

Федеральное государственное казенное военное  
образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного»  
Министерства обороны Российской Федерации

---

2 кафедра

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ**

по учебной дисциплине «Электроника, электротехника и схемотехника»  
(Д-0201-2)

Раздел № 1

**Электротехника**

Тема № 3

**Частотные характеристики электрических цепей**

Занятие №10

**Расчет частотных характеристик  
простейших электрических цепей**

Санкт-Петербург

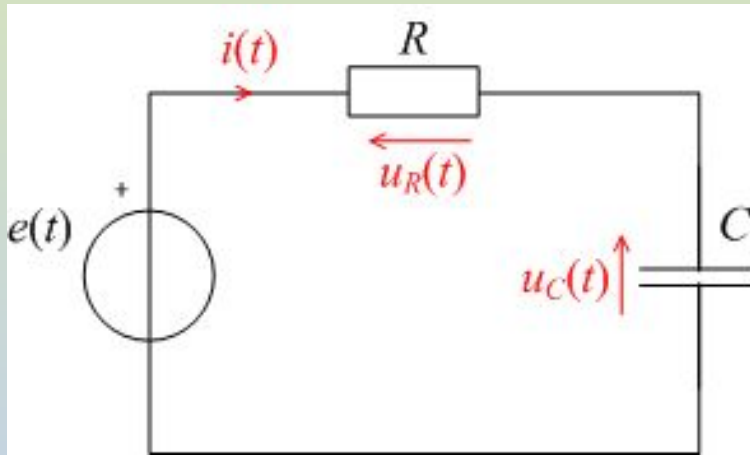
# УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Расчет амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик простейших электрических цепей.
2. Контроль усвоения изученного материала.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Бабкова Л.А., Киселев О.Н. Методические рекомендации к практическим занятиям и руководство к лабораторным работам по дисциплине «Основы теории цепей»: Учеб. пособие.– СПб.: ВАС, 2011. стр.25-27, 105-107 (!!! приложение 2).
2. Бабкова Л.А., Бирюков А.А., Дьяков С.В., Киселев О.Н. Теория электрических цепей. Анализ электрических цепей: Учебн. Пособие.- СПб.:ВАС, 2015.- 256 с.: ил. Стр. 114-122.
3. Улахович Д.А. Основы теории линейных электрических цепей: Учеб. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. стр.157-169.
4. Выгодский М.Я. «Справочник по элементарной математике», §§ 34-48 раздела III; (Действия над комплексными числами и геометрический смысл этих действий).

## Задача 1а



Дано: цепь  $RC$ ,  $E_m$ ; параметры  $E_m$ ;  $R$ ;  $C$  известны.

Найти: АЧХ и ФЧХ относительно реакций указанных на схеме.

### Решение

1. В качестве реакции рассмотрим  $\dot{I}_m$ :

$$H_I(j\omega) = \frac{\dot{I}_m}{E_m} = \frac{\frac{\dot{E}_m}{R + \frac{1}{j\omega C}}}{E_m} = \frac{j\omega C}{1 + j\omega RC} = Y(j\omega)$$

КПФ имеет размерность проводимости

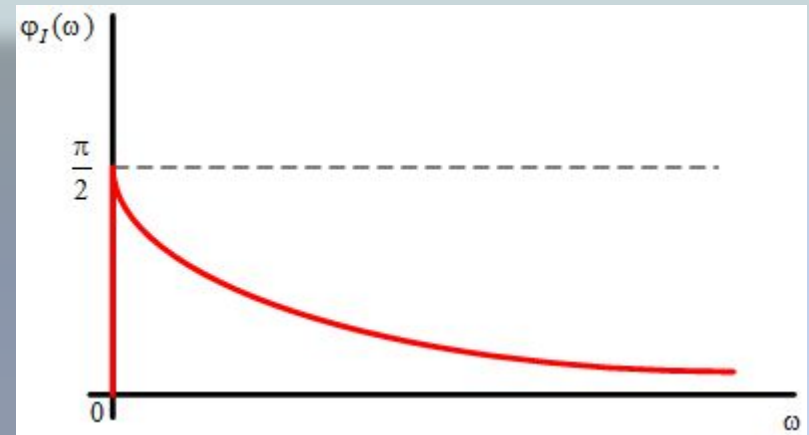
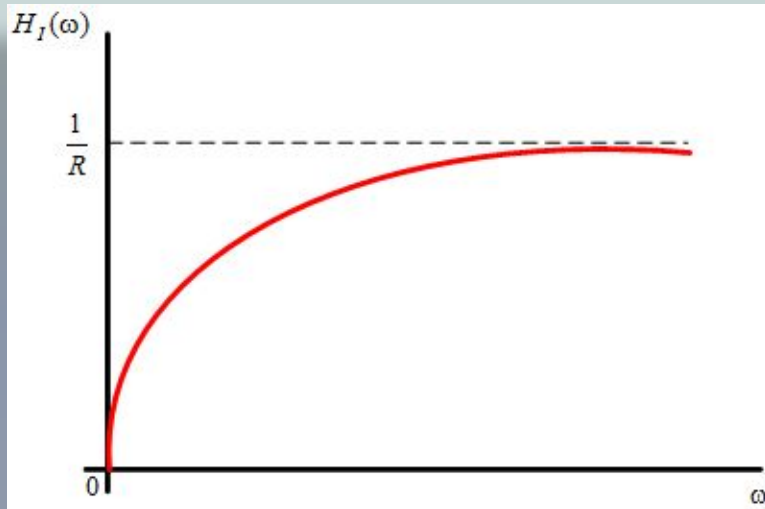
Для определения АЧХ находим модуль КПФ:

$$|H_I(j\omega)| = \frac{\omega C}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

Для определения ФЧХ находим аргумент КПФ:

$$\theta_I(\omega) = \arg H(j\omega) = \arg \frac{j\omega C}{1 + j\omega RC} = \arg(j\omega C) - \arg(1 + j\omega RC);$$

$$\theta_I(\omega) = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \omega CR$$



2. В качестве реакции рассмотрим  $\dot{U}_{mC}$  :

$$H_{U_C}(j\omega) = \frac{\dot{U}_{mC}}{\dot{E}_{\text{общ}}} = \frac{\dot{Z}_C \dot{I}_m}{\dot{E}_{\text{общ}}} = \frac{Z_C}{E_m} \cdot \frac{\dot{E}_m}{Z} = \frac{Z_C}{Z}$$

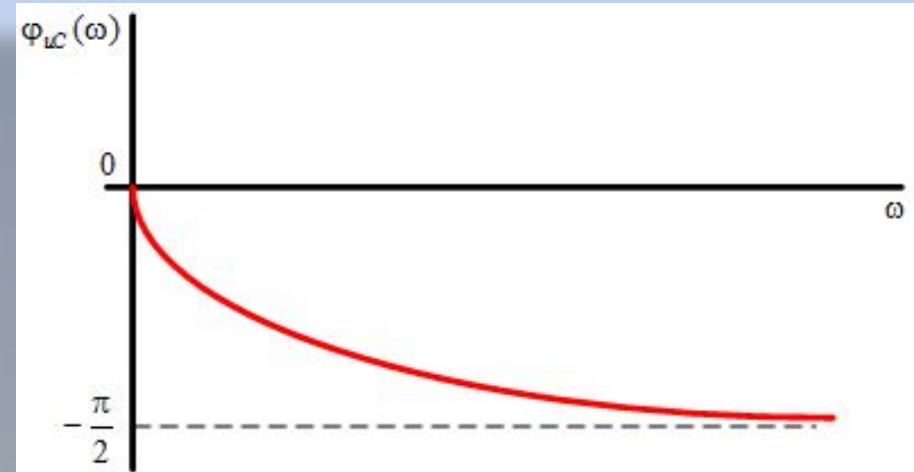
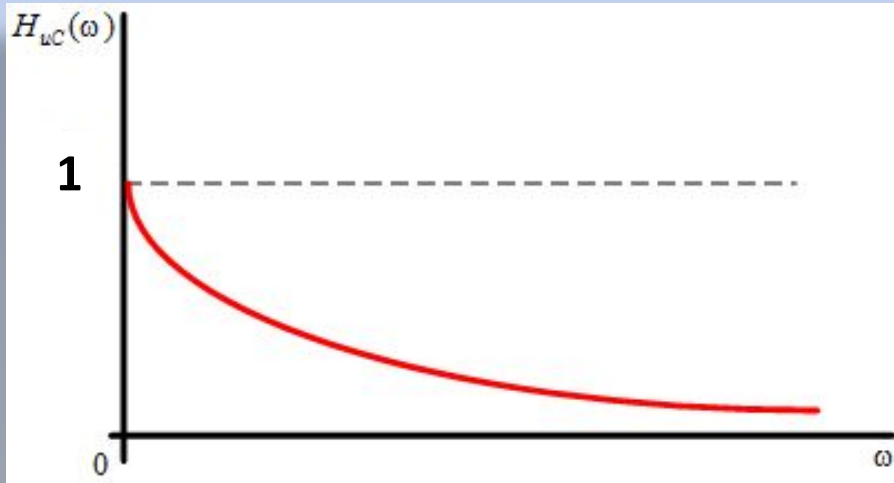
$$H_{U_C}(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} e^{-j \arctg \omega CR}$$

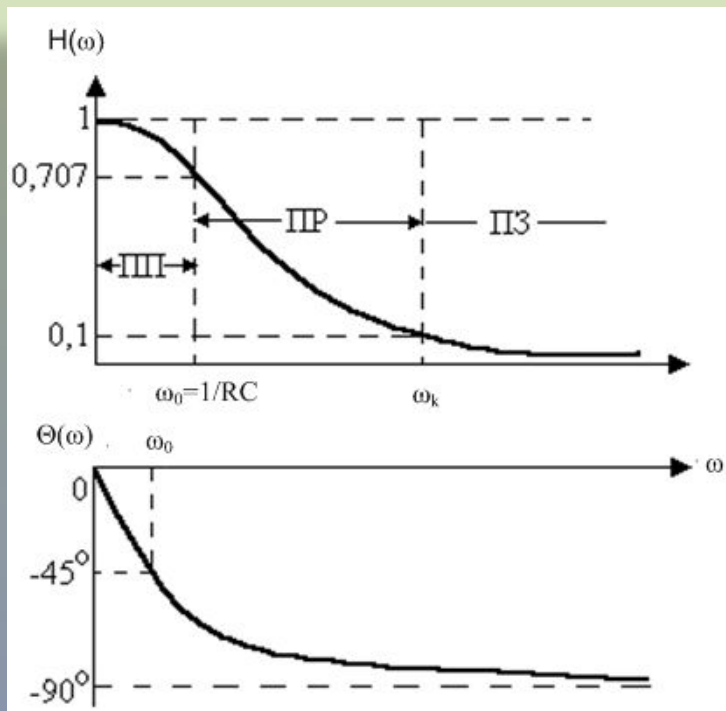
Для определения АЧХ находим модуль КПФ:

$$H_{U_C}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$

Для определения ФЧХ находим аргумент КПФ:

$$\theta(\omega) = -\arctg \omega CR$$





Параметры избирательности:

Полоса пропускания:  $\Delta\omega_{\dot{I}}$  : где  $H(\omega) > 0,707 \max$

Полоса перехода:  $\Delta\omega_M$  : где  $0,707 > H(\omega) > 0,1$

Полоса задержки:  $\Delta\omega_3$  : где  $H(\omega) \leq 0,1 \max$

3.В качестве реакции рассмотрим  $\dot{U}_{mR}$  :

$$H_{U_R}(j\omega) = \frac{\dot{U}_{mR}}{E_{\text{общ}}} = \frac{Z_R \dot{I}_m}{E_{\text{общ}}} = \frac{Z_R}{E_m} \cdot \frac{\dot{E}_m}{Z} = \frac{Z_R}{Z}$$

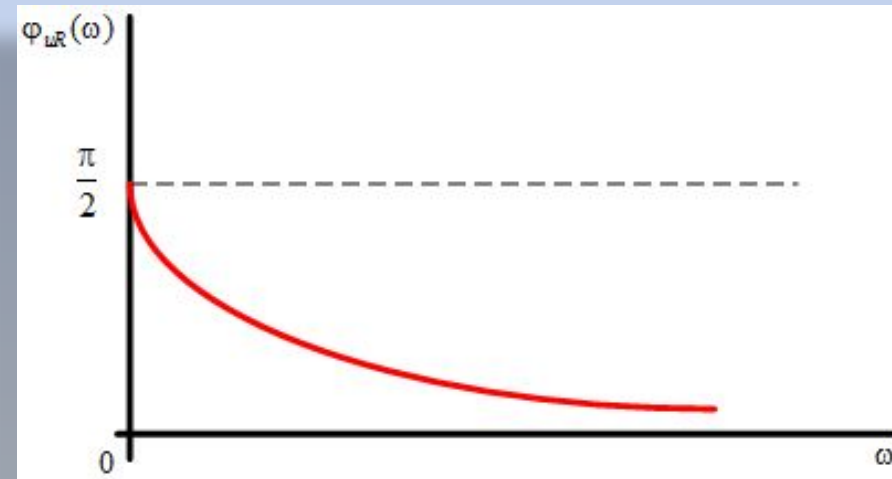
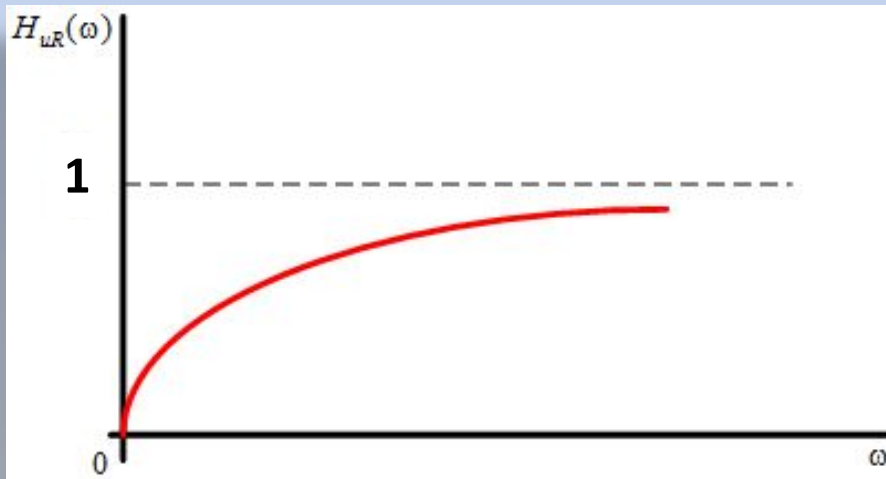
$$H_{U_R}(j\omega) = \frac{\omega CR}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} e^{-j\arctg \omega CR}$$

Для определения АЧХ находим модуль КПФ:

$$H_{UR}(\omega) = \frac{\omega CR}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$

Для определения ФЧХ находим аргумент КПФ:

$$\theta(\omega) = \frac{\pi}{2} - \text{arctg} \omega CR$$



## Выводы:

1. Рассматриваемая RC-цепь (при условии что выходное напряжение снимается с элемента емкости) может выполнять функции простейшего **интегратора** гармонических колебаний:

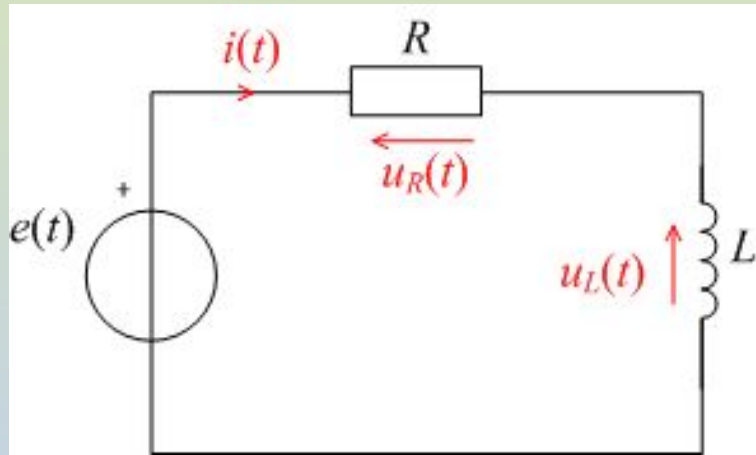
$$u_C(t) = \frac{1}{RC} \int e(t) dt$$

2. Рассматриваемая RC-цепь (при условии что выходное напряжение снимается с элемента сопротивления) может выполнять функции простейшего **дифференциатора** гармонических колебаний:

$$u_R(t) = RC \frac{de(t)}{dt}$$



## Задача 1 б



Дано: цепь  $RL$ ,  $E_m$ ; параметры  $E_m$ ;  $R$ ;  $L$  известны.

Найти: АЧХ и ФЧХ относительно реакций указанных на схеме.

### Решение

1. В качестве реакции рассмотрим  $\dot{I}_m$ :

$$H_I(j\omega) = \frac{\dot{I}_m}{E_m} = \frac{\dot{E}_m}{E_m} \frac{1}{R + j\omega L} = \frac{1}{R + j\omega L} = \frac{\frac{1}{R}}{1 + j\frac{\omega L}{R}} = Y(j\omega)$$

КПФ имеет размерность проводимости

Для определения АЧХ находим модуль КПФ:

$$|H_I(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{G}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}}$$

Для определения ФЧХ находим аргумент КПФ:

$$\theta_I(\omega) = \arg H(j\omega) = \arg \frac{1}{R + j\omega L} = -\operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R};$$

2. В качестве реакции рассмотрим  $\dot{U}_{mL}$ :

$$H_{U_L}(j\omega) = \frac{\dot{U}_{mL}}{E_{\text{общ}}} = \frac{Z_L \dot{I}_m}{E_{\text{общ}}} = \frac{Z_L}{E_m} \cdot \frac{\dot{E}_m}{Z} = \frac{Z_L}{Z} = \frac{j\omega \frac{L}{R}}{1 + j\omega \frac{L}{R}}$$

$$H_{U_L}(j\omega) = \frac{j \frac{\omega L}{R}}{\sqrt{1 + \frac{\omega L}{R}}} e^{\frac{\pi}{2} - j \operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R}}$$

Для определения АЧХ находим модуль КПФ:

$$H_{U_L}(\omega) = \frac{\frac{\omega L}{R}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}}$$

Для определения ФЧХ находим аргумент КПФ:

$$\theta(\omega) = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R}$$

3. В качестве реакции рассмотрим  $\dot{U}_{mR}$  :

$$H_{U_R}(j\omega) = \frac{\dot{U}_{mR}}{E_{\text{общ}}} = \frac{Z_R \dot{I}_m}{E_{\text{общ}}} = \frac{Z_R}{E_m} \cdot \frac{\dot{E}_m}{Z} = \frac{Z_R}{Z} = \frac{R}{R + j\omega L} = \frac{1}{1 + j\omega \frac{L}{R}}$$

$$H_{U_R}(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\omega L}{R}}} e^{-j \operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R}}$$

Для определения АЧХ находим модуль КПФ:

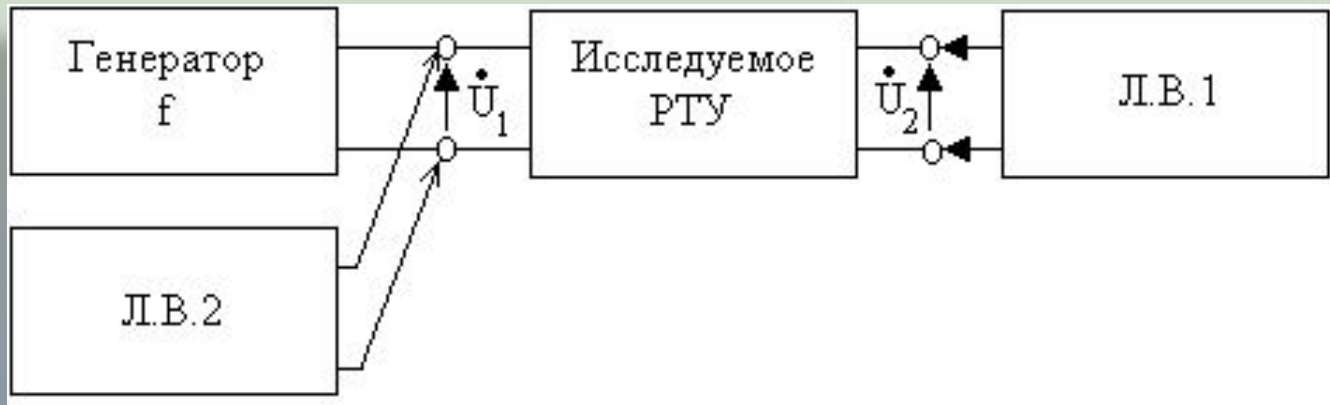
$$H_{U_R}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R}\right)^2}}$$

Для определения ФЧХ находим аргумент КПФ:

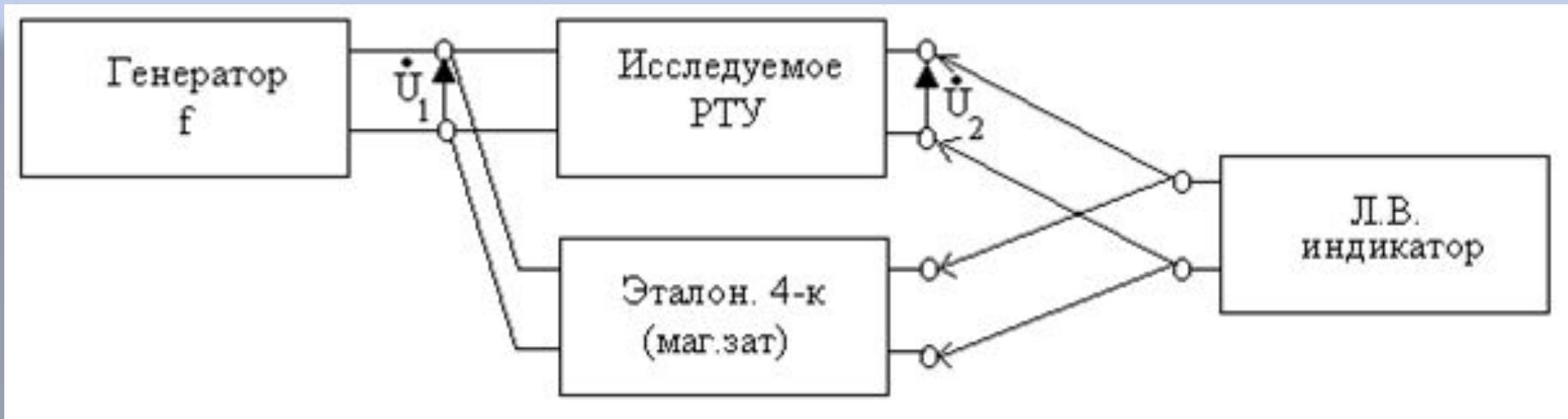
$$\theta(\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{\omega L}{R}$$

# Методы измерения частотных характеристик ЛРТУ.

## Метод одного (двух) вольтметра



## Метод сравнения



Эталонный 4-к – магазин затухания, проградуирован в логарифмических единицах (Нп). Метод более точен, т.к. здесь точность не зависит от класса точности ЛВ (он служит индикатором).