

# Тема 5. Четырехполюсники

**Лекция 11.** Характеристические параметры четырехполюсника. Вносимое затухание четырехполюсника. Передаточная функция. Каскадное сопротивление четырехполюсников при согласованных характеристических сопротивлениях.

## **Вопросы:**

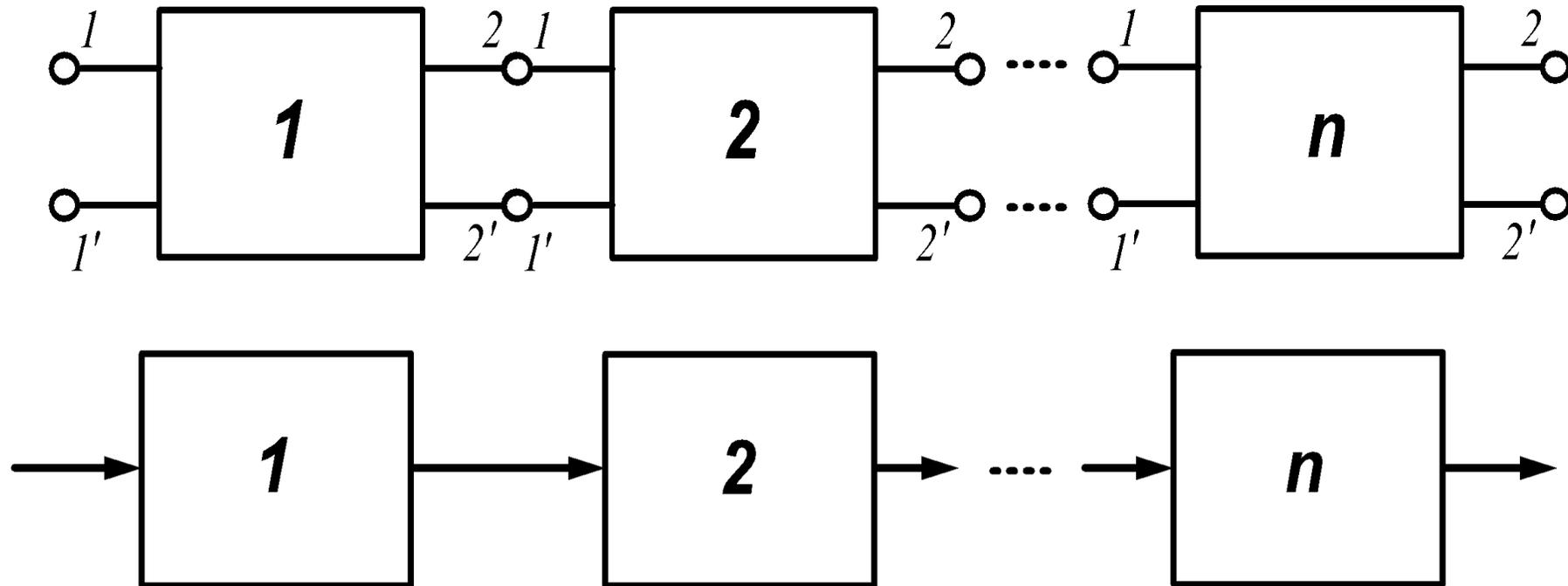
- 1. Характеристические параметры четырехполюсника.**
- 2. Вносимое затухание четырехполюсника. Передаточная функция.**
- 3. Каскадное сопротивление четырехполюсников при согласованных характеристических сопротивлениях.**

# ***1 Вопрос***

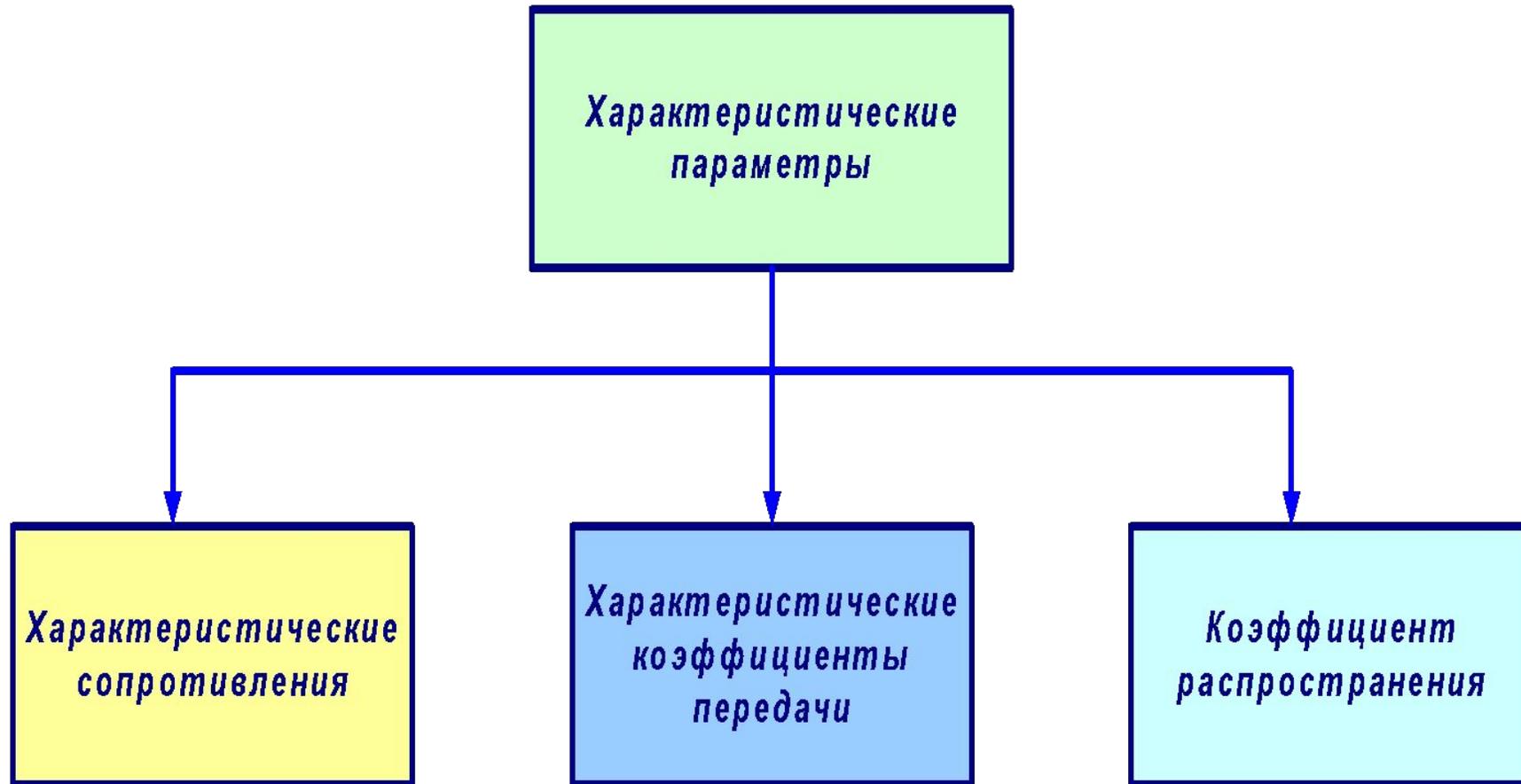
***Характеристические параметры  
четырехполюсника***

## 1.1. Общие сведения

**Анализ** линий задержки, линий связи, фильтров и других **сложных четырехполюсников** часто основывается на представлении их в виде **каскадных соединений простых четырехполюсников**

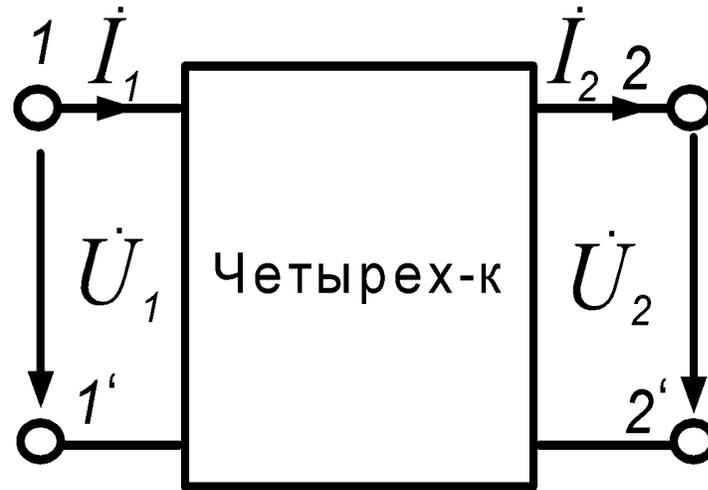


*Для описания таких схем необходимо знать  
характеристические (вторичные) параметры (ХП);*



*ХП полностью характеризуют четырехполюсник*

## 1.2. Характеристические сопротивления



**Характеристическое сопротивление** – это такие сопротивления которые взяты в качестве  $Z_{вн}$  и подключенные к входу или  $Z_H$  – к выходу обеспечивают наилучшее согласование

$$Z_{c1} = \frac{U_1}{I_1}$$

- характеристическое сопротивление **входа**

$$Z_{c2} = \frac{U_2}{I_2}$$

- характеристическое сопротивление **выхода**

### 1.3. Характеристические коэффициенты передачи

$$K_I = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{Z_{c2}}{Z_{c1}}} e^{-\gamma l};$$

- характеристический коэффициент передачи по току

$$K_U = \frac{U_2}{U_1} = \sqrt{\frac{Z_{c2}}{Z_{c1}}} e^{-\gamma l}$$

- характеристический коэфф. передачи по напряжению

## 1.4. Характеристический коэффициент распространения

$$\gamma \boxtimes = \alpha + j\beta$$

- характеристический коэффициент распространения

$$\alpha = \operatorname{Re}(\gamma \boxtimes)$$

- коэффициент затухания  $\alpha = \ln \frac{U_1}{U_2}$ , Нп

$$\alpha = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}, \text{ дБ} \text{ или } \alpha = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}, \text{ дБ}$$

$$\beta = \operatorname{Im}(\gamma \boxtimes)$$

- коэффициент фазы рад или град

## Существует тесная связь между характеристическими параметрами четырехполюсников

$$\alpha = \ln \frac{U_1}{U_2} = \ln (K_U)^{-1},$$

$$\alpha = \ln \frac{I_1}{I_2} = \ln (K_I)^{-1},$$

- коэффициент затухания **Нп** или **дБ**

$$\alpha = 2,3 \lg \frac{U_1}{U_2}, \quad \text{Нп} = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}, \quad \text{дБ}$$

$$1 \text{ дБ} = 0,1 \text{ Б} = 0,115 \text{ Нп}; \quad 2,3 \text{ Нп} = 20 \text{ дБ}.$$

$$\alpha [\text{раз}] = 10^{0,1\alpha} [\text{дБ}]$$

$$\beta = \varphi_1 - \varphi_2 - \text{коэффициент фазы } \text{рад} \text{ или } \text{град}$$

## Связь характеристических параметров с первичными параметрами четырехполюсников

$$Z_{c1} = \sqrt{Z_{1xx} Z_{1kz}} = \sqrt{\frac{A_{11} A_{12}}{A_{21} A_{22}}};$$

- характеристическое сопротивление входа

$$Z_{c2} = \sqrt{Z_{2xx} Z_{2kz}} = \sqrt{\frac{A_{22} A_{12}}{A_{21} A_{11}}};$$

- характеристическое сопротивление выхода

$$A_{11} A_{22} - A_{12} A_{21} = 1;$$

$$e^{\gamma} = \sqrt{A_{11} A_{22}} + \sqrt{A_{12} A_{21}};$$

**Для симметричных четырехполюсников:**

$$Z_{c1} = Z_{c2} = Z_n = \sqrt{\frac{A_{12}}{A_{11}}}$$

**- характеристическое повторное сопротивление**

$$A_{11} = A_{22}; \quad e^{\gamma} = A_{11} + \sqrt{A_{12}A_{21}};$$

$$\frac{e^{\gamma} + e^{-\gamma}}{2} = A_{11} = A_{22} = \operatorname{ch} \gamma;$$

**- гиперболический косинус коэффициента распространения**

$$\frac{e^{\gamma} - e^{-\gamma}}{2} = \sqrt{A_{12}A_{21}} = \operatorname{sh} \gamma;$$

**- гиперболический синус коэффициента распространения**

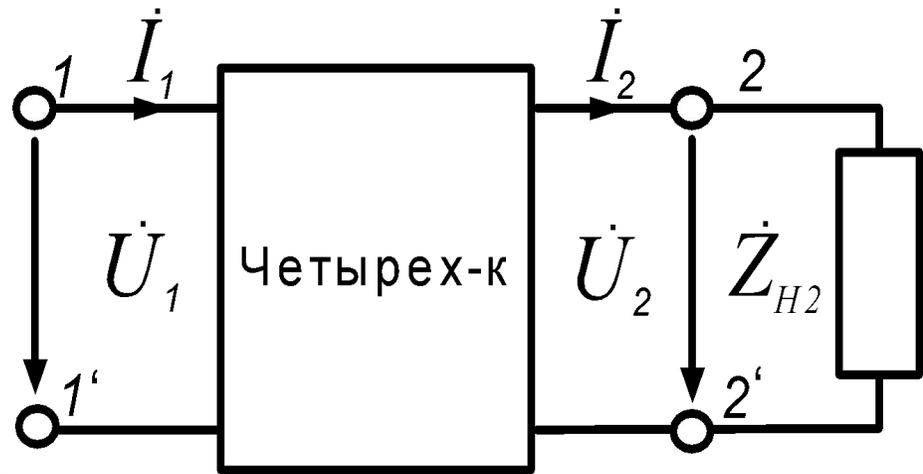
# **Выводы:**

- 1. Для описания различных схем соединения четырехполюсников необходимо знать *характеристические (вторичные) параметры***
- 2. *Знание характеристических сопротивлений позволяет обеспечить наилучшее согласование***
- 3. Существует тесная связь между характеристическими параметрами (вторичными) и первичными параметрами четырехполюсников**

## ***2 Вопрос***

***Вносимое затухание  
четырехполюсника.  
Передаточная функция***

## Комплексные передаточные функции нагруженного четырехполюсника



$$K_U(\omega) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{U_2}{A_{11}U_2 + A_{12}I_2} =$$

$$= \frac{Z_{H2}}{A_{11}Z_{H2} + A_{12}};$$

- характеристический коэфф.  
передачи по напряжению

$$K_I(\omega) = \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_2}{A_{21}U_2 + A_{22}I_2} = \frac{Y_{H2}}{A_{21} + A_{22}Y_{H2}}$$

- характеристический коэффициент передачи по току;

$$Z_{H2} = \frac{1}{Y_{H2}}; \quad \text{- сопротивление нагрузки}$$

$$Y_{H2} = \frac{1}{Z_{H2}}; \quad \text{- проводимость нагрузки}$$

## Комплексные проходные функции нагруженного четырехполюсника

$$Z_{вх}(\omega) = \frac{U_1}{I_1} = \frac{A_{11}Z_{H2} + A_{12}}{A_{21}Z_{H2} + A_{22}};$$

**- комплексное входное сопротивление**

$$Y_{вх} = \frac{I_1}{U_1} = Y_{11} + \frac{Y_{21}Y_{12}}{Y_H - Y_{22}};$$

**- комплексная входная проводимость**

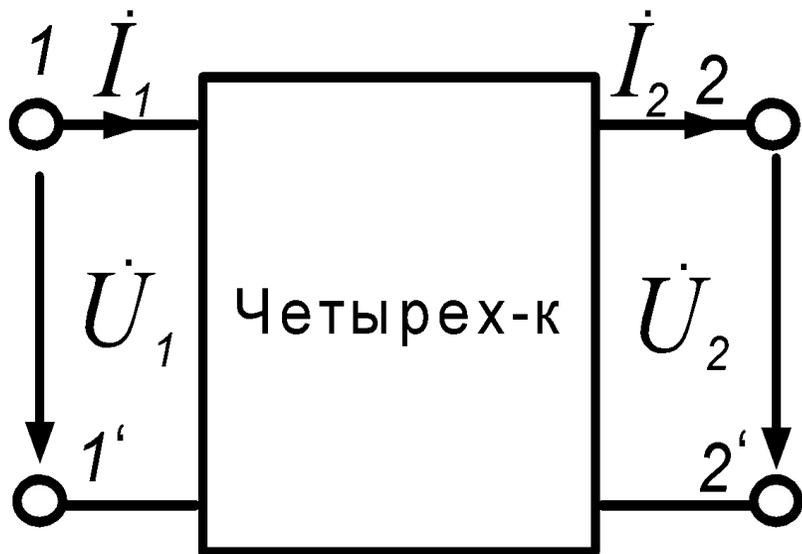
$$Z_{вых}(\omega) = \frac{U_2}{I_2} = \frac{A_{22}Z_{H2} + A_{12}}{A_{21}Z_{H2} + A_{11}}.$$

**- комплексное выходное сопротивление**

$$Y_{вых} = \frac{I_2}{U_2} = Y_{22} + \frac{Y_{12}Y_{21}}{Y_H - Y_{11}};$$

**- комплексная выходная проводимость**

## Комплексные функции четырехполюсника



$$K_U(\omega) = \frac{U_2}{U_1} = B(\omega) + jM(\omega) = K_U(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

- комплексная передаточная функция по напряжению

$$K_I(\omega) = \frac{I_2}{I_1} \quad \text{- комплексная передаточная функция по току}$$

$$Z(\omega) = \frac{U_2}{I_1} \quad \text{- комплексное передаточное сопротивление (Ом)}$$

$$Y(\omega) = \frac{I_2}{U_1} \quad \text{- комплексная передаточная проводимость (См)}$$

# **Выводы:**

- 1. Комплексные передаточные функции нагруженного четырехполюсника зависят от первичных параметров и сопротивления нагрузки**
- 2. Комплексные проходные функции нагруженного четырехполюсника зависят от первичных параметров и сопротивления нагрузки**
- 3. Частотные характеристики четырехполюсников это зависимость модулей и аргументов комплексных передаточных функций от частоты**

# ***3 Вопрос***

***Каскадное сопротивление  
четырехполюсников при согласованных  
характеристических сопротивлениях***

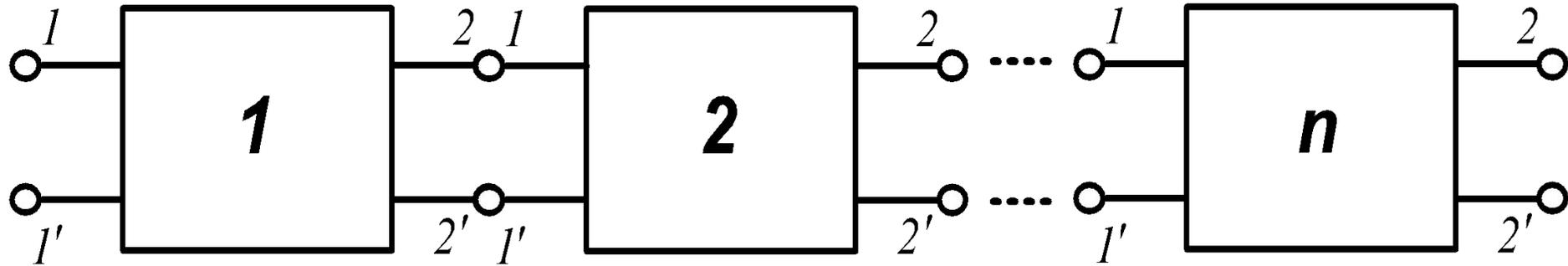
**Реальные электрические цепи могут представляться в виде нескольких четырехполюсников, соединенных различными способами друг с другом**

**При этом нескольким четырехполюсникам будет соответствовать один эквивалентный четырехполюсник (многополюсник)**

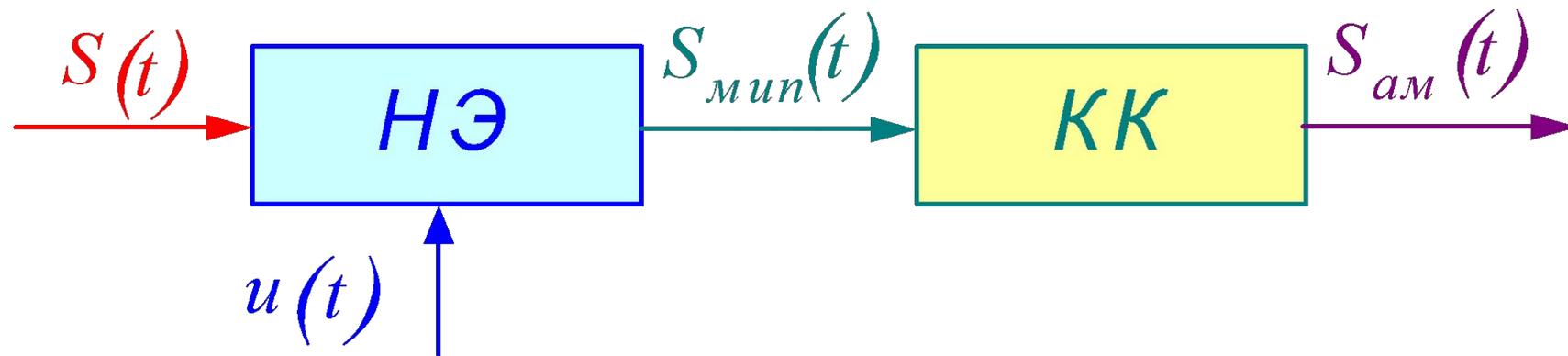
**Различают следующие способы соединения четырехполюсников:**

- 1. Каскадное**
- 2. С обратной связью (параллельное)**

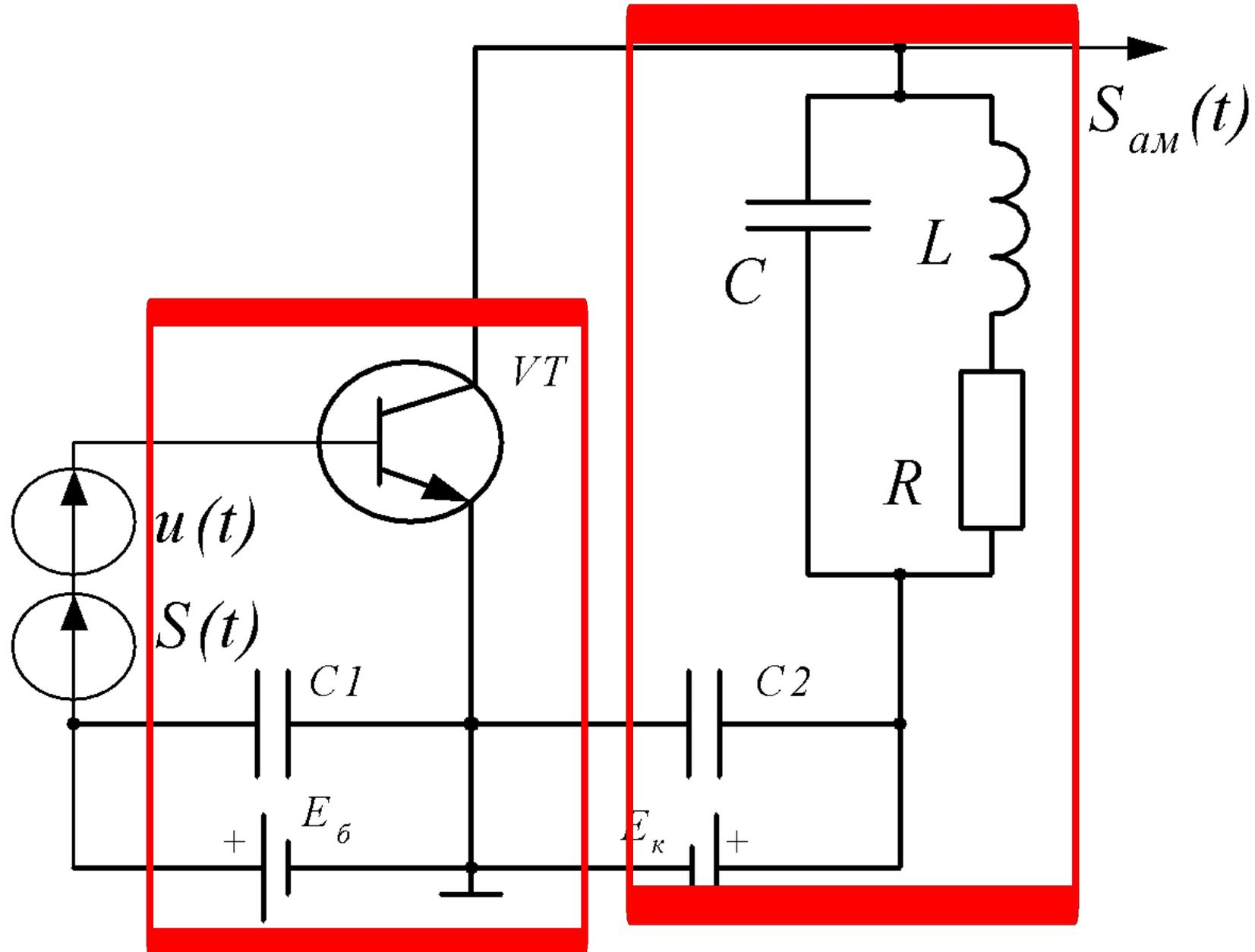
Большое практическое значение имеет **каскадное**  
**соединение четырехполюсников**



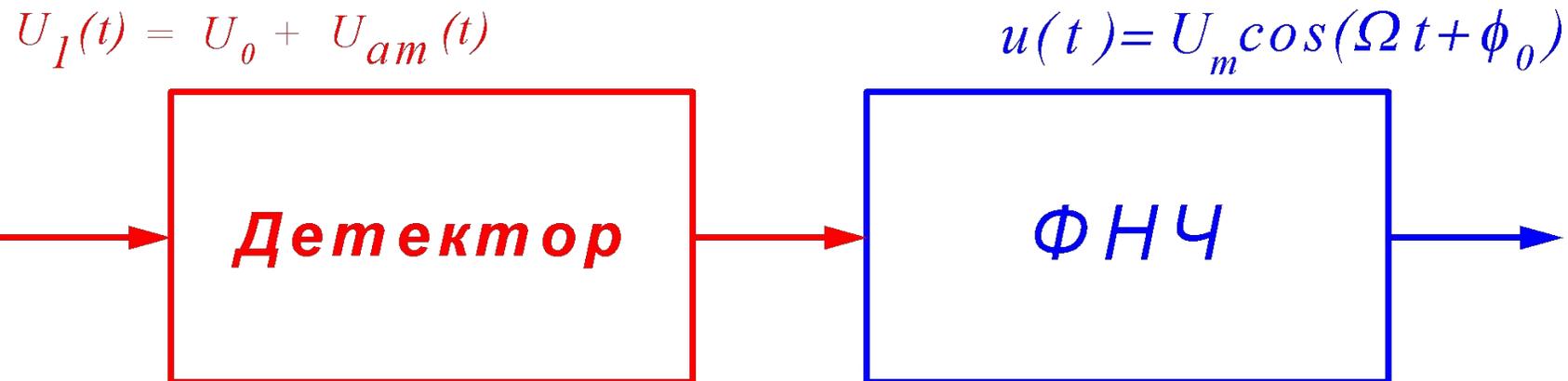
**Амплитудный модулятор**



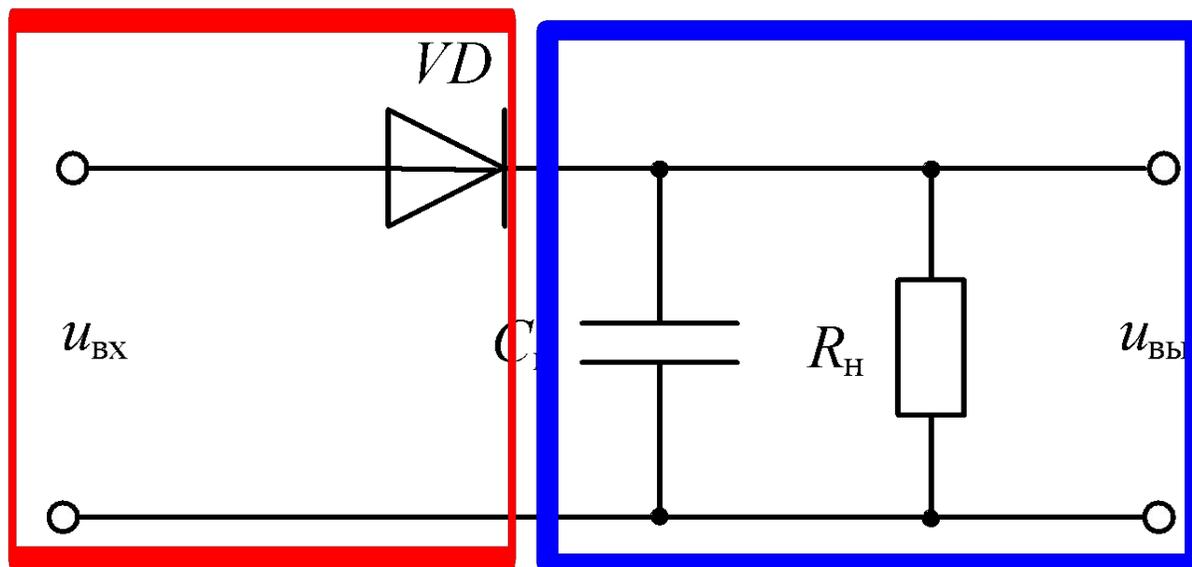
# Модулятор на транзисторе



# Амплитудный детектора



## Схема амплитудного импульсного детектора



## **Выводы:**

- 1. Реальные электрические цепи могут представляться в виде нескольких четырехполюсников, соединенных различными способами друг с другом. При этом нескольким четырехполюсникам будет соответствовать один эквивалентный четырехполюсник**
- 2. Различают следующие способы соединения четырехполюсников: каскадное и с обратной связью. Они имеют наибольшее практическое значение**