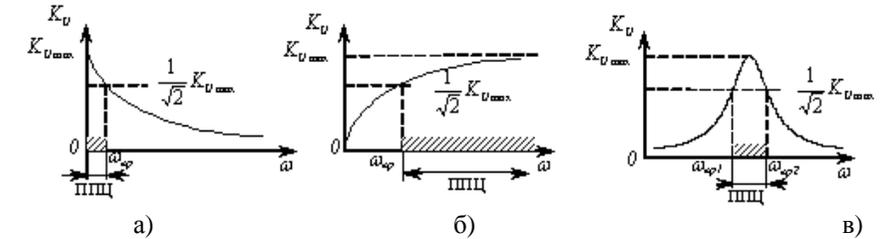


Рисунок 2.3 - Типовые АЧХ цепей и их полосы пропускания.

Методика экспериментального определения ППЦ на основе графика АЧХ показана на рисунке 2.3.:

- 1) по графику АЧХ функции определяется максимальное значение;
- 2) перемножается полученное значение на значение $\frac{1}{\sqrt{2}}$ или 0.707;
- 3) полученное выше значение отмечается по оси ординат;
- 4) проводится перпендикуляр из точки $\frac{1}{\sqrt{2}} T_{\max}$ до пересечения с графиком частотной зависимости;
- 5) в точке пересечения с графиком частотной зависимости опускается перпендикуляр на ось абсцисс;
- 6) определяются значения частоты $\omega_{гр.}$;
- 7) находится полоса пропускания цепи, как разность граничных частот.

Общая методика определения ППЦ на основе выражения АЧХ состоит в следующем:

- 1) определяется максимальное значение АЧХ - T_{\max} ,
- 2) выражение АЧХ приравнивается к значению $\frac{1}{\sqrt{2}} T_{\max}$

$$T(\omega_p) = \frac{1}{\sqrt{2}} T_{\max}, \quad (2.8)$$

- 3) вычисляются значения граничных частот из равенства (2.8),
- 4) находится полоса пропускания цепи, как разность граничных частот.

Примечания: 1) для четырехполюсников под функцией $T(\omega)$ следует понимать функцию $K_U(\omega)$ как на рисунке 2.3, а для двухполюсников ППЦ определяется по функции $Z_{BX}(\omega)$;

2) для схем с единственной реактивностью T_{\max} соответствует либо частоте $\omega = 0$, либо частоте $\omega = \infty$, для схем с большим числом независимых реактивных элементов T_{\max} находят исследуя выражение АЧХ на экстремум.

Рассмотрим пример определения КФЦ, АЧХ, ФЧХ для цепи, представленной на рис. 2.4

2.3 Определение частотных характеристик цепи (АЧХ и ФЧХ) с помощью выражений комплексной функции цепи (КФЦ)

Изначально воспользуемся *общей методикой* определения АЧХ и ФЧХ функции:

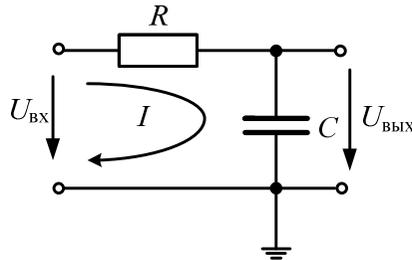


Рис.2.4 Последовательное соединение RC - цепи

2.3.1 Определение входной комплексной функции цепи (КФЦ):

Согласно определению (2.1), входное сопротивление цепи – это отношение входного напряжения ко входному току:

$$Z_{BX}(j\omega) = \frac{\dot{U}_{BX}}{I_{BX}} \quad (2.9)$$

По закону Ома входное напряжение \dot{U}_{BX} определяется:

$$\dot{U}_{BX} = I_{BX} \cdot (R + Z_C) = I_{BX} \cdot \left(R + \frac{1}{j\omega C} \right)$$

Тогда входное сопротивление цепи будет иметь вид:

$$Z_{BX}(j\omega) = \frac{\dot{U}_{BX}}{I_{BX}} = \frac{I_{BX} \cdot \left(R + \frac{1}{j\omega C} \right)}{I_{BX}} = R + \frac{1}{j\omega C}$$

Приведем знаменатель к стандартному виду, т.е. избавимся от «многоэтажного» выражения.

$$Z_{BX}(j\omega) = \frac{\dot{U}_{BX}}{I_{BX}} = R + \frac{1}{j\omega C} = \frac{1 + j\omega CR}{j\omega C},$$

Таким образом, конечный вид входного сопротивления:

$$Z_{BX}(j\omega) = \frac{\dot{U}_{BX}}{I_{BX}} = \frac{1 + j\omega CR}{j\omega C}. \quad (2.10)$$

Выражение (2.13) является *входной комплексной функцией* цепи.

2.3.2 Определение выражения АЧХ входной функции:

Согласно определению и выражению (2.5) АЧХ функции – это модуль функции или отношение модулей числителя и знаменателя для комплексных выражений. Тогда из выражения (2.9) выделим модуль:

$$Z_{BX}(\omega) = |Z_{BX}(j\omega)| = \text{Mod} \left(\frac{1 + j\omega CR}{j\omega C} \right) = \frac{\sqrt{1^2 + (\omega CR)^2}}{\sqrt{0 + (\omega C)^2}} = \frac{\sqrt{1^2 + (\omega CR)^2}}{\omega C},$$

Таким образом, АЧХ коэффициента передачи имеет вид (2.14):

$$Z_{BX}(\omega) = \frac{\sqrt{1^2 + (\omega CR)^2}}{\omega C}, \quad (2.11)$$

где R, C – параметры цепи, ω – круговая частота входного воздействия: $\omega = 2\pi f$.

2.3.3 Определение выражения ФЧХ входной функции:

Согласно определению и математической записи (2.7) фазочастотная характеристика (ФЧХ) исследуемой цепи определяется как главный аргумент комплексной функции цепи. В соответствии с теорией комплексных выражений, аргумент выражения равен разности аргументов числителя и знаменателя:

$$\varphi_{Z_{BX}}(\omega) = \text{Arg} (Z_{BX}(j\omega)) = \text{Arg} \left(\frac{1 + j\omega CR}{j\omega C} \right) = \text{arctg} \left(\frac{\omega CR}{1} \right) - \text{arctg} \left(\frac{\omega C}{0} \right) = \text{arctg}(\omega CR) - 90^\circ;$$

Тогда математическое выражение ФЧХ входной функции имеет вид (2.15):

$$\varphi_{Z_{BX}}(\omega) = \text{arctg}(\omega CR) - 90^\circ. \quad (2.12)$$

Для того, чтобы графически изобразить АЧХ и ФЧХ входной функции, необходимо вместо параметров цепи подставить номиналы элементов, а вместо круговой частоты $\omega = 2\pi f$ подставить соответствующие значения, при разных значениях циклической частоты, например, 0, 200Гц, 1кГц, 1.25кГц, 2,5кГц, 5кГц, 10кГц, 20 кГц.

2.3.4 Определение передаточной комплексной функции цепи (КФЦ):

Согласно определению (выражение (2.1)) коэффициент передачи – это отношение выходного напряжения ко входному:

$$K_U(j\omega) = \frac{\dot{U}_{ВЫХ}}{\dot{U}_{ВХ}} \quad (2.13)$$

По закону Ома входное напряжение $\dot{U}_{ВХ}$ определяется следующим образом:

$$\dot{U}_{\text{вх}} = I \cdot (R + Z_C) = I \cdot \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)$$

В свою очередь, также по закону Ома, напряжение на выходе определяется напряжением на емкости (рис.2.4):

$$\dot{U}_{\text{вых}} = I \cdot Z_C = I \cdot \frac{1}{j\omega C}$$

Тогда коэффициент передачи по напряжению будет иметь вид:

$$K_U(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}} = \frac{I \cdot \frac{1}{j\omega C}}{I \cdot \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

Приведем знаменатель к стандартному виду, т.е. избавимся от «многоэтажного» выражения.

$$K_U(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{j\omega C \left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)} = \frac{1}{1 + j\omega CR}$$

$$K_U(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}} = \frac{1}{1 + j\omega CR}. \quad (2.14)$$

Выражение (2.14) является *передаточной комплексной функцией цепи*.

2.3.5 Определение выражения АЧХ передаточной функции:

Согласно определению и выражению (2.5) АЧХ функции – это модуль функции или отношение модулей числителя и знаменателя для комплексных выражений. Тогда из выражения (2.9) выделим модуль:

$$K_U(\omega) = |K_U(j\omega)| = \text{Mod} \left(\frac{1}{1 + j\omega CR} \right) = \frac{\sqrt{1^2 + 0^2}}{\sqrt{1^2 + (\omega CR)^2}},$$

Таким образом, АЧХ коэффициента передачи имеет вид (2.15):

$$K_U(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}, \quad (2.15)$$

где R, C – параметры цепи, ω – круговая частота входного воздействия: $\omega = 2\pi f$.

2.3.6 Определение выражения ФЧХ передаточной функции:

Исходя из общего определения и математической записи (2.7) ФЧХ исследуемой цепи, определим для исследуемой цепи фазочастотную характеристику (ФЧХ). Для этого, как и у входной функции, необходимо найти главный аргумент КФЦ. В соответствии с теорией комплексных выражений, аргумент выражения равен разности аргументов числителя и знаменателя.

$$\varphi_{Ku}(\omega) = \text{Arg}(K_U(j\omega)) = \text{arctg} \left(\frac{0}{1} \right) - \text{arctg} \left(\frac{\omega CR}{1} \right) = 0 - \text{arctg}(\omega CR),$$

Таким образом, ФЧХ коэффициента передачи имеет вид (2.16):

$$\varphi_{Ku}(\omega) = -\text{arctg}(\omega CR). \quad (2.16)$$

Для того, чтобы графически изобразить АЧХ и ФЧХ передаточной функции (или по-другому, коэффициента передачи), необходимо вместо параметров цепи подставить номиналы элементов, а вместо круговой частоты $\omega = 2\pi f$ подставить соответствующие значения, при разных значениях циклической частоты, например, 0, 200Гц, 1кГц, 1.25кГц, 2,5кГц, 5кГц, 10кГц, 20 кГц.

2.4 Определение характера частотных характеристик цепи (АЧХ и ФЧХ) на основе схемы без вывода выражений АЧХ и ФЧХ

Следует отметить, что целью лабораторной работы является исследование частотных характеристик в цепях первого порядка (в составе схемы не более одной реактивности). В таких цепях невозможны экстремумы функций частотных характеристик, т.е. характер функции монотонный, а, значит, предполагаемый характер частотных характеристик может быть изображен на основе анализа схемы на крайних частотах диапазона $\omega = 0$ и $\omega \rightarrow \infty$.

Исследуем схему на рис.2.4 на крайних частотах:

1) Построение АЧХ по схеме [3]:

Так как в схеме один реактивный элемент, ЧХ цепи будут монотонными функциями частоты и для их изображения достаточно знать значения ЧХ на крайних частотах диапазона $\omega = 0$ и $\omega = \infty$.

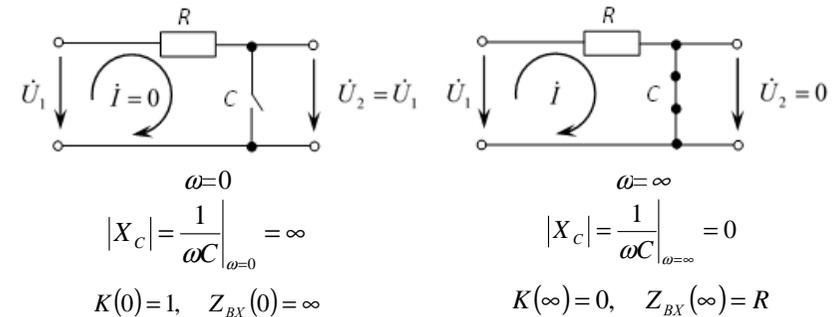


Рис.2.5 - Схемы замещения исследуемой цепи на крайних частотах диапазона

По полученным результатам построим АЧХ исследуемой цепи (рис.2.6):

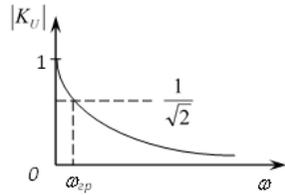


Рис. 2.6- АЧХ передаточной функции исследуемой цепи

2) Построение ФЧХ коэффициента передачи:

Для построения ФЧХ непосредственно на основе схемы **необходимо сохранить характер реактивного сопротивления**. Поэтому эквивалентные схемы изобразим не для $\omega = 0$, а для $\omega \rightarrow 0$, не для $\omega = \infty$, а для $\omega \rightarrow \infty$.

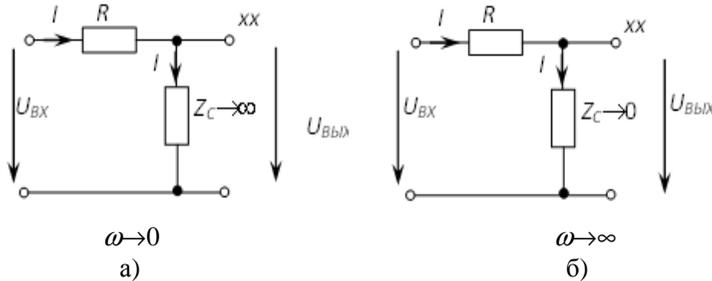


Рис. 2.7 Схема замещения участка цепи для определения ФЧХ

В соответствии с определением коэффициента передачи по напряжению $\dot{K}_U = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}}$.

$$\dot{K}_U = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}}$$

Следовательно, $\varphi_K = \varphi_{\dot{U}_{\text{вых}}} - \varphi_{\dot{U}_{\text{вх}}}$.

Для удобства положим $\varphi_{\dot{U}_{\text{вх}}} = 0$, тогда $\varphi_K = \varphi_{\dot{U}_{\text{вых}}}$

Построим векторные диаграммы для схемы рисунка 2.7а и б, соответственно:

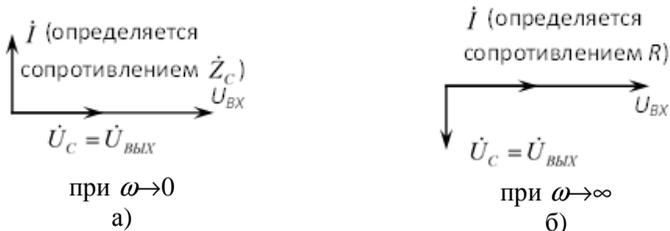


Рис. 2.8 Векторные диаграммы напряжений на граничных частотах

Исходя из рис.2.8а, разность фаз между входным и выходным напряжениями составило 0° , т.е. $\varphi_K(0) = 0^\circ$. Согласно рис.2.8 вектор. на-

пряжения выхода отстает от вектора входного напряжения на 90° , а значит, $\varphi_K(\infty) = -90^\circ$. По полученным данным построим ФЧХ коэффициента передачи:

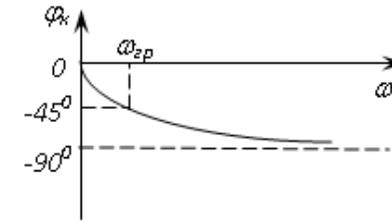


Рис. 2.9 ФЧХ коэффициента передачи

2.5 Определение полосы пропускания цепи (ППЦ)

Полоса пропускания определяется в соответствии с **общей методикой** определения ППЦ п.2.2:

В п.2.4 (рис. 2.6) был определен максимальный коэффициент передачи $K_{U \text{ max}} = K_U(0) = 1$. Приравниваем выражение (2.10) к $K_{U \text{ max}} / \sqrt{2}$:

$$K_U(\omega_p) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_p CR)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 1,$$

Решаем уравнение относительно неизвестной частоты, получаем, что:

$$\omega_p = \frac{1}{CR}.$$

Полоса пропускания (см. рисунок 2.6) соответствует интервалу $0 - \omega_p$.

Фазовый сдвиг на заданной частоте определяется на основе выражения ФЧХ, которая находится в соответствии с выражением (2.7):

$$\begin{aligned} \varphi_K(\omega) &= \text{Arg } \dot{K}_U(j\omega) = -\text{arctg } \omega CR, \\ \varphi_K(\omega_p) &= -\text{arctg } \omega_p CR = -45^\circ. \end{aligned}$$

Граничная частота полосы пропускания цепи представлена на рис.2.9.

3. Домашнее задание

1) По рекомендованной литературе [1-3] и методическим указаниям к работе изучить определения, методы расчета и измерения передаточных функций электрической цепи, граничных частот коэффициента передачи и полосы пропускания цепи;

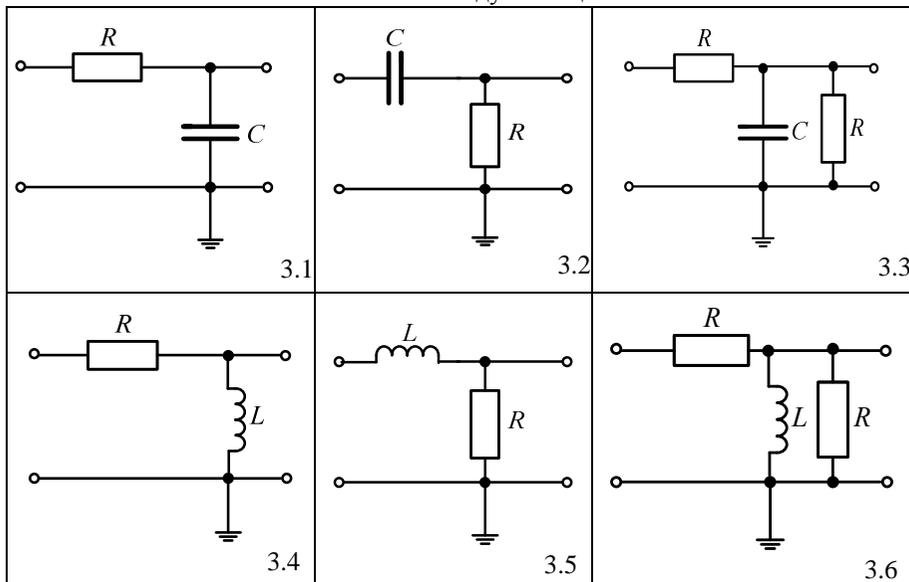
2) Схемы исследуемых цепей заданы таблицей 3.1.Изобразить вырожденные схемы исследуемых цепей на крайних частотах $f \rightarrow 0$ и

$f \rightarrow \infty$, а также изобразить предполагаемые частотные характеристики $K_u(f)$, $\varphi_k(f)$, $z_{вх}(f)$, $\varphi_{z_{вх}}(f)$ согласно общей методике качественного определения АЧХ и ФЧХ функции (п. 2.4).

Примечание: Каждый студент в бригаде выполняет работу индивидуально – один определяет частотные характеристики для цепей 3.2 и 3.3, другой – для цепей – 3.5 и 3.6.

Таблица 3.1

Схемы исследуемых цепей



3) Для цепей, указанных в п. 2 домашнего задания, получить аналитические выражения АЧХ и ФЧХ входных и передаточных функций: $K_u(f)$, $\varphi_k(f)$, $z_{вх}(f)$, $\varphi_{z_{вх}}(f)$. По полученным выражениям вычислить значения АЧХ и ФЧХ на крайних частотах $f \rightarrow 0$ и $f \rightarrow \infty$ и граничные частоты полосы пропускания согласно **общей методике определения ППЦ**. Номиналы элементов: $L = 30 \text{ мГн}$, $C = 0.03 \text{ мкФ}$, $R = 1 \text{ кОм}$.

4) Вычислить значения функций $K_u(f)$, $\varphi_k(f)$, в схеме 3.2 (3.5) на частотах 0,5; 1; 1,25; 2,5; 5; 10; 20 кГц. Построить их графики. Графически определить граничную частоту и полосу пропускания. Заполнить таблицу 3.2 (расчет).

Примечание: Для каждой схемы (3.2-3.6) заполняется отдельная таблица для $R=1\text{кОм}$. Исследование цепей при разных значениях сопротивлений R проводится непосредственно на лабораторной работе

4. Лабораторная работа №4: ИССЛЕДОВАНИЕ ВХОДНЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АПЕРИОДИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

4.1 Подготовка лабораторного оборудования

1) Включить программу PCLab2000L, ярлык которой расположен на рабочем столе. На экране появится основное диалоговое окно программы;

2) Соединить выход генератора PCSGU250, (разъём GENERATOR), с сигнальной и общей шиной макета «Линейные цепи 1»;

3) Подключить к сигнальной шине макета синий провод кабелей CH1 и CH2 осциллографа PCSGU250, а к общей шине соответствующие коричневые жилы.

4) Выбрать частоту и форму сигнала (синусоидальный) соответствующими кнопками генератора сигнала (правая часть панели осциллографа)

5) Запустить осциллограф, нажав кнопку RUN;

6) Включить режим отображения первого и второго каналов осциллографа (режим On,), и установить режим автоматического выбора режима отображения, Autoset. На экране осциллографа должен появиться синусоидальный сигнал;

7) Убедиться, что напряжения на входах первого и второго каналов идентичны;



Рис.4.1 Настройки программы для построения АЧХ и ФЧХ передаточной функции

8) Включить режим анализа частотных характеристик Bode Plotter (рис.4.1). Для этого необходимо в основном окне программы выбрать нажать кнопку **Circuit Analyzer**. На экране ПК должно появиться дополнительное окно **Bode Plotter**, в котором необходимо провести ряд настроек;

9) Включить режим отображения фазочастотной характеристики, для этого в Меню выбрать раздел View/Phase Plot (рис.4.1);

10) Как и в п.9 включить режим маркерных измерений амплитуды, View /Markers f \$ V (рис.4.1);

11) Включить режим отображения серии измерений (Главное меню/ Options/ Show Multiple Traces);

12) В главном окне Bode Plotter включить следующие режимы (рис.4.1г):

- Vertical Scale, - Volts;
- Frequency Range, - 30kHz;
- Frequency Start, - 100Hz;
- V Range, - 1V;

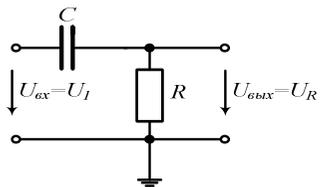
4.2 Измерение АЧХ и ФЧХ входной функции простой цепи

ПРИМЕЧАНИЕ: В качестве единичного источника гармонических колебаний для исследования входных характеристик целесообразно использовать источник тока. Тогда величина напряжения на исследуемом двухполюснике будет численно равна входному сопротивлению двухполюсника. На практике, при отсутствии генератора тока достаточно выполнить условие, при котором внутреннее сопротивление источника более чем в 50 раз превышает модуль входного сопротивления исследуемого двухполюсника, поэтому исследуемую цепь необходимо подключить к генератору сигнала через дополнительное активное сопротивление $R = 10$ кОм, как показано на рис.4.4

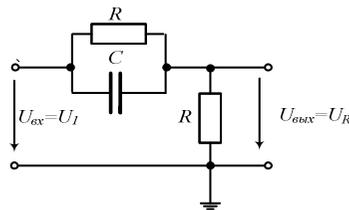
Лабораторное задание:

1) Собрать схему исследуемой простой цепи согласно варианту студента (рис.3.1-3.6).

Для измерения входных функций обязательно подключение исследуемых цепей таким образом, чтобы активное сопротивление цепи было подключено относительно общей шины (рис. 4.3 а, б). Схема замещения участка цепи представлена на рис.4.4.

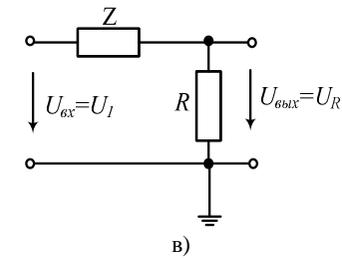


а) Простая схема



б) Сложная схема

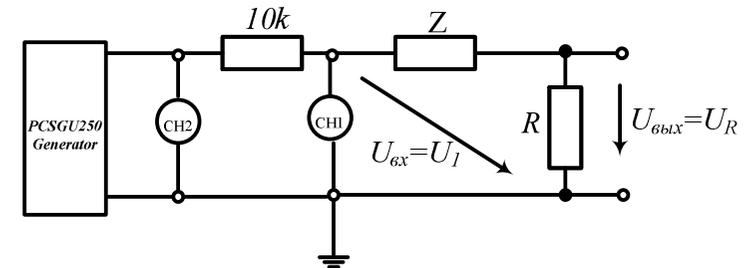
4.2 Схема подключения исследуемых цепей относительно общей шины



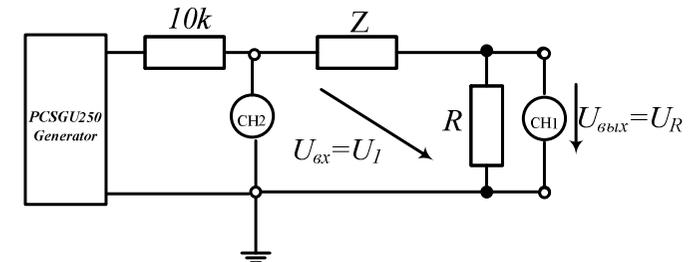
в)

Рис. 4.3 Схема замещения исследуемых цепей

2) Собрать схему экспериментальной установки для измерения напряжения U_I (рис.4.4.а)



а) Схема экспериментальной установки для измерения U_I



б) Схема экспериментальной установки для измерения U_R и φ_{UR}

Рис.4.4 Схемы экспериментальных установок

3) Кнопкой Start приложения Circuit Analyzer (Bode Plotter) включить Bode Plotter (см. настройки). Начнется автоматическая перестройка частоты входного сигнала, а на главном экране Bode Plotter будет наблюдаться построение частотной зависимости выходного напряжения (АЧХ – сплошная линия (1), ФЧХ – штриховая линия(2)). Необходимо дождаться окончания построения частотной характеристики;

4) построить характеристики $|U_I(f)|$ для трех значений сопротивления $R=1, 2, 3$ кОм, при этом ФЧХ не строить;

5) Сохранить данные на рабочий стол: File/ Save Data;

6) Из сохраненного файла занести данные $UI(f)$ в соответствующую строку таблицы 4.1 на указанных частотах при $R=1\text{кОм}$ (повторить измерения для $R=2\text{кОм}$, 3кОм и занести их в новые таблицы);

Таблица 4.1

Результаты расчета и эксперимента при $R= ______ \text{Ом}$

Частота, кГц	0	0.5	1	1,25	2,5	5	10	20	30	∞
$ U_1 , \text{В}$										
$ U_R , \text{В}$										
φ_{UR} , град	расчет									
	Экспер.									
$\varphi_I = \varphi_{UR}$, град										
$\varphi_{Z_{вх}} = -\varphi_I$, град										
$ I = \frac{ U_R }{R}, \text{А}$										
$Z_{вх} = \frac{ U_1 }{ I }$	расчет									
	Экспер.									

7) Собрать схему на рис. 4.4б, с помощью приложения Circuit Analyzer (Bode Plotter) построить характеристики $|U_R(f)|$ и $\varphi_{UR}(f)$ для трех значений сопротивления $R=1, 2, 3 \text{кОм}$;

8) Сохранить данные на рабочий стол: File/ Save Data в другой файл.

9) Из сохраненного файла занести данные в соответствующие строки $|U_R(f)|$ и $\varphi_{UR}(f)$ таблиц 1-3 (три одинаковых таблицы для разных значений сопротивления) на указанных частотах;

10) Косвенным методом рассчитать оставшиеся параметры таблиц, по полученным данным (см. строки таблицы 4.1);

11) Зарисовать в одном масштабе на общем графике три зависимости $|Z_{вх}(f)|$ при трех разных значениях сопротивления. Указать на графике граничные частоты;

12) Зарисовать в одном масштабе на общем графике три зависимости $\varphi_{Z_{вх}}(f)$ при трех разных значениях сопротивления.

13) Сделать выводы о проделанной работе.

4.3 Измерение АЧХ и ФЧХ входной функции сложной цепи

1) Повторить пункты 1-13 п.4.2 при одном значении сопротивления $R=1\text{кОм}$;

2) Построить частотные зависимости $|Z_{вх}(f)|$, $\varphi_{Z_{вх}}(f)$ вместе с зависимостями простой цепи;

3) сделать выводы о проделанной работе.

5. Лабораторная работа №5: ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АПЕРИОДИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

5.1 Подготовка лабораторного оборудования

Подготовить экспериментальную установку согласно пункту 4.1.

5.2 Измерение АЧХ передаточной функции простой цепи

Лабораторное задание:

1) Подключить схему согласно рис.5.1. В качестве исследуемой цепи используются схемы из табл. 3.1 (схемы, соответствующие варианту студента 3.2 или 3.5) активное сопротивление в цепи равно $R=1\text{кОм}$;

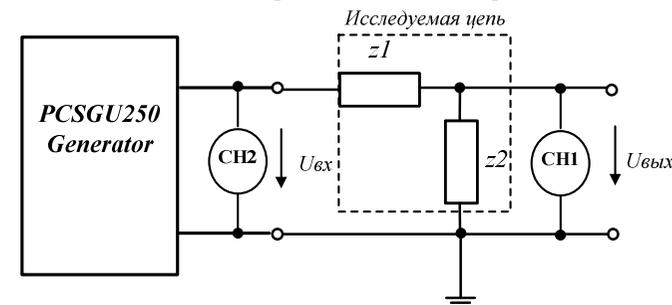


Рис. 5.1 Схема подключения измерительных приборов для измерения АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи $K_U(f)$

2) Включить с помощью кнопки Start, приложение Bode Plotter, построить зависимости АЧХ и ФЧХ передаточной функции при $R=1\text{кОм}$;

3) С помощью маркеров измерения амплитуды сигнала и частоты или с помощью файлов определить значения амплитуды выходного напряжения U_2 (значения -3, рис.4.1) на частотах, указанных в домашнем задании. Занести полученные значения напряжения в табл.5.1. ($U_2, \text{В}$, эксперимент, $R=1\text{кОм}$) Основное окно Bode Plotter **не очищать!!!**;

4) С помощью дополнительных переключателей подключить дополнительное сопротивление последовательно с основным, таким образом, чтобы суммарное активное сопротивление цепи равнялось $R=2\text{кОм}$ ($R=3\text{кОм}$).

Повторить пункты 5.2 2) и 3). Результаты занести в соответствующие графы табл.5.1.

5) Рассчитать значения коэффициента передачи согласно выражению (2.13). Занести результаты в соответствующие графы табл.5.1;

6) На одном рисунке построить АЧХ коэффициента передачи при трех значениях сопротивления $R=1\text{ кОм}, 2\text{ кОм}, 3\text{ кОм}$. Указать граничные частоты. Сделать выводы о полученных результатах.

Таблица 5.1
Результаты расчетов и эксперимента простой цепи

$f, \text{кГц}$		0	0.5	1	1.25	2.5	5	10	20	f_{cp}	∞	$R, \text{кОм}$
$U_{1,B}$	экспер.											-
	расчет											1
$U_{2,B}$	экспер.											1
												2
	расчет											3
K_U	расчет											1
												1
	экспер.											2
φ_k	расчет											2
												3
	экспер.											1
	расчет											1
												1
	экспер.											2
	расчет											2
												3
	экспер.											3

5.3 Измерение ФЧХ передаточной функции простой цепи

1) Включить режим маркерных измерений фазы, View /Markers f \$ ph ;

2) В основном окне Bode Plotter найти штриховые линии, которые соответствуют ФЧХ передаточной функции. С помощью маркеров измерения фаз и частоты определить значения фазы выходного напряжения U_2 (значения -3, рис.4.1) на частотах, указанных в домашнем задании при трех значениях сопротивления R . Результаты занести в соответствующие графы табл.5.1;

3) По результатам табл.5.1 на одном рисунке построить три зависимости фазо-частотных характеристик коэффициента передачи. Указать граничные частоты.

4) Сделать выводы о полученных результатах.

5.4 Измерение АЧХ и ФЧХ передаточной функции сложной цепи

1) Подключить схему согласно рис.5.1. В качестве исследуемой цепи используются схемы из табл. 3.1 (схемы, соответствующие варианту студента 3.3 или 3.6);

2) Руководствуясь п.п.5.2 и 5.3 провести измерения АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи сложной цепи при одном значении активных сопротивлений $R_1= R_2=1\text{ кОм}$. Результаты исследований занести в соответствующие графы табл.5.2;

Таблица 5.2
Результаты расчетов и эксперимента сложной цепи

$f, \text{кГц}$		0	0.5	1	1.25	2.5	5	10	20	f_{cp}	∞
$U_{1,B}$	экспер.										
	расчет										
$U_{2,B}$	экспер.										
	расчет										
K_U	расчет										
	экспер.										
φ_k	расчет										
	экспер.										

3) По результатам табл.5.2 построить частотные характеристики коэффициента передачи и фазы коэффициента передачи, каждую на своем рисунке. Указать граничную частоту;

4) Сделать выводы о полученных результатах.

5. Выводы по работе

1) Сделать итоговые выводы по результатам работы. В выводах четко зафиксировать влияние значения сопротивления на АЧХ и ФЧХ функций;

2) Сделать выводы о влиянии сопротивления в цепи на граничную частоту частотной характеристики;

3) Сделать выводы о значении ФЧХ передаточной функции на граничной частоте;

4) Провести сравнение частотных характеристик сложной и простой цепей ($R=1\text{ кОм}$);

5) Обоснованно объяснить расхождения в расчетных и экспериментальных данных;

7. Контрольные вопросы

1) сформулируйте определение АЧХ, поясните, что отражает АЧХ передаточной функции по напряжению;

2) сформулируйте определение ФЧХ, поясните, что отражает ФЧХ передаточной функции по напряжению;

- 3) изобразите упрощенную схему для измерения АЧХ передаточной функции с использованием
 - а) вольтметров,
 - б) измерительного прибора PC Lab;
- 4) изложите методику определения качественного характера АЧХ для моделей первого и второго порядка с однотипными реактивными элементами;
- 5) изложите методику определения качественного характера ФЧХ для моделей первого и второго порядка с однотипными реактивными элементами;
- 6) сделайте обоснованные предположения о качественном характере АЧХ коэффициента передачи для схем, изображенных на рис. 7.1;

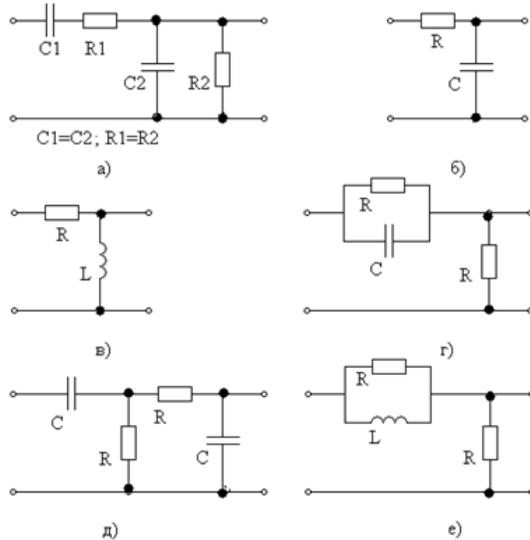


Рис.7.1

- 7) сделайте обоснованные предположения о качественном характере ФЧХ коэффициента передачи для схем рис. 7.1;
- 8) для каждой АЧХ, изображенной на рис. 7.2, постройте по две схемы;

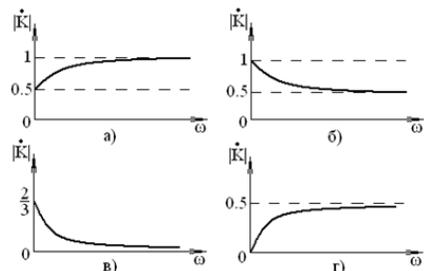


Рис.7.2

- 9) сформулируйте определение ППЦ и изложите методику расчета и экспериментального определения граничных частот полосы пропускания;
- 10) докажите в общем виде, что граничная частота для обоих выходов в каждой модели (рис. 7.3а, б)) одинакова, выразите $\omega_{гр}$ через параметры модели;

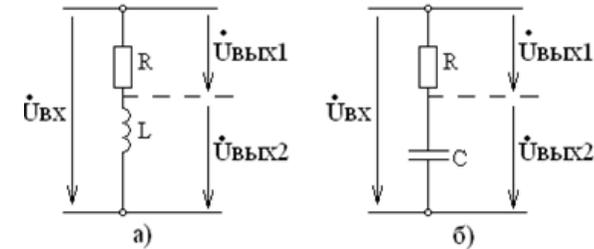


Рис. 7.3

- 11) изобразите на общем графике в одинаковом масштабе АЧХ передаточной функции по обоим выходам модели рис.6.3а (или рис. 6.3б) и прокомментируйте выполнение второго закона Кирхгофа на граничной частоте;
- 12) поясните, на каких частотах и почему возможна неустойчивая работа осциллографа в режиме измерения фазы в схемах, АЧХ которых приведены на рис. 7.4;

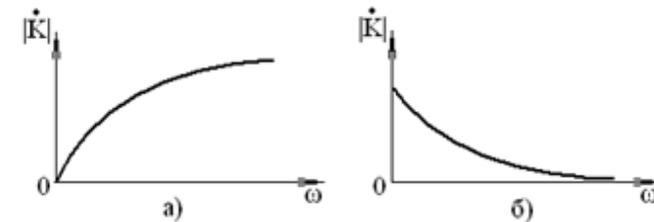


рис.7.4

- 13) поясните, что отражает АЧХ входного сопротивления и передаточной функции по напряжению;
- 14) поясните, что отражает ФЧХ входного сопротивления и передаточной функции по напряжению;
- 15) поясните, в каком случае $\varphi_{Z_{вв}} = -\varphi_I$;
- 16) поясните, почему для построения характера АЧХ входного сопротивления в цепях I, II, III порядка с однотипными реактивностями достаточно определить $Z(0)$ и $Z(\infty)$;
- 17) поясните, почему в RC – цепях, независимо от способа соединения элементов $-90^\circ \leq \varphi_Z \leq 0^\circ$;

18) поясните, почему в RL – цепях независимо от способа соединения элементов $0^\circ \leq \varphi_Z \leq -90^\circ$;

19) изобразите возможные модели, соответствующие заданным АЧХ (рисунок 7.5);

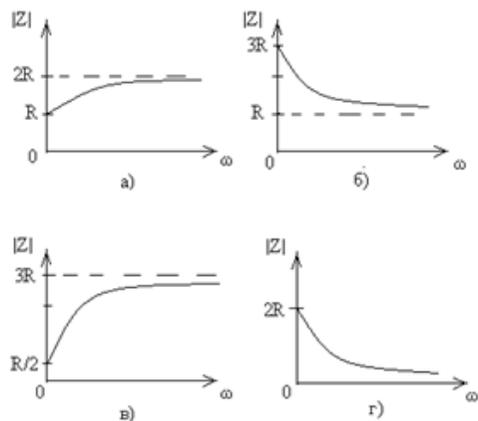


Рис.7.5

8. Список литературы

1. Попов В.П. Основы теории цепей.- М.: Высш.шк.,2005.-574с.(252 экз.)
2. Атабеков Г.И. Основы теории цепей.- СПб: Лань,2009.-432с. Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=95
3. Мельникова И.В., Дубовик К.Ю. Теория электрических цепей: Учебное пособие к практическим занятиям / Под общей ред. Мельниковой И.В.- Томск. 2012.- 156 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/1432>