

Кубанский государственный технологический университет
Институт информационных технологий и безопасности
Кафедра компьютерных технологий и информационной безопасности

Учебная дисциплина

Электротехника и электроника

Лекция № 12

**Электрические цепи при
импульсном воздействии**

Учебные вопросы:

1. Методы анализа ЭЦ, основанные на принципе суперпозиции. Связь реакции и характеристики электрической цепи.
2. Дифференцирующие цепи
3. Интегрирующие цепи
4. Разделительные цепи

Литература:

1. Бакалов В.П., Игнатов А.Н., Крук Б.И. Основы теории электрических цепей и электроники: Учебник для вузов, - М.: Радио и связь, 1999 г, с. 103 –112.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов, - М.: Высшая школа, 2004 г, с. 450 – 468.
3. Бычков Ю.А., Золотницкий В.М., Чернышев Э.П. Основы теории электрических цепей: Учебник для вузов, - СПб.: Издательство «Лань» 2002 г, с. 194 –202.

1. Методы анализа ЭЦ, основанные на принципе суперпозиции.

Связь реакции и характеристики электрической цепи.

Суть всех методов заключается в том, что

- ❑ воздействие разлагается на множество элементарных воздействий;
- ❑ затем отыскиваются реакции цепи на выбранные элементарные воздействия;
- ❑ полученные реакции суммируются.

Конкретные методы различаются между собой формой элементарных воздействий, суммой которых представляется заданное воздействие



❖ Частотные методы анализа ЭЦ

Частотные методы анализа ЭЦ чаще всего используются тогда, когда нет необходимости искать функцию времени реакции ЭЦ, а достаточно найти ее спектр (спектральное представление).

Воздействие $s_1(t)$ разлагается на бесконечное множество гармонических составляющих. Распределение комплексных амплитуд этих колебаний – спектральную плотность $S_1(j\omega)$ находят с помощью прямого преобразования Фурье.

$$S_2(j\omega) = S_1(j\omega) \cdot K(j\omega)$$

$$K(j\omega) = \frac{U_{BIX}(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)}$$

Комплексная частотная
характеристика цепи

$$S_1(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$

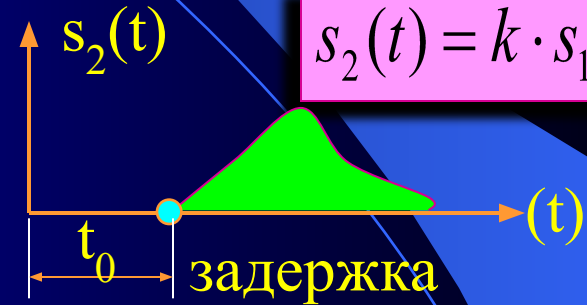
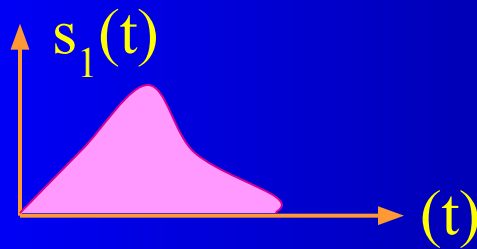
Реакцию цепи определяют с помощью обратного преобразования Фурье, осуществляющего суммирование гармонических колебаний с бесконечно малыми амплитудами

$$s_1(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_1(j\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega$$

Частотные методы анализа чаще всего применяются при исследовании прохождения звуковых сигналов через линейные цепи, когда об искажениях сигнала судят по их спектральному представлению (спектру).

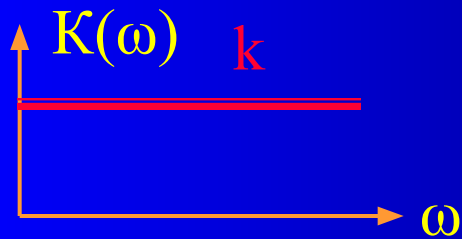
Условие неискаженной передачи сигналов через ЭЦ

Неискаженным сигналом на выходе ЭЦ считают такой сигнал, который отличается от входного только амплитудой (масштабом) и сдвигом по времени (форма сигнала остается неизменной)



$$s_2(t) = k \cdot s_1(t - t_0)$$

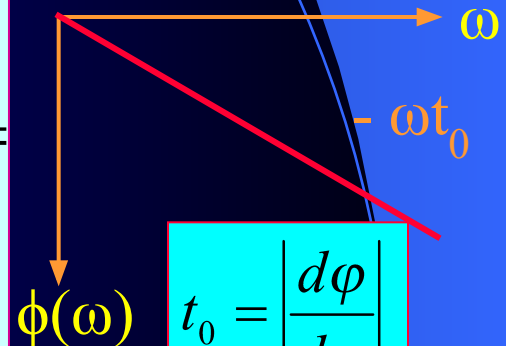
$$S_2(j\omega) = k \cdot S_1(j\omega) \cdot e^{-j\omega t_0}$$



АЧХ- const

$$K(j\omega) = \frac{S_2(j\omega)}{S_1(j\omega)} = k \cdot e^{-j\omega t_0} =$$
$$= K(\omega) \cdot e^{j\phi(\omega)}$$

ФЧХ- линейна

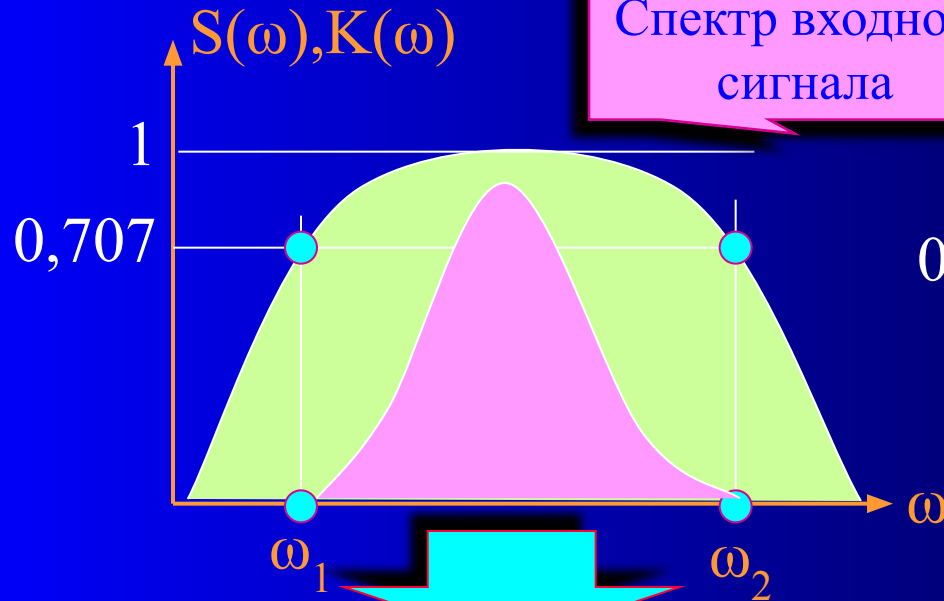


$$t_0 = \left| \frac{d\phi}{d\omega} \right|$$

Частотные характеристики реальных ЭЦ могут лишь приближаться к этим идеальным характеристикам лишь в ограниченной полосе частот (полосе пропускания)

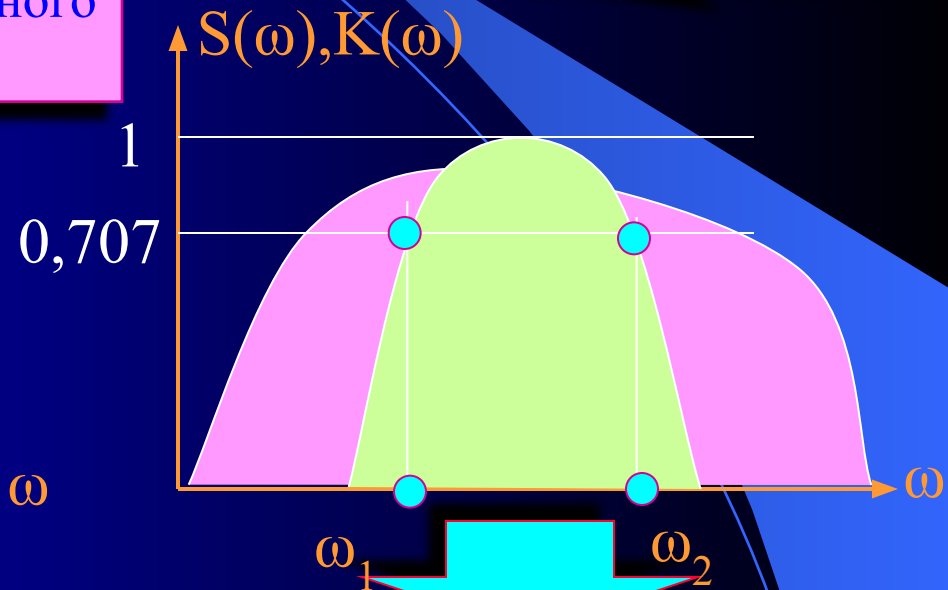
АЧХ цепи

Спектр входного сигнала



Линейные (частотные) искажения минимальны или отсутствуют

АЧХ цепи



Линейные (частотные) искажения очень большие (весьма существенные)

❖ Временные методы анализа ЭЦ

Воздействие при этом представляется суммой сдвинутых по времени скачков

$$s_1(t) = s_1(0) \cdot 1(t) + \int_0^t 1(t-x) \cdot s_1'(x) \cdot dx$$

где $s_1'(x)$ - производная функции $s(x)$ – величина скачка в момент времени $t = x$ равна $s_1'(x) \cdot dx$

- ❖ Анализируемая цепь описывается временными характеристиками:
переходной характеристикой,
импульсной характеристикой.

Определение №1. Переходной характеристикой $h(t)$ ЭЦ называется реакция цепи на единичный скачок $1(t)$ воздействия.

Определение №2. Импульсной характеристикой $g(t)$ ЭЦ называется реакция цепи на единичный импульс (дельта – импульс) $\delta(t)$ воздействия.

$$g(t) = \lim_{t_H \rightarrow 0} \frac{1}{t_H} [h(t) - h(t - t_H)] = \frac{d}{dt} h(t) + h(0_+) \cdot \delta(t)$$



$$h(t) = \int_0^t g(t) dt$$

Для вычисления реакции ЭЦ пользуются интегралами Дюамеля

■ При известной
переходной
характеристике
цепи

$$s_2(t) = s_1(0) \cdot h(t) + \int_0^t h(t-x) \cdot s_1'(x) \cdot dx$$

$$s_2(t) = s_1(0) \cdot h(t) + \int_0^t h(x) \cdot s_1'(t-x) \cdot dx$$

$$s_2(t) = s_1(t) \cdot h(0) + \int_0^t g(t-x) \cdot s_1(x) \cdot dx$$

$$s_2(t) = s_1(t) \cdot h(0) + \int_0^t g(x) \cdot s_1(t-x) \cdot dx$$

■ При известной
импульсной
характеристике цепи

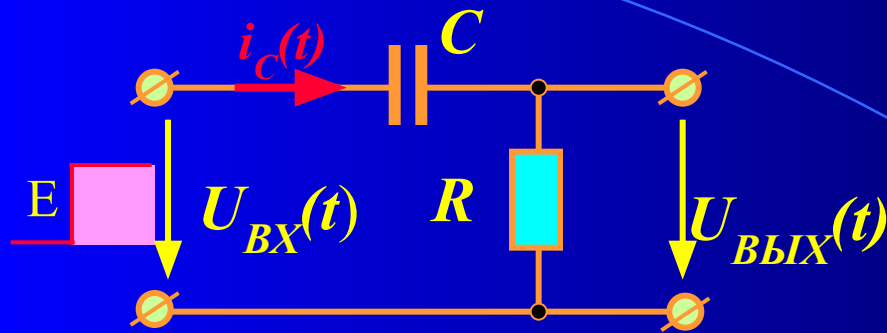
Связь между частотной и импульсной характеристиками ЭЦ

$$K(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$

$$p = j\omega$$

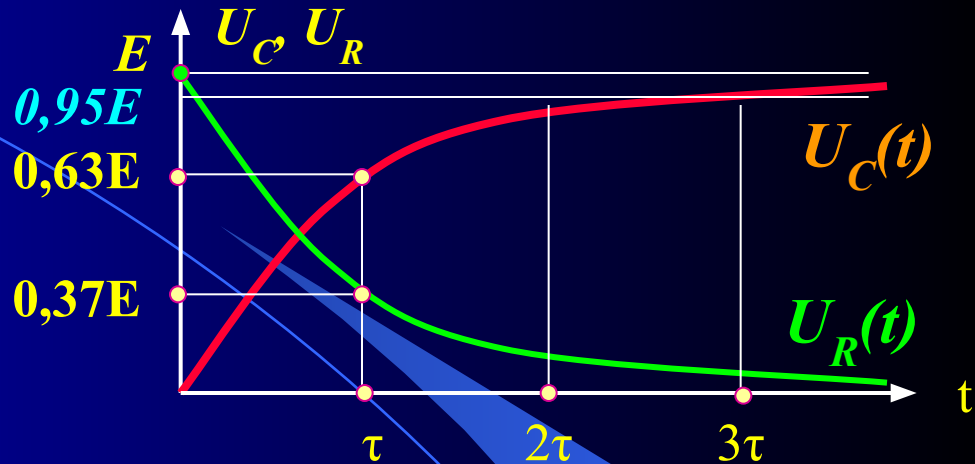
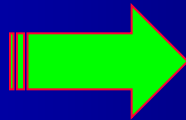
$$K(p) = \int_0^{\infty} g(t) \cdot e^{-pt} dt$$

2. Дифференцирующие цепи



$$i_C(t) = C \frac{dU_C(t)}{dt}$$

Выходное напряжение снимается с резистора



$$u_{BЫX}(t) = i \cdot R = RC \frac{dU_C(t)}{dt} = \tau \frac{dU_C(t)}{dt}$$

С учетом того, что $U_C(t) = U_{BX} - U_{BЫX}$, имеем

$$u_{BЫX}(t) = \tau \frac{dU_C(t)}{dt} = \tau \frac{dU_{BX}(t)}{dt} - \tau \frac{dU_{BЫX}(t)}{dt}$$

Полезный эффект

Ошибка

При правильном подборе величины τ ЭЦ осуществляет безошибочное дифференцирование только в том случае, если на ее входе действует напряжение, изменяющееся с постоянной скоростью (включая и нулевую).

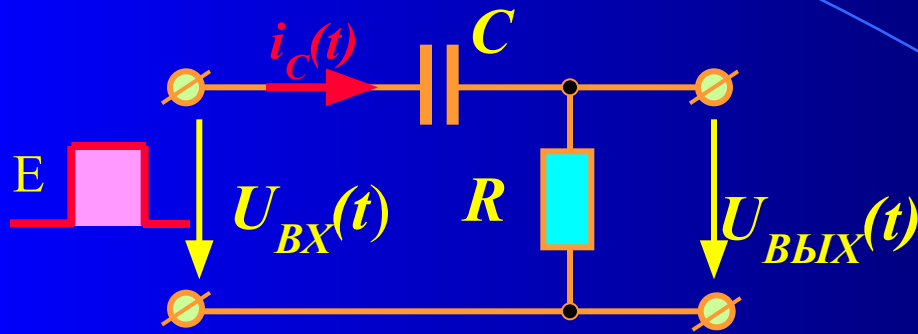
Условие дифференцирования сигналов



$$\omega \cdot \tau \gg 1$$

$$\omega \cdot \tau \leq 0,1$$

Реакция цепи на прямоугольный импульс

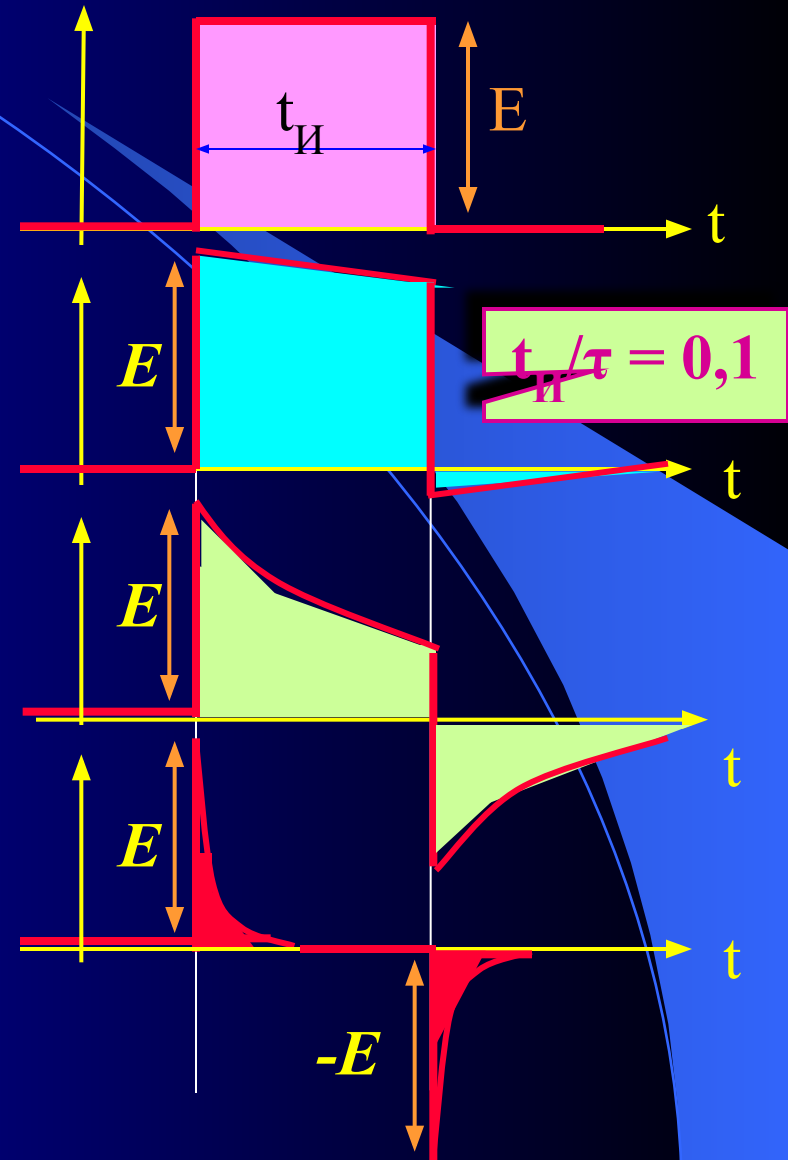


Переходная характеристика дифференцирующей цепи

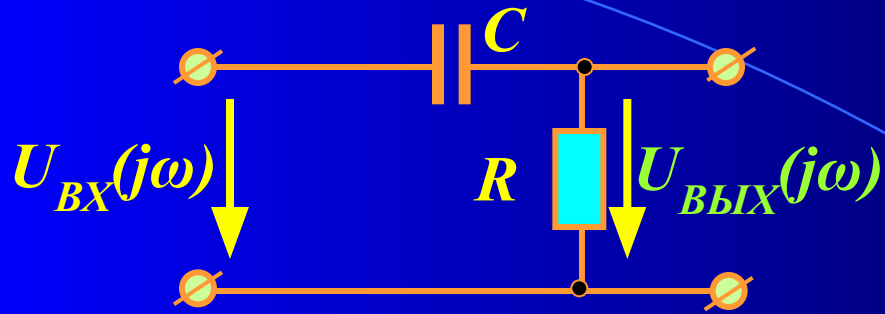
$$h_{ДЦ}(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

$$t_{И}/\tau = 1$$

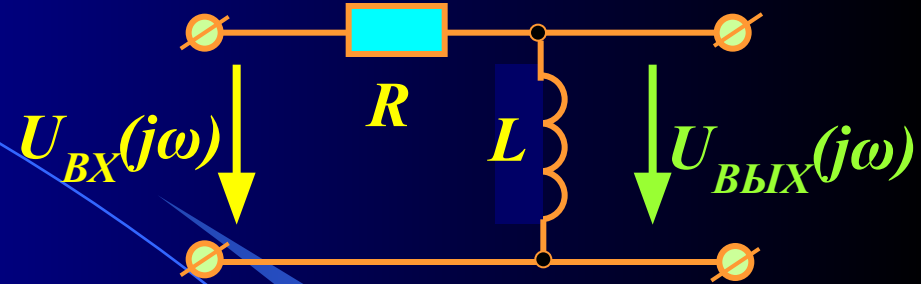
Эффект дифференцирования
 $t_{И}/\tau = 10$ (постоянная времени ЭЦ должна быть много меньше длительности импульса)



Частотные характеристики дифференцирующей цепи



$$K_{CR}(j\omega) = \frac{U_{BYX}(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} = \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega RC}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega\tau}}$$

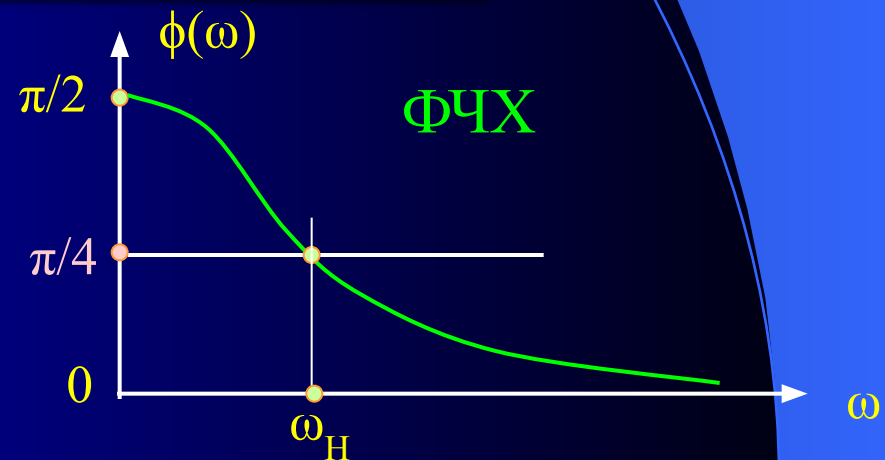
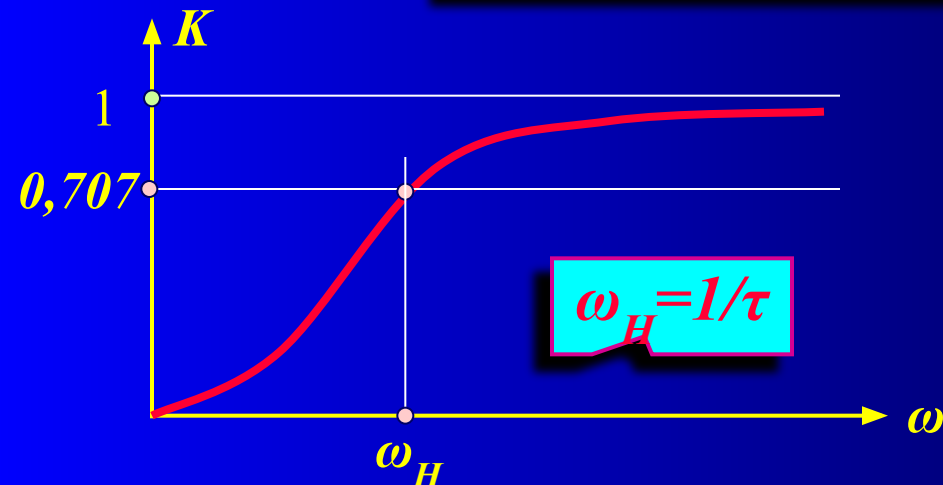


$$K_{RL}(j\omega) = \frac{U_{BYX}(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} = \frac{j\omega L}{R + j\omega L} = \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega\tau}}$$

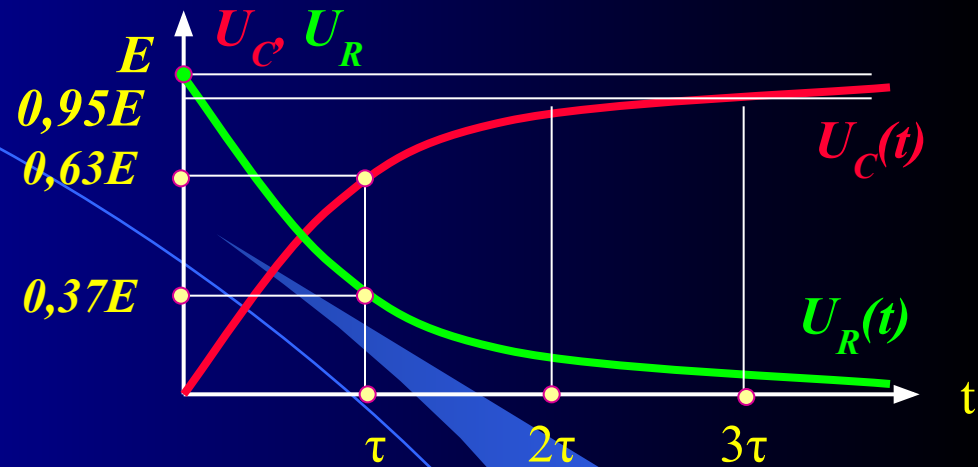
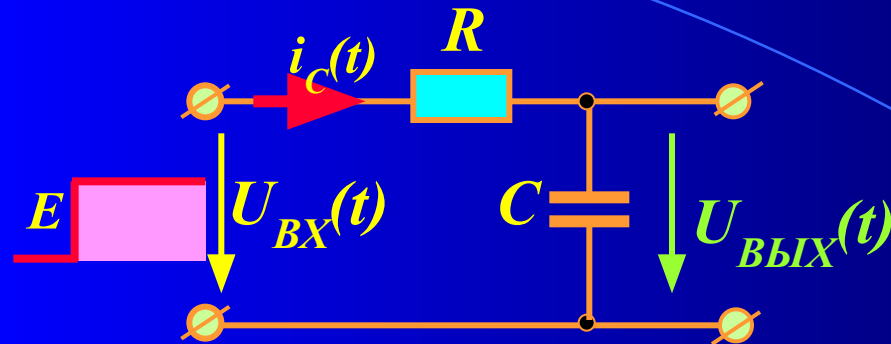
$$\omega_H = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}$$

$$K_{ДЦ}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega \cdot \tau)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_H}{\omega}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_H}{f}\right)^2}}$$

$$\omega_H = \frac{1}{\tau} = \frac{R}{L}$$



3. Интегрирующие цепи



$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i_C(t) dt$$

$$u_C(t) = E(1 - \exp(-\frac{t}{\tau})), \text{ при } t \geq 0$$

Если время интегрирования t много меньше постоянной времени цепи $\tau = RC$, то за время t напряжение $u_C(t)$ не успевает заметно измениться, и ток $i_C(t)$ приблизительно пропорционален $u_{BX}(t)$, а выходное напряжение

$$u_{ВЫХ}(t) = u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i_C(t) dt = \frac{1}{RC} \int_0^t u_{BX}(t) dt - \frac{1}{RC} \int_0^t u_C(t) dt$$

Полезная составляющая
интегрирования

Погрешность
интегрирования

$t \ll \tau$

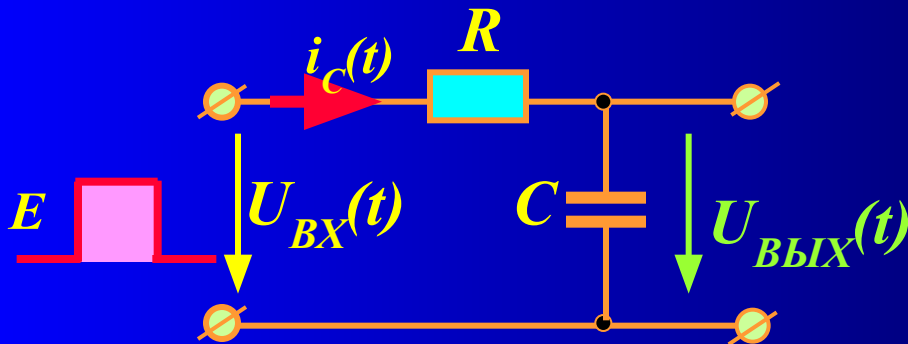
$$u_{BIX}(t) = u_C(t) = E(1 - \exp(-\frac{t}{\tau})) \approx E \frac{t}{\tau} - \frac{1}{2} (\frac{t}{\tau})^2$$

Условие интегрирования сигналов

$$\omega \cdot \tau \ll 1$$

$$\omega \cdot \tau \geq 10$$

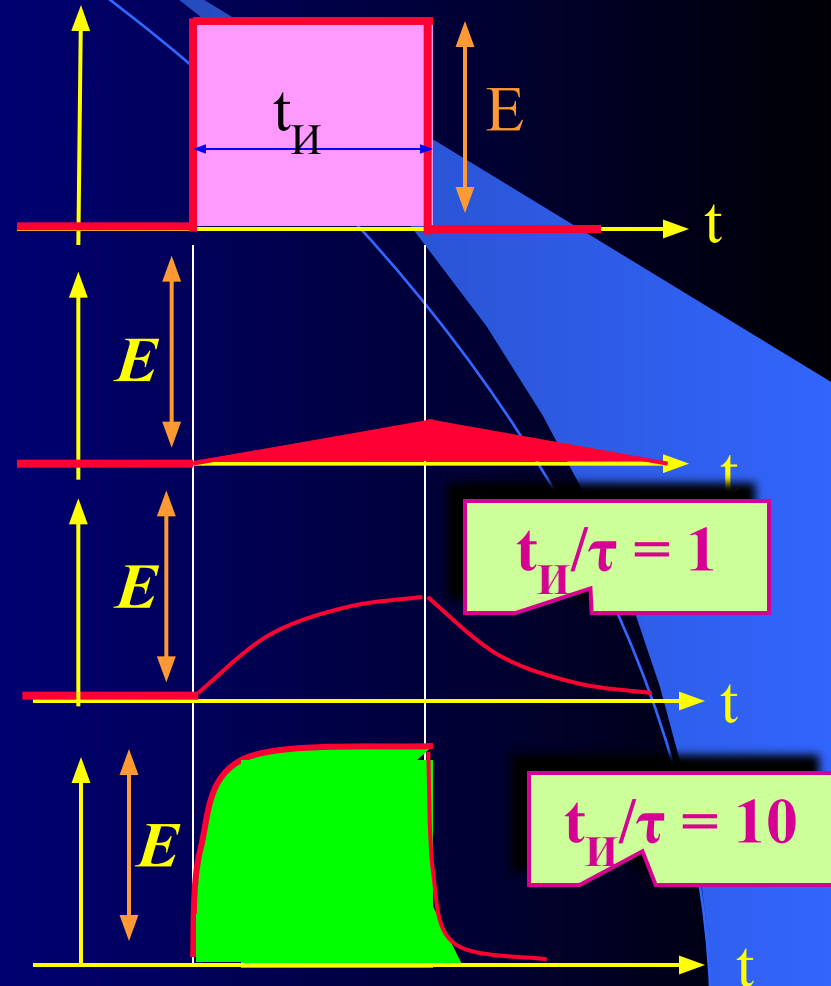
Реакция цепи на прямоугольный импульс



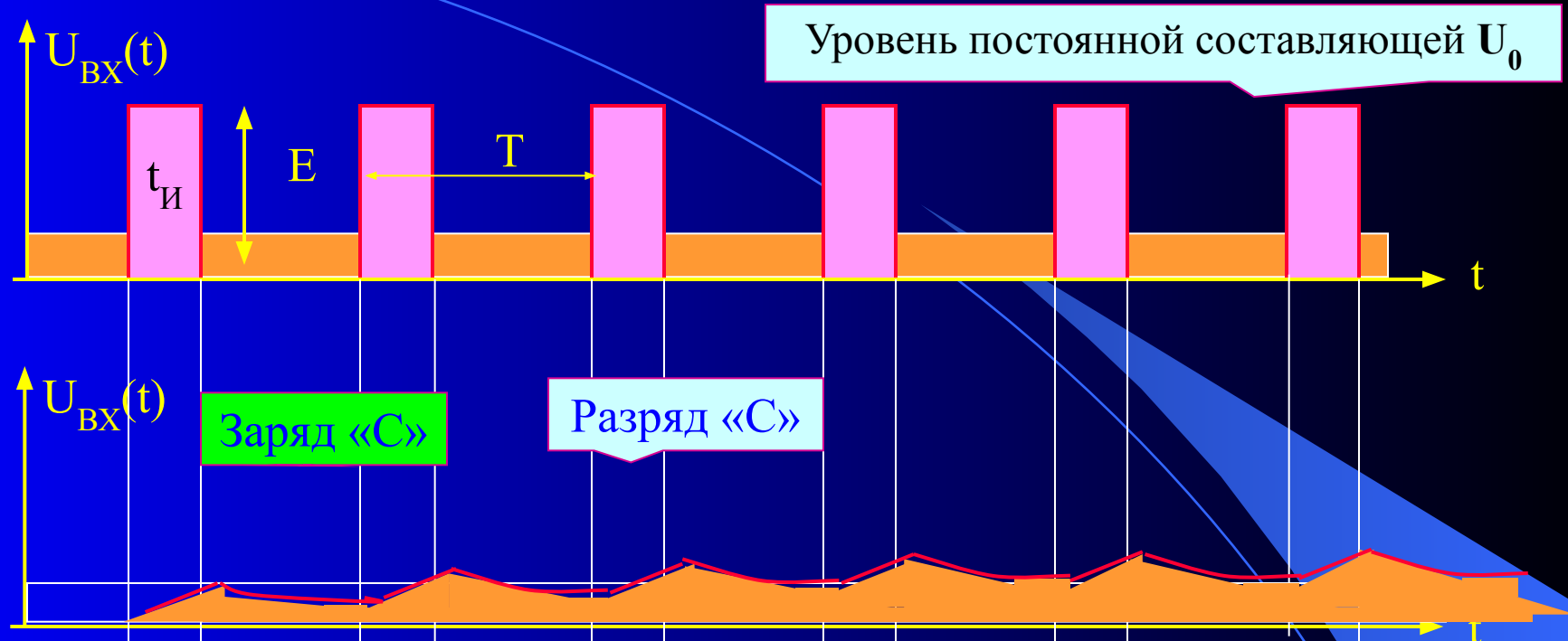
Эффект интегрирования
 $t_{И}/\tau = 0,1$ (постоянная времени ЭЦ должна быть много больше длительности импульса)

Переходная характеристика интегрирующей цепи

$$h_{ИЦ}(t) = 1 - \exp(-\frac{t}{\tau})$$



Интегрирование импульсной последовательности



$$u_{1mC}(t) = U_{m_{BX}} \left(1 - \exp\left(-\frac{t_{И}}{\tau}\right)\right) \approx U_{m_{BX}}$$

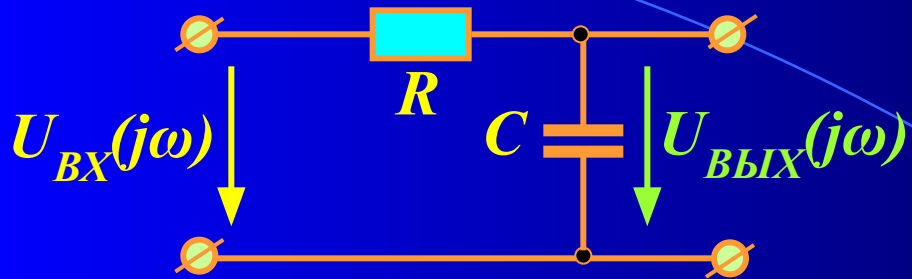
$$u_{1C_{OCT}}(t) = U_{1C} \cdot \exp\left(-\frac{t_{И}}{\tau}\right)$$

$$u_{2mC}(t) = U_{1OCT} + (U_{m_{BX}} - U_{1OCT}) \left(1 - \exp\left(-\frac{t_{И}}{\tau}\right)\right)$$

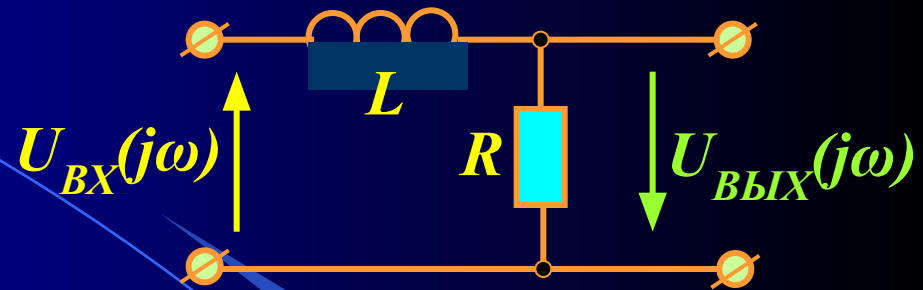
$$U_0 = U_{m_{BX}} \cdot \frac{t_{И}}{T} = \frac{1}{q} U_{m_{BX}}$$

Таким образом, напряжение на выходе интегрирующей цепи равно среднему значению входного напряжения, т.е. его постоянной составляющей.

Частотные характеристики интегрирующей цепи



$$K_{RC}(j\omega) = \frac{U_{BIX}(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$$

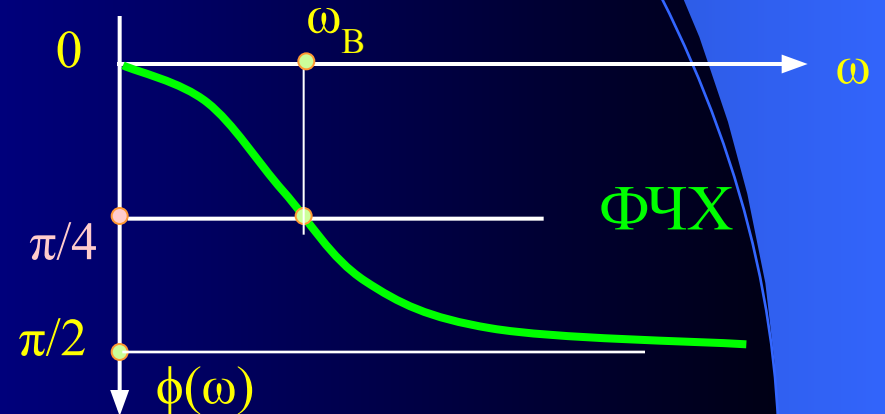
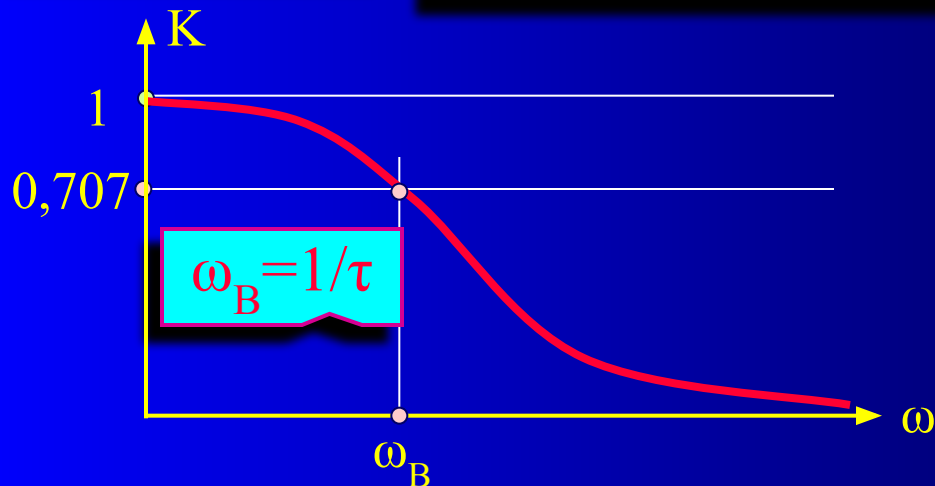


$$K_{LR}(j\omega) = \frac{U_{BIX}(j\omega)}{U_{BX}(j\omega)} = \frac{R}{R + j\omega L} = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$$

$$\omega_B = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}$$

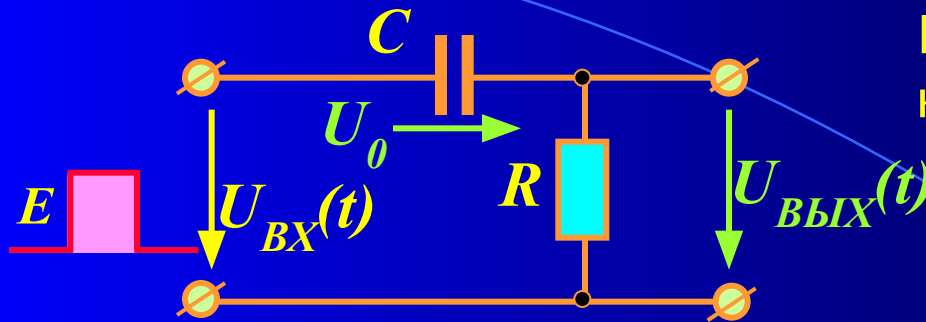
$$K_{\text{мц}}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega \cdot \tau)^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_B}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_B}\right)^2}}$$

$$\omega_B = \frac{1}{\tau} = \frac{R}{L}$$



4. Разделительные цепи

Рассмотрим цепь по внешнему виду как дифференцирующую, у которой

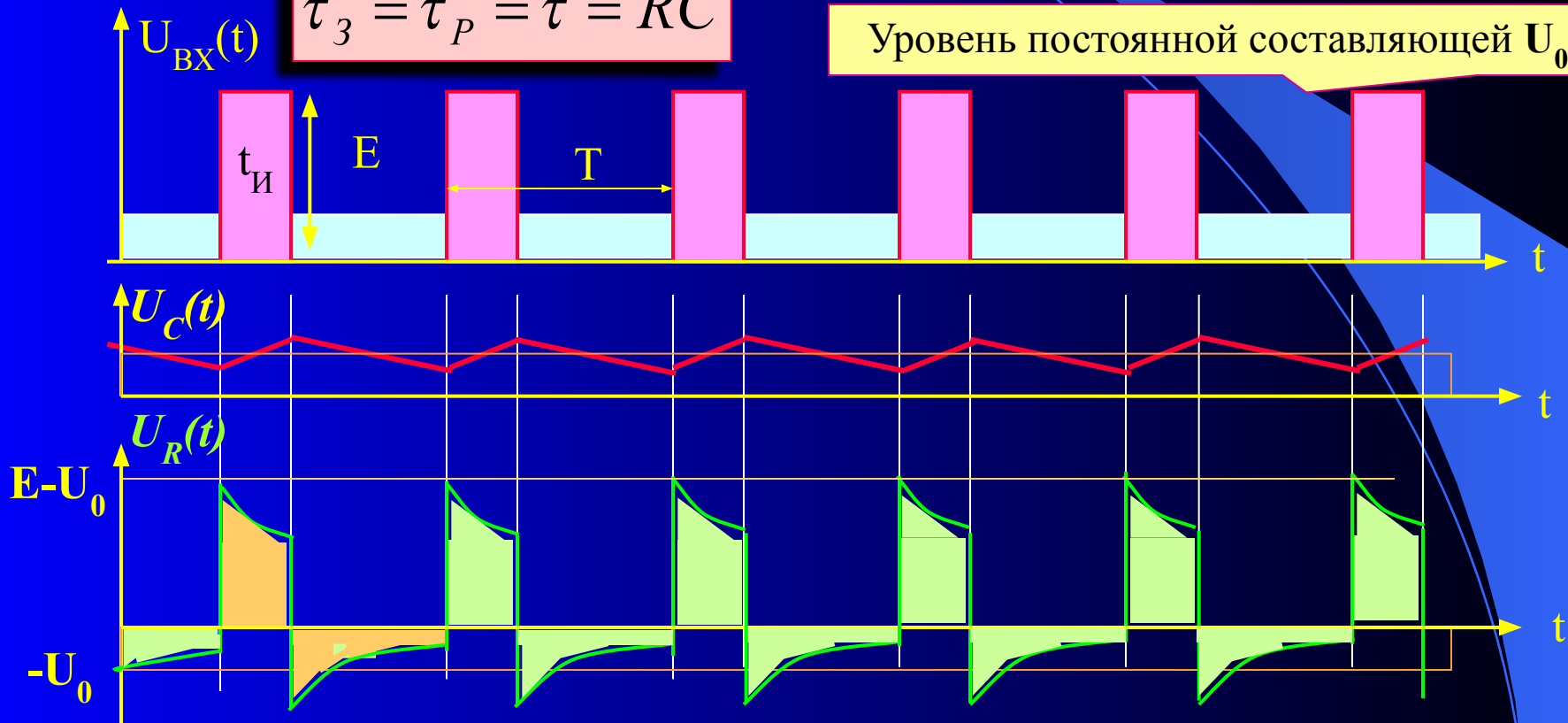


$$\tau \ll t_{И}$$

$$\frac{\tau}{t_{И}} \geq 10$$

$$\tau_3 = \tau_P = \tau = RC$$

Уровень постоянной составляющей U_0



За счет разделительного конденсатора входное напряжение теряет постоянную составляющую: напряжение на выходе цепи не содержит ее.

Задание на самостоятельную работу

Литература:

1. Бакалов В.П., Игнатов А.Н., Крук Б.И. Основы теории электрических цепей и электроники: *Учебник для вузов*, - М.: Радио и связь, 1999 г, с. 103 –112.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: *Учебник для вузов*, - М.: Высшая школа, 2004 г, с. 450 – 468.
3. Бычков Ю.А., Золотницкий В.М., Чернышев Э.П. Основы теории электрических цепей: *Учебник для вузов*, - СПб.: Издательство «Лань» 2002 г, с. 194 –202.