

Физические основы электрографии



лекция №8

для студентов 1 курса, обучающихся по
специальности 31.05.02 - Педиатрия

к.п.н., доцент Шилина Н.Г.
Красноярск, 2019

План лекции:

- Виды поляризации диэлектриков.
- Цепь переменного тока с активным, емкостным и индуктивным сопротивлениями.
- Импеданс. Векторная диаграмма.
- Импульсы. Виды, параметры импульсов. Импульсный ток.
- Электромагнитная волна. Вектор Умова-Пойтинга.

Классы диэлектриков

1. с полярными молекулами

(вода, нитробензол и др.) обладают электрическим моментом диполя даже в случае, когда электрического поля нет

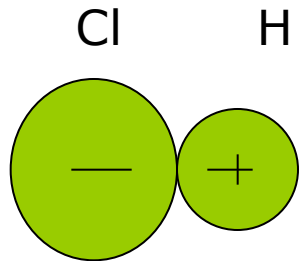
2. с неполярными молекулами

(водород, кислород и др.) при отсутствии электрического поля не имеют дипольных моментов.

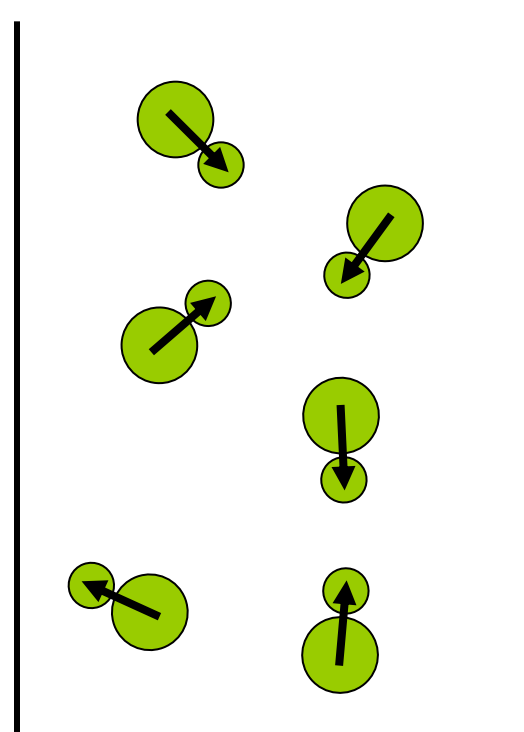
3. кристаллические

(например, NaCl)

Полярные молекулы



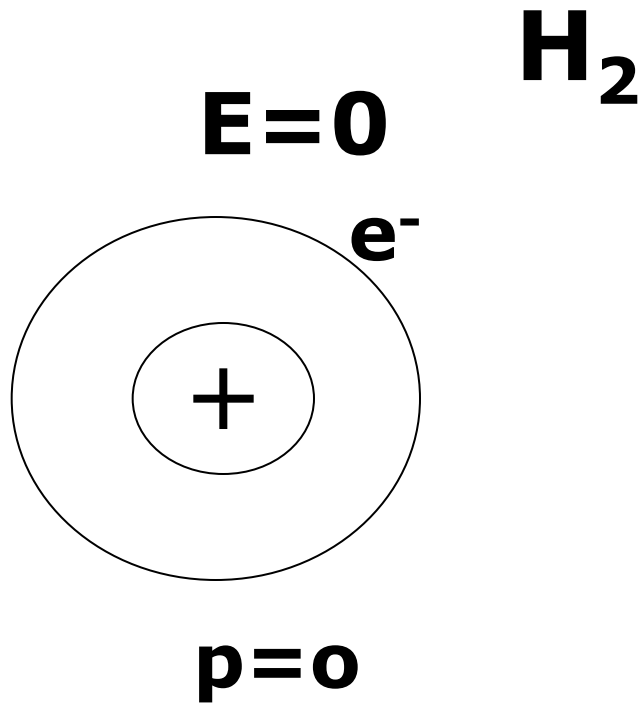
$$\bar{P} = ql$$



$$E=0$$

Результирующий дипольный момент равен нулю

Неполярные молекулы



Поляризация диэлектрика

Процессы, происходящие в разных диэлектриках, находящихся в электрическом поле, объединяют общим термином **поляризация**.

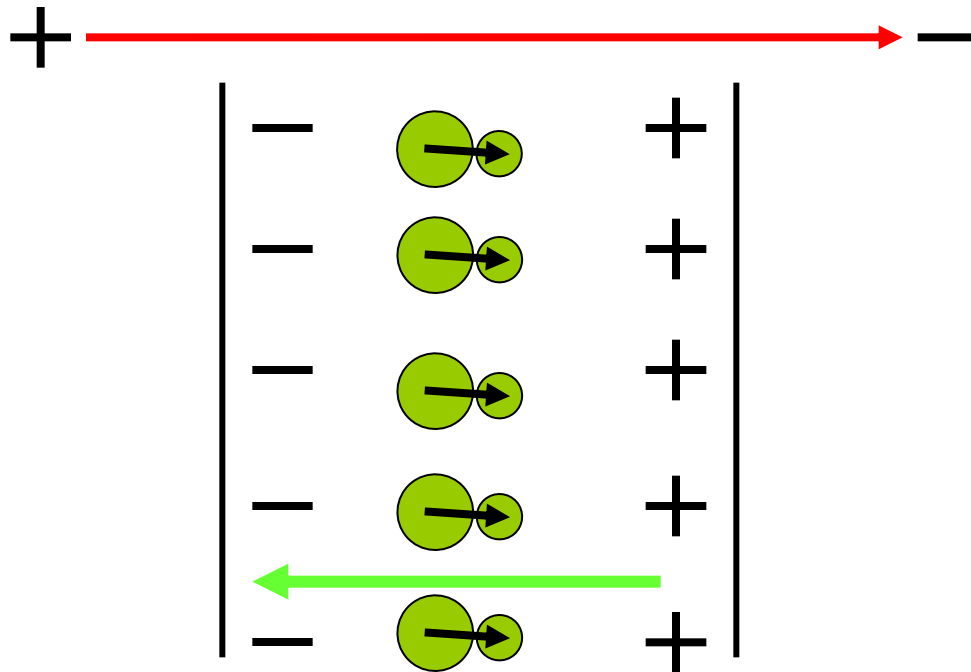
ВИДЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ:

1. ориентационная;
2. электронная, т.е. смещение главным образом электронов;
3. ионная.

Ориентационная поляризация

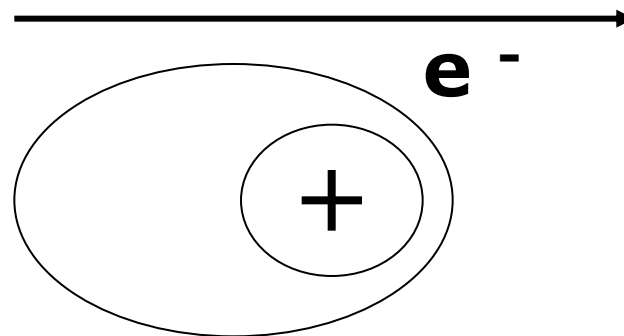


$E \neq 0$



Электронная поляризация

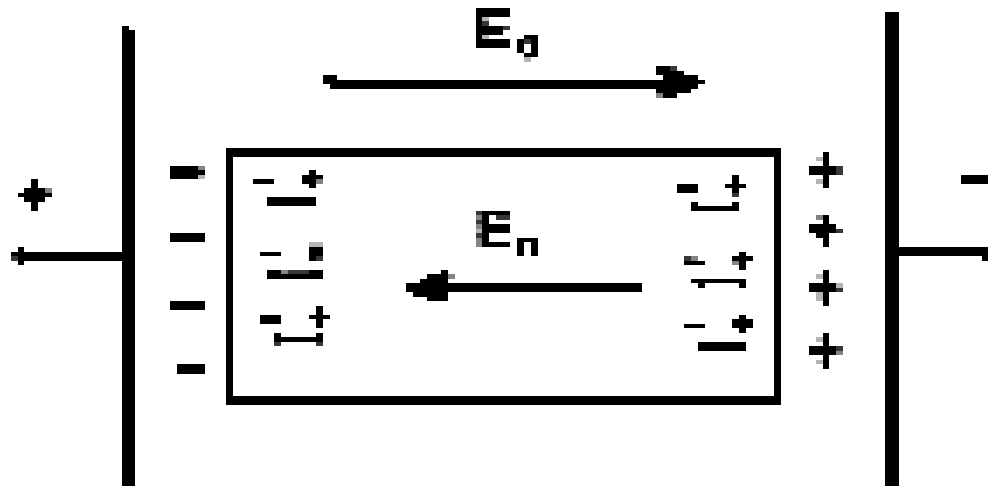
Молекула водорода H_2



$$p \neq 0$$

Компенсация внешнего электрического поля в диэлектрике

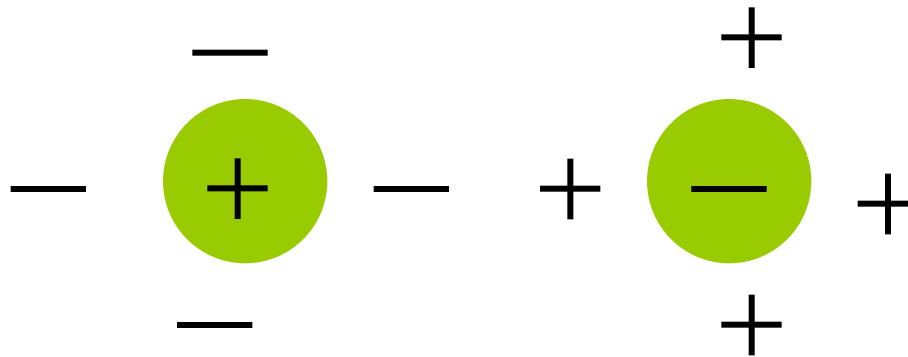
Поле внутри диэлектрика уменьшается **не до нуля.**



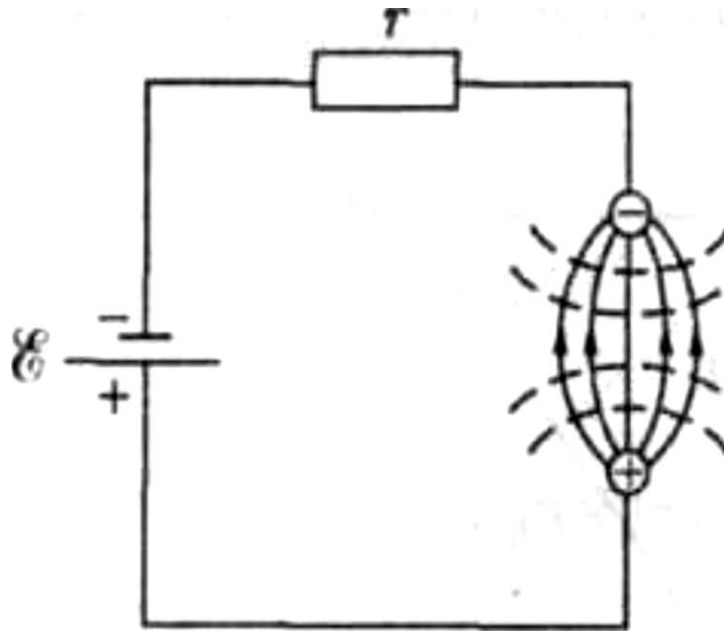
$$E = E_0 - E_n \quad \epsilon = E_0 / E$$

Электрический диполь в проводящей среде

- Диполь экранируется или нейтрализуется

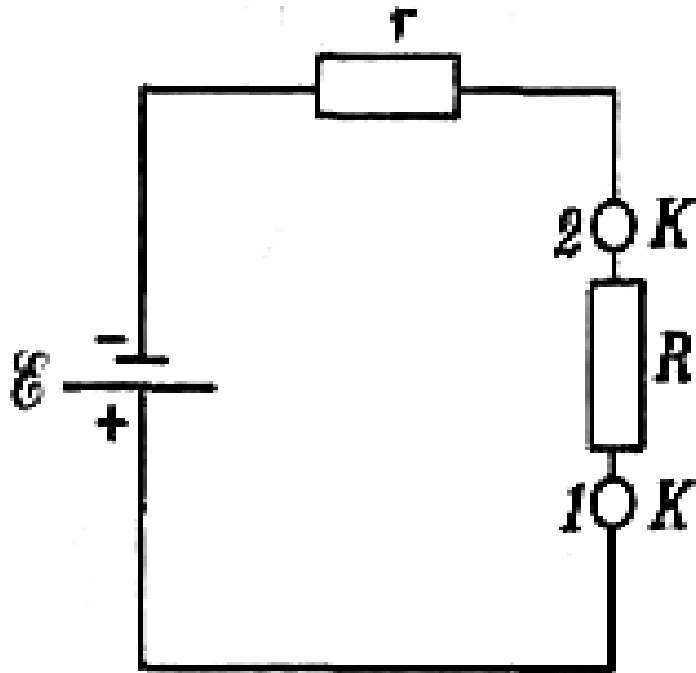


Токовый диполь



Проводящая среда

ТОКОВЫЙ ДИПОЛЬ



$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{r}$$

R — эквивалент сопротивления проводящей среды, r — внутреннее сопротивление источника, ε — ЭДС источника;
электроды: 1 — исток тока, 2 — сток тока

Токовый диполь это-

двухполюсная система в проводящей среде, состоящая из **источка и стока тока**.

Иногда называется **дипольным электрическим генератором**

Дипольный момент $\vec{p}_T = I \vec{l}$

I -ток в диполе, равный току во внешней среде

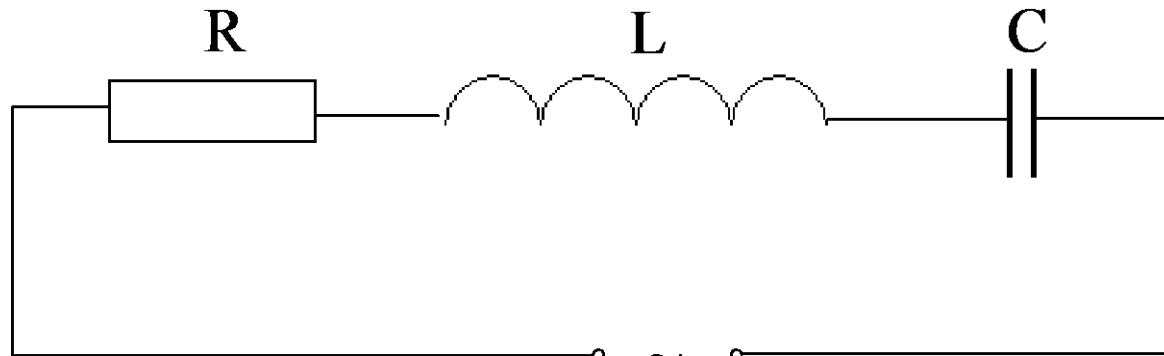
l – расстояние между электродами

Потенциал токового диполя в точке А,
удаленный от него на расстояние $r \gg 1$

$$\varphi_T = \frac{p_T \cos \alpha}{4\pi\gamma r^2}$$

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

Переменный ток – вынужденные электромагнитные колебания

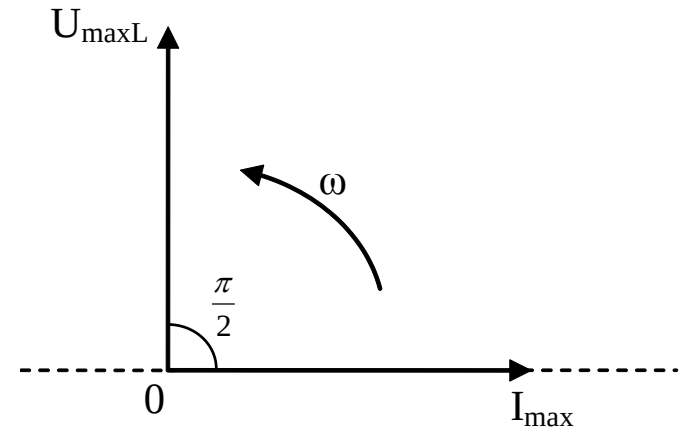
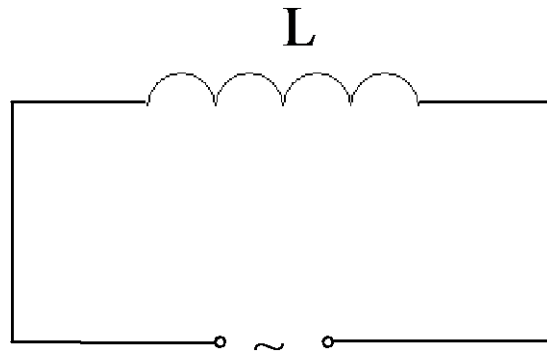


$$U = U_R + \tilde{U}_L + U_C$$

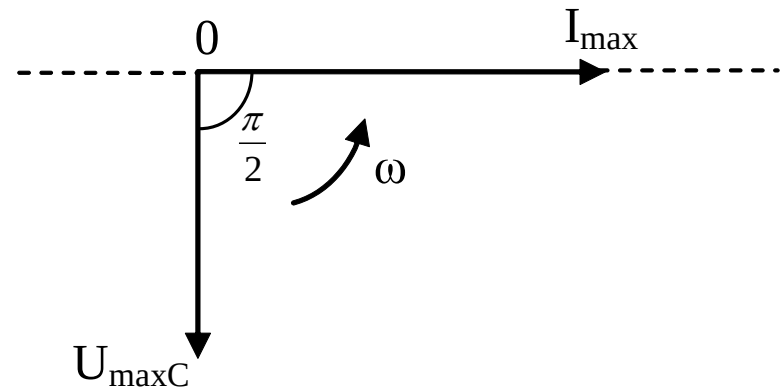
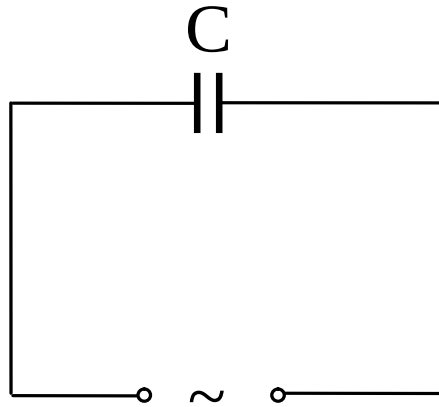
Активное сопротивление R	Индуктивное сопротивление X_L	Емкостное сопротивление X_C
$I = I_{\max} \cos \omega t$ $U = U_{\max} \cos \omega t$	$I_L = I_{\max} \cos \omega t$ $U_L = U_{\max} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$	$I = I_{\max} \cos \omega t$ $U_C = U_{\max} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$

Реактивные сопротивления

$$X_L = \frac{U_{\max L}}{I_{\max L}} = L\omega$$

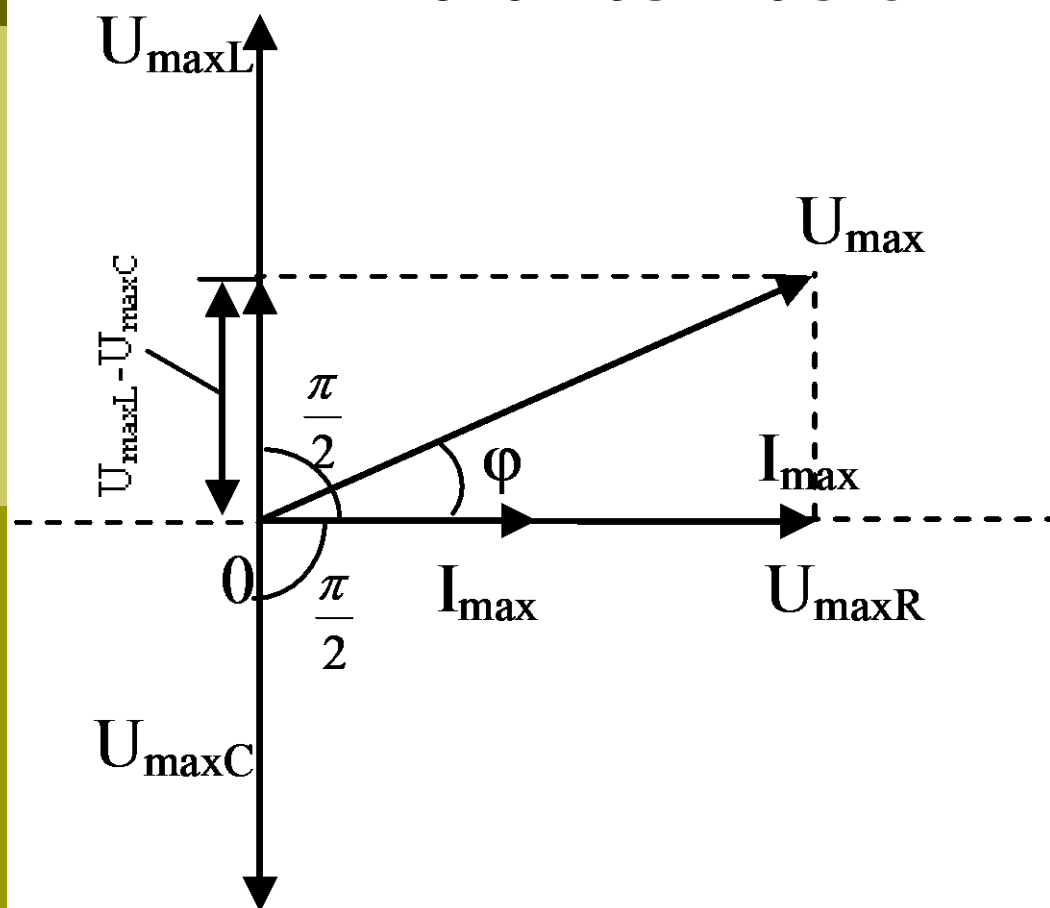


$$X_C = \frac{U_{\max C}}{I_{\max C}} = \frac{1}{C\omega}$$



Импеданс

Полное сопротивление цепи переменного тока называется **импедансом (Z)**.



$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Резонанс напряжения

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = 0$$

Т.к. $U_{\max L} = U_{\max C}$, то $L \omega_{\text{рез}} = \frac{1}{C \omega_{\text{рез}}}$

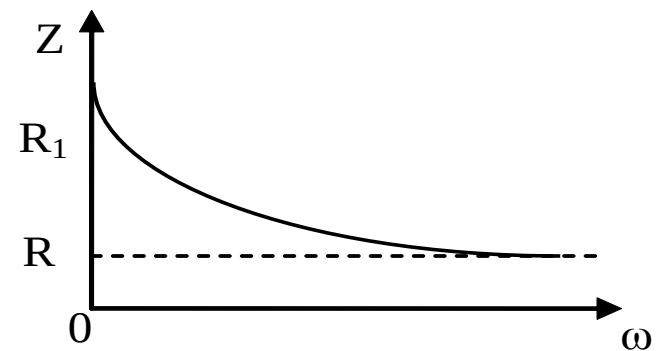
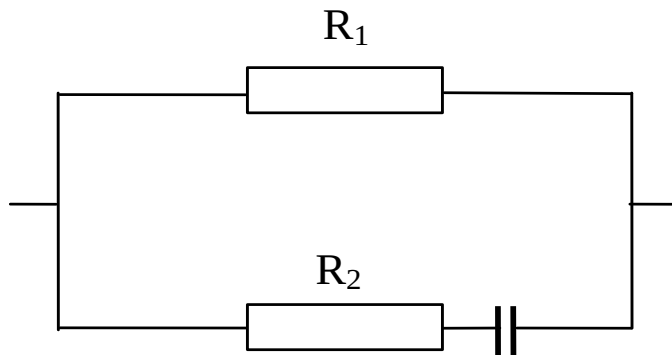
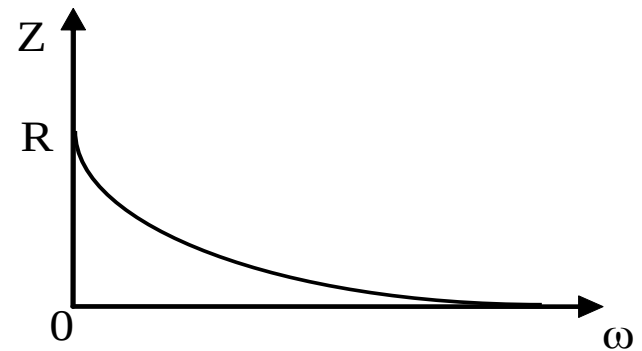
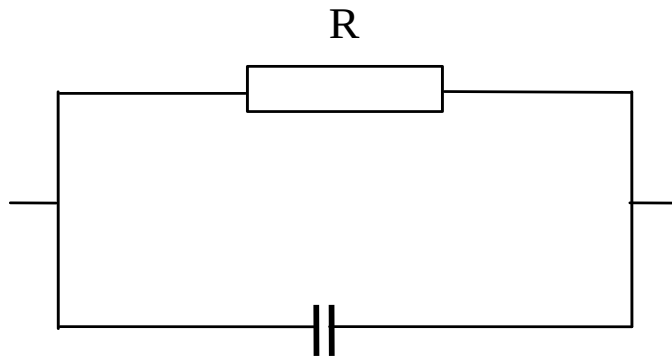
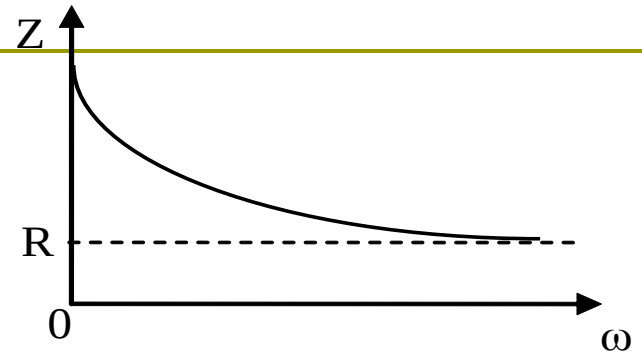
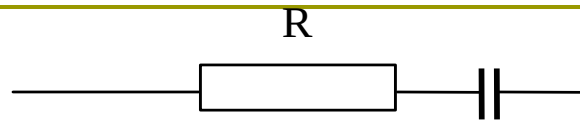
Отсюда: $\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

Импеданс тканей организма

Омическое и емкостное сопротивления.
Сдвиг фаз между током и напряжением.

	ф, град
Кожа человека.....	55
Мышцы кролика.....	65

Эквивалентные схемы



Реография

Реография — неинвазивный метод исследования кровоснабжения органов, в основе которого лежит принцип регистрации изменений электрического сопротивления тканей в связи с меняющимся кровенаполнением.

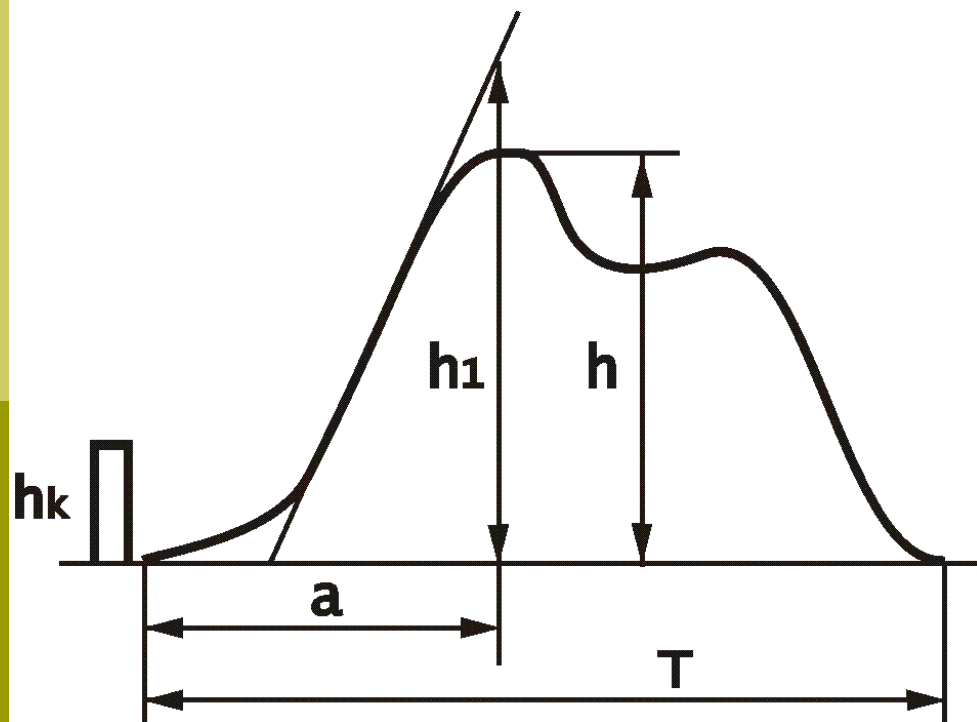
Чем **больше** приток крови к тканям, тем **меньше** их сопротивление.

Для получения реограммы через тело пациента пропускают переменный ток частотой 50-100кГц, малой силы (не более 10 мкА), создаваемый специальным генератором.

Физические основы реографии

$$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{\Delta Z}{Z}$$

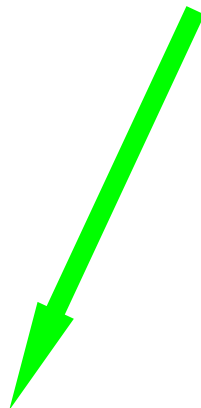
Формула Кедрова



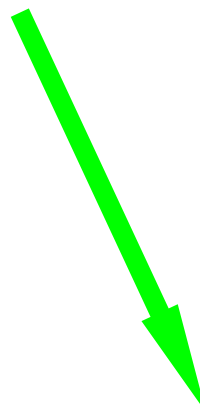
h —амплитуда реограммы;
 h_1 — амплитуда для расчета ударного объема крови;
 a — длительность восходящей части реограммы;
 T —период реограммы;
 h_k —высота калибровочного импульса.

Электрический импульс

Кратковременное изменение электрического напряжения или силы тока называется электрическим импульсом.



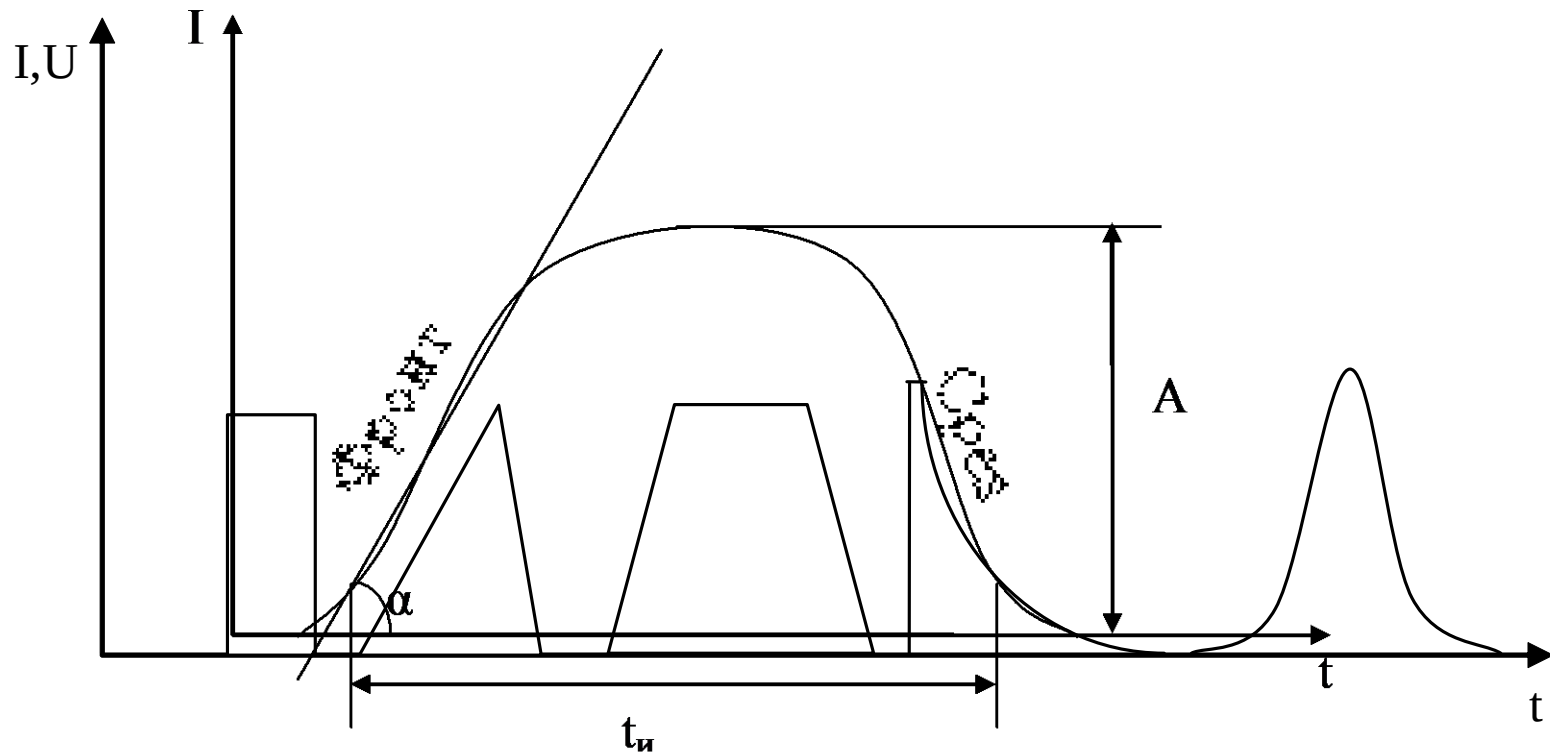
Видеоимпульсы



Радиоимпульсы

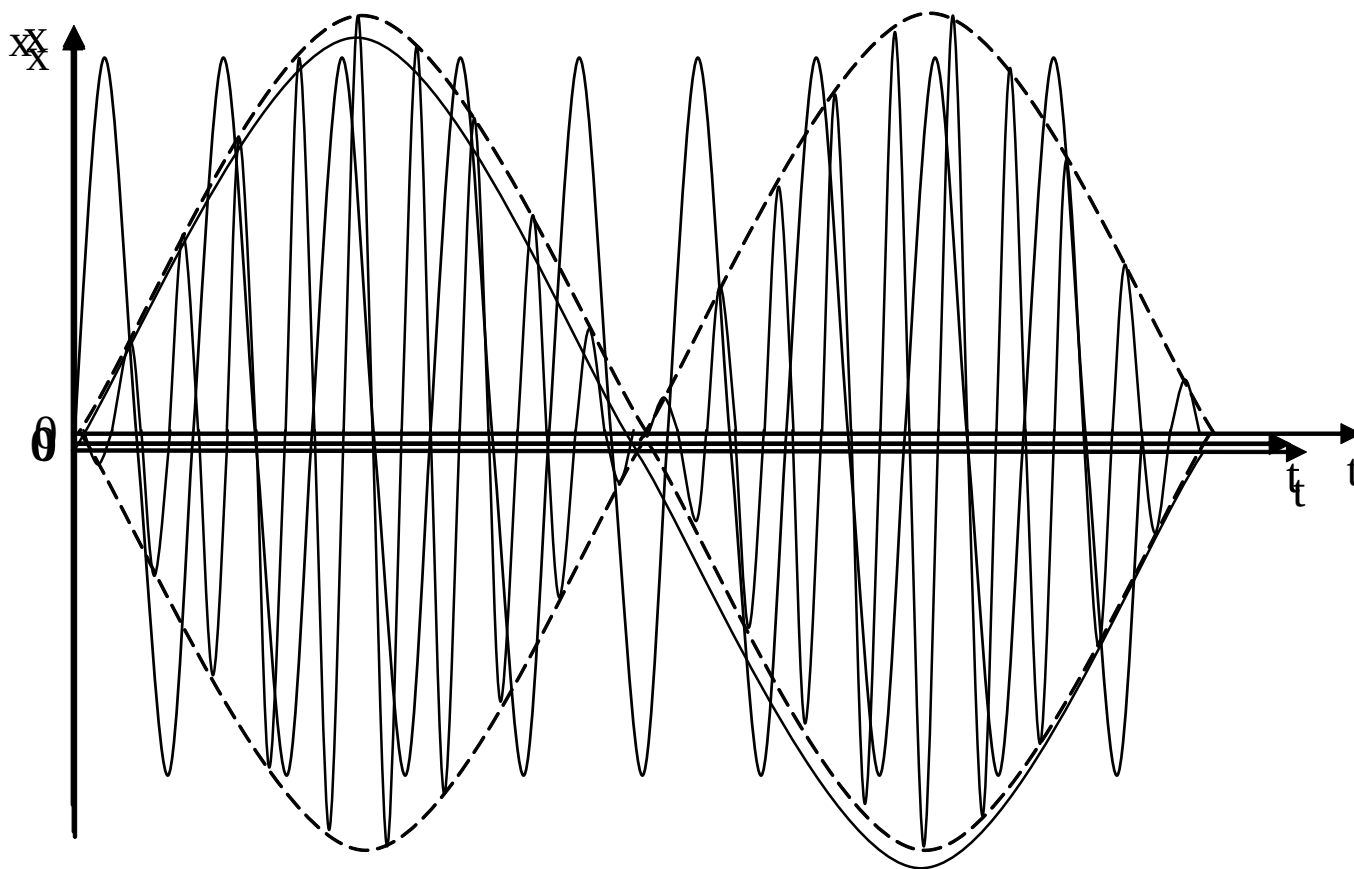
Видеоимпульсы

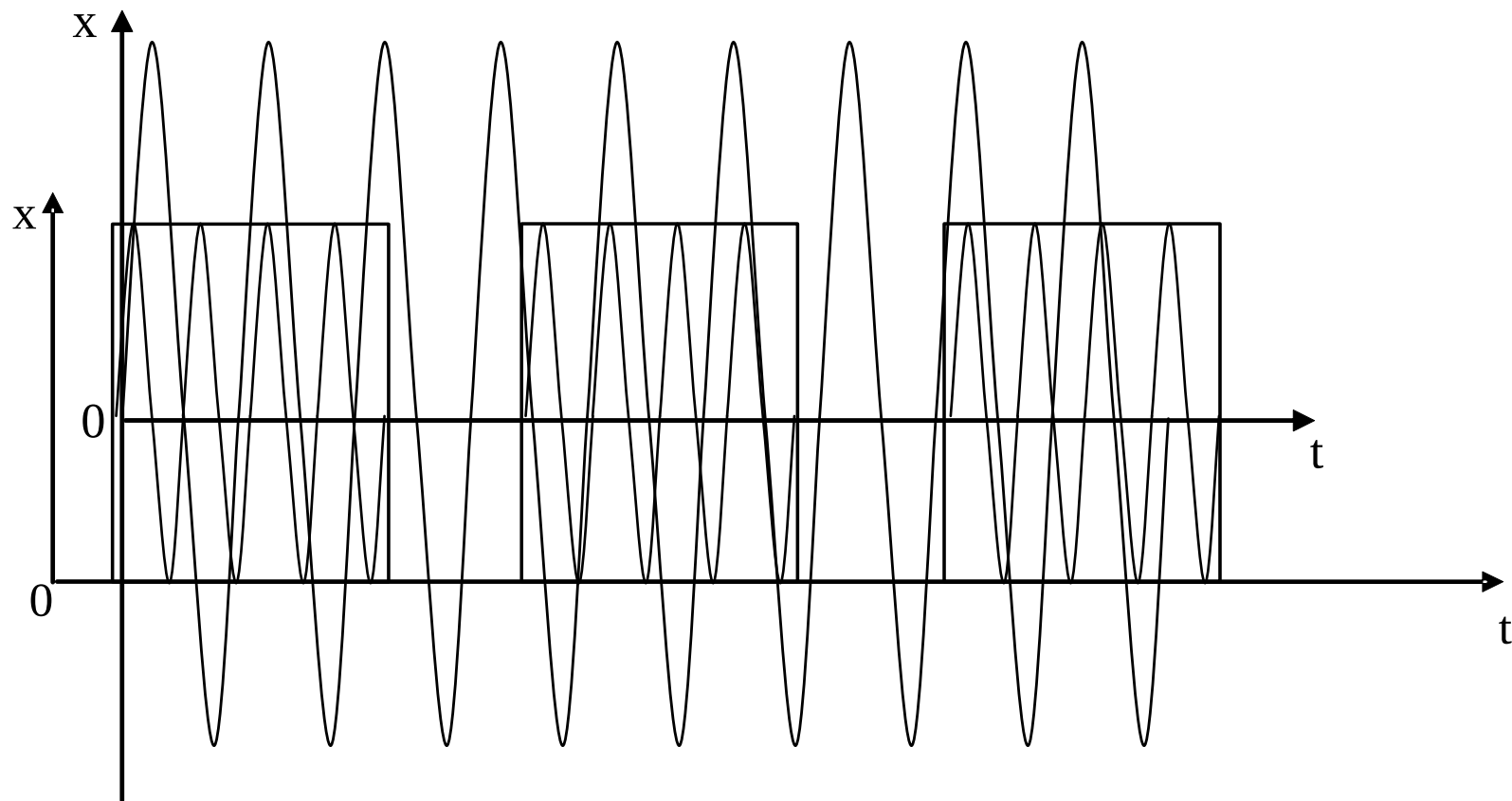
Видеоимпульсы имеют одну полярность.



Радиоимпульсы

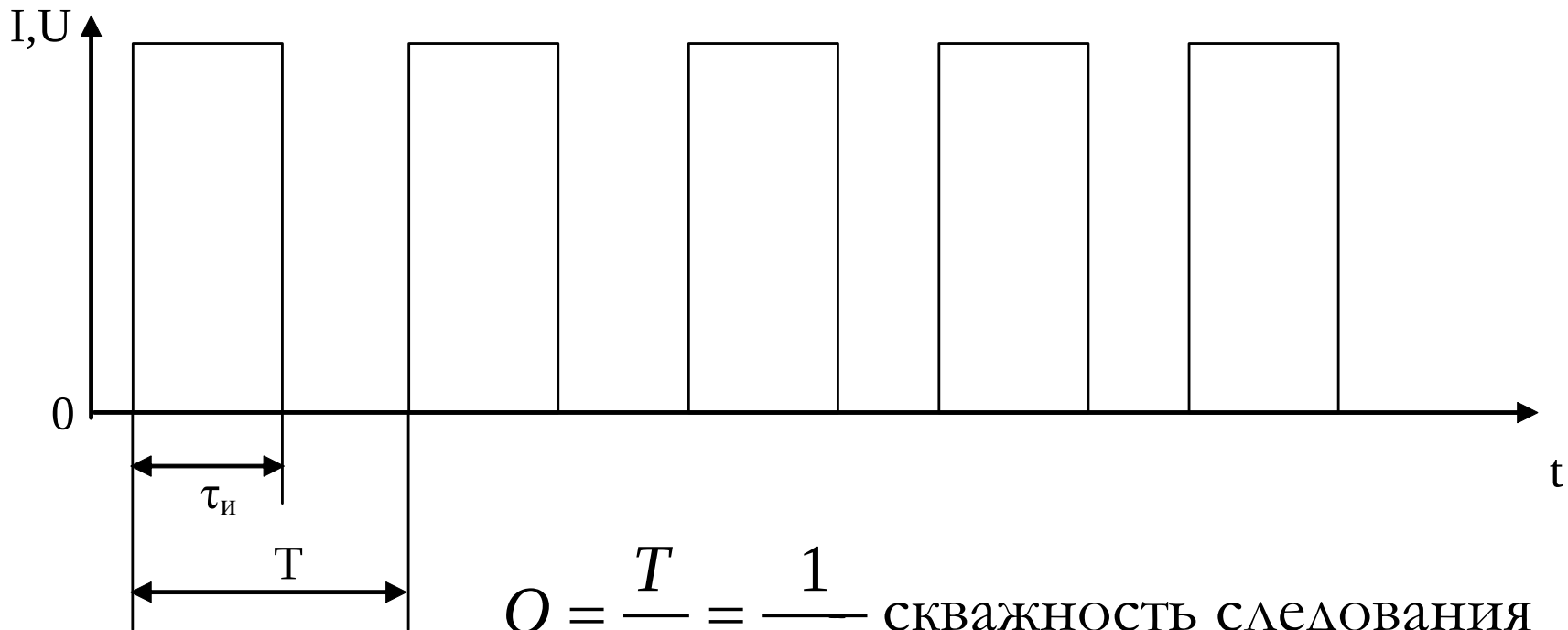
Радиоимпульс – это модулированные электромагнитные колебания.





Импульсный ток

Повторяющиеся импульсы называют импульсным током.

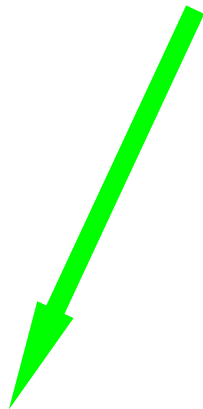


$$Q = \frac{T}{\tau_u} = \frac{1}{f \tau_u}$$

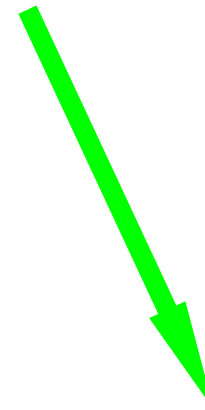
скважность следования
импульсов

Линейные цепи

Цепи, состоящие из R , L , C называются линейными, т.к. они не искажают форму гармонического сигнала, но изменяют форму импульсного сигнала.

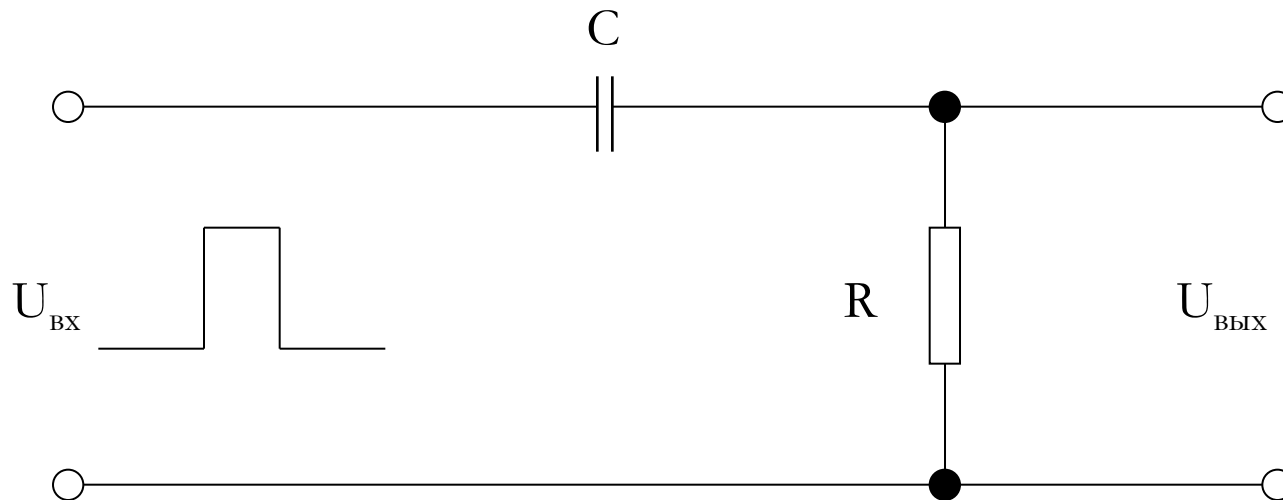


Дифференцирующая цепь

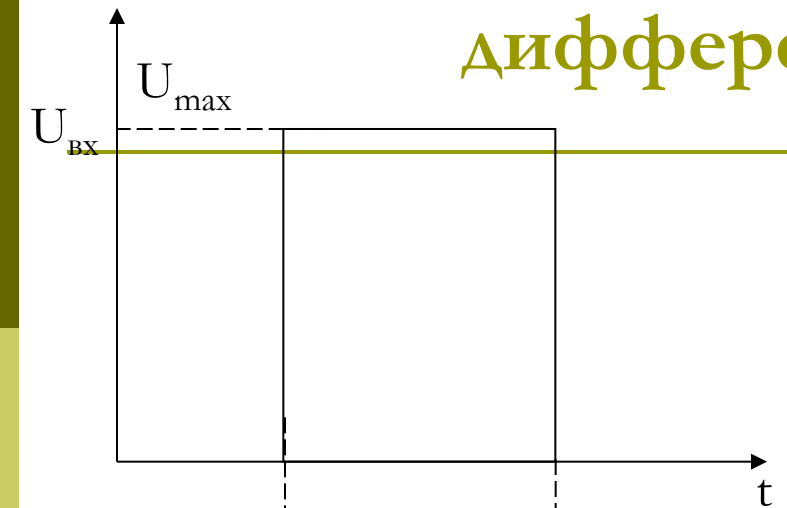


Интегрирующая цепь

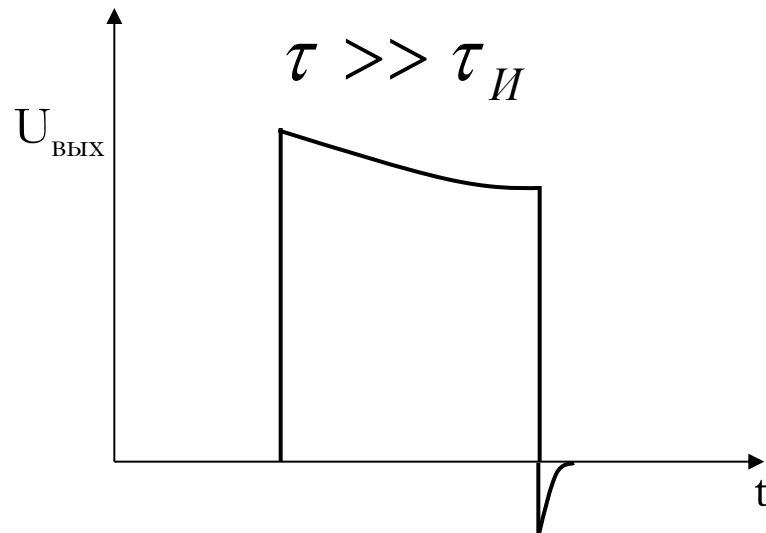
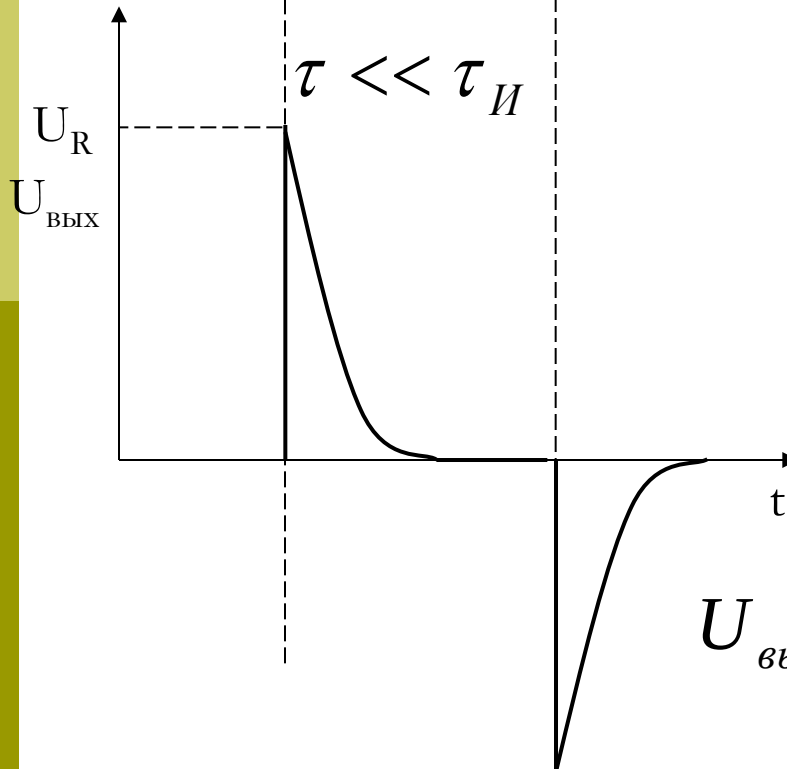
Дифференцирующая цепь



Прохождение сигнала через дифференцирующую цепь

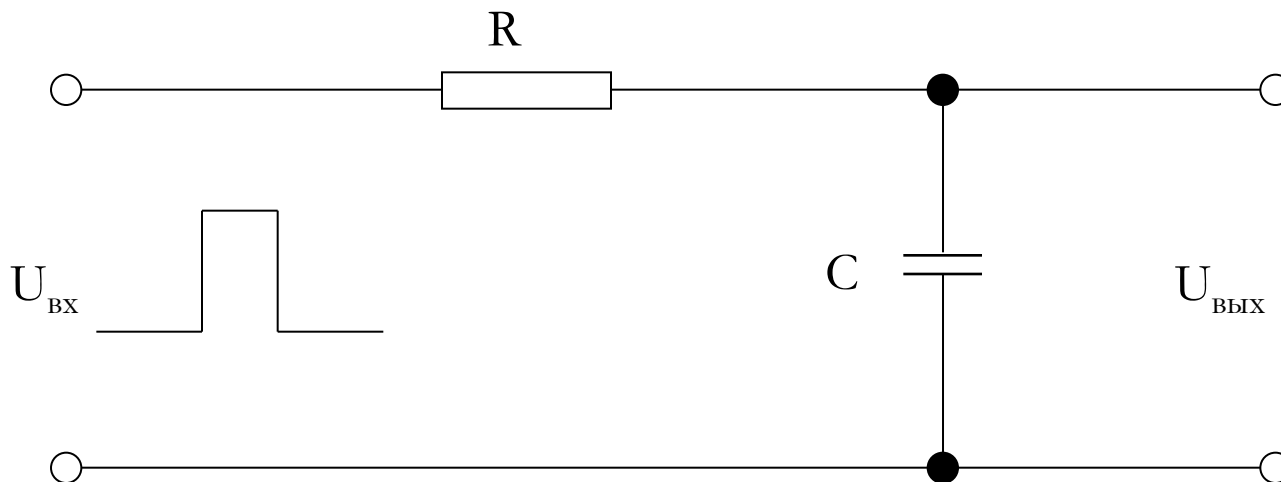


$$\tau = RC$$

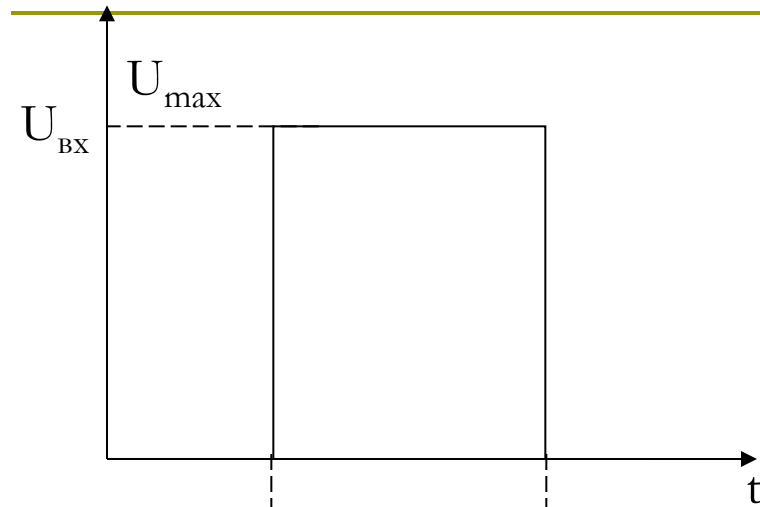


$$U_{\text{вых}} \approx RC \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$$

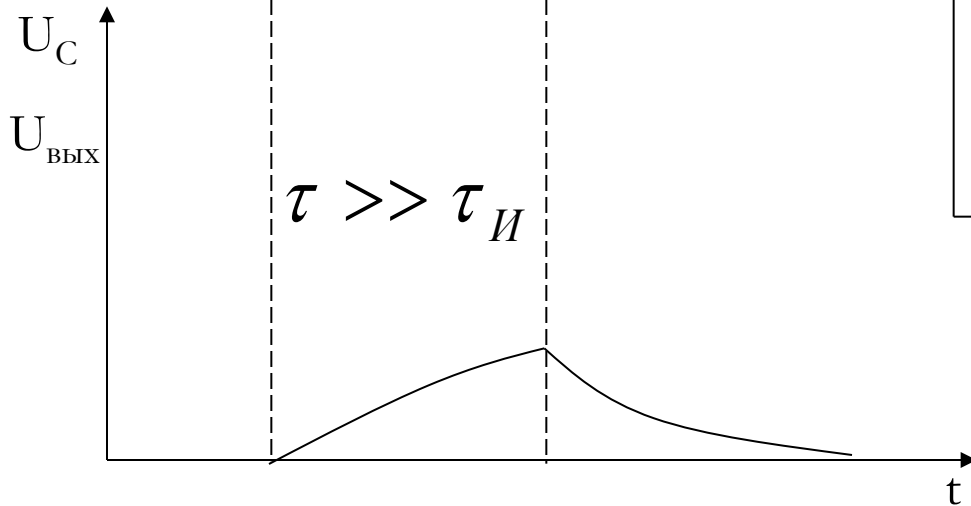
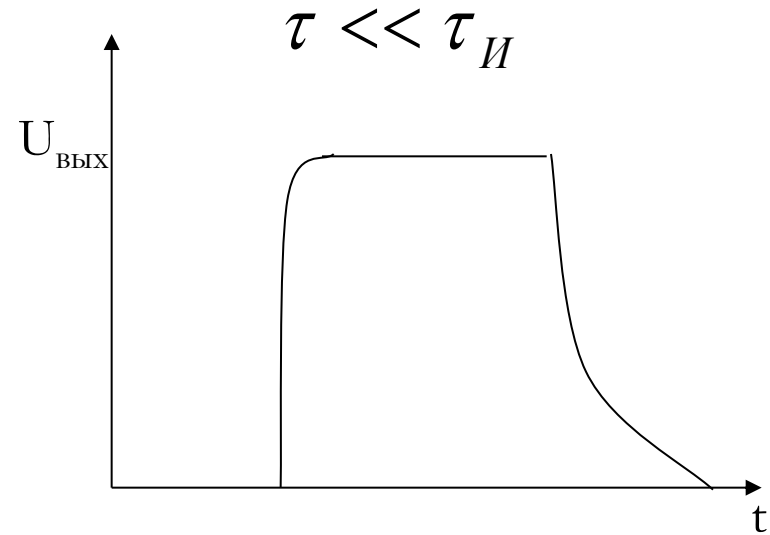
Интегрирующая цепь



Прхождение сигнала через интегрирующую цепь



$$\tau = RC$$

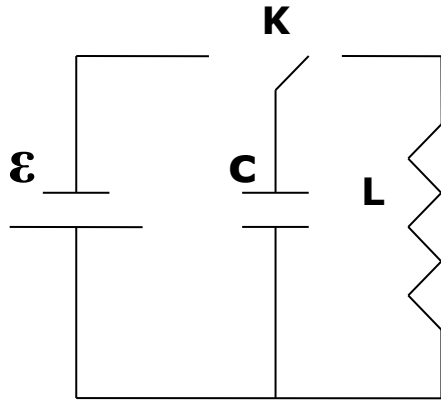


$$U_{\text{вых}} = \frac{1}{RC} \int U_{\text{ex}} dt$$

Электромагнитные колебания и ВОЛНЫ

- это периодические взаимосвязанные изменения зарядов, токов, напряженностей электрического и магнитного полей.
- Распространение электромагнитных колебаний в пространстве происходит в виде электромагнитных волн.

Дифференциальное уравнение свободных незатухающих электромагнитных колебаний



Идеальный
колебательный контур

$$-L \frac{dI}{dt} = \frac{q}{C}, \text{ т.к. } I = \frac{dq}{dt}$$

$$-L \frac{d^2 q}{dt^2} = \frac{q}{C} \text{ или } \frac{d^2 q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0$$

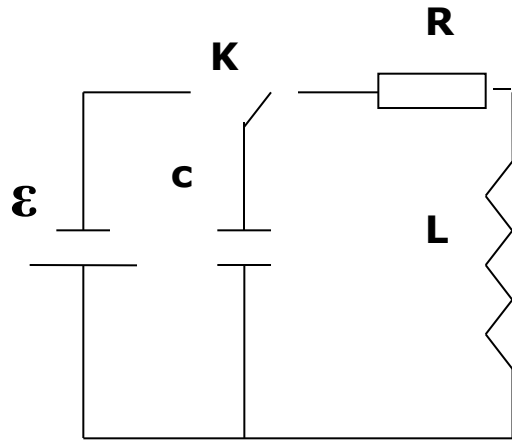
$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$q = q_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_{\max}}{C} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = U_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$I = \frac{dq}{dt} = -q_{\max} \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -I_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Дифференциальное уравнение свободных затухающих электромагнитных колебаний



Реальный колебательный контур

$$\lambda = \beta T = \frac{R}{2L} 2\pi\sqrt{LC} = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$-L \frac{dI}{dt} = IR + \frac{q}{C}$$

$$-L \frac{d^2 q}{dt^2} = R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} \text{ или}$$

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}, 2\beta = \frac{R}{L}$$

$$q = q_{\max} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Электромагнитные волны

Электромагнитные волны – распространение единого электромагнитного поля в пространстве.

Уравнения Максвелла

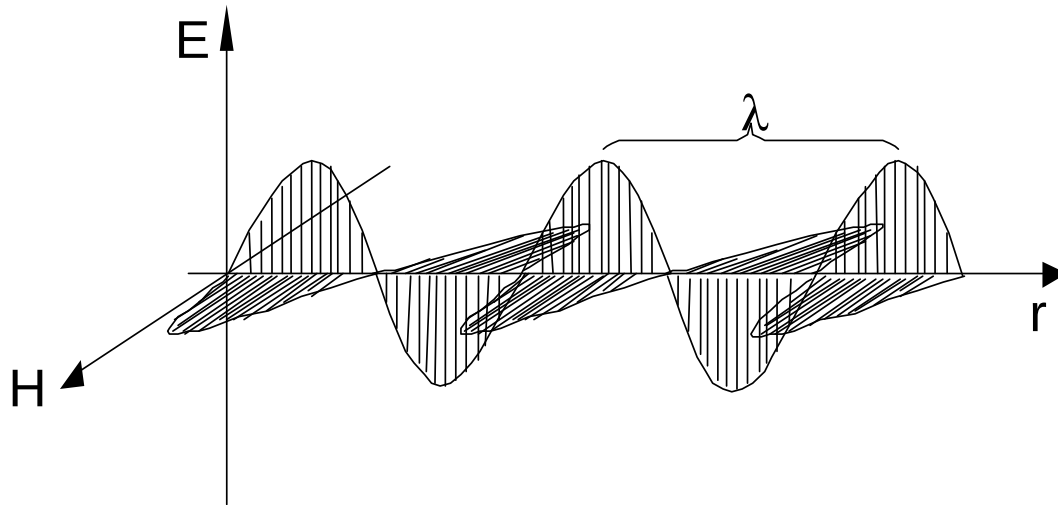
$$\oint H_l dl = \varepsilon \varepsilon_0 S \frac{\partial E}{\partial t}; \quad \oint E_l dl = -\mu \mu_0 S \frac{\partial H}{\partial t}.$$

Волновое уравнение для E

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad \text{его решение} \quad E = E_m \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

Волновое уравнение для H

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = \varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0 \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} \quad \text{его решение} \quad H = H_m \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$$



Скорость распространения электромагнитной волны в веществе

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}},$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} - \text{скорость света в вакууме.}$$

Таким образом, **скорость распространения электромагнитных волн равна скорости света**

Объемная плотность энергии электромагнитного поля

$$\omega_{\text{эм}} = \omega_{\text{эм}} + \omega_{\text{м}} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{E^2}{2} + \mu\mu_0 \frac{H^2}{2}$$

$$\varepsilon\varepsilon_0 \frac{E^2}{2} = \mu\mu_0 \frac{H^2}{2},$$

$$\omega_{\text{эм}} = \varepsilon\varepsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2 = \sqrt{\varepsilon\varepsilon_0 \mu\mu_0} EH$$

$$I = \omega_{\text{эм}} \nu$$

$$I = \sqrt{\varepsilon\varepsilon_0 \mu\mu_0} EH \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0 \mu\mu_0}} = EH$$

$$\bar{I} = \overline{EH}$$

I – вектор Умова-Пойнтинга

Тест-контроль:

Затухающие электромагнитные колебания
возникают в _____колебательном
контуре:

1. идеальном
2. реальном

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Обязательная:

1. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник. -М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012.-

Дополнительная:

1. Федорова В.Н., Е. В. Фаустов. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии: учебное пособие. -М.:ГЭОТАР-Медиа,2010 .-
2. Антонов В.Ф., А. М. Черныш, Е. К. Козлова [и др.] Физика и биофизика. Курс лекций: учебное пособие.-М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008.-
3. Ремизов А.Н., Максина А.Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике: учеб. пособие для вузов. М. : Дрофа, 2010.
4. Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике для самост. работы студентов /сост. О.Д. Барцева и др. Красноярск: Литера-принт, 2009.-
5. Сборник задач по медицинской и биологической физике: учебное пособие для самост. работы студентов / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМА, 2007.-
6. Физика. Физические методы исследования в биологии и медицине: метод. указания к внеаудит. работе студентов по спец. – педиатрия / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМУ, 2009.-

Электронные ресурсы:

1. ЭБС КрасГМУ
2. Ресурсы интернет
3. Эдельман Е.Д. Физика с элементами биофизики. [Электронный ресурс] : учебник. - Режим доступа: <http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425244.html>



Красноярский
Государственный
Медицинский
Университет
им. проф.
В.Ф.Войно-Ясенецкого



**БЛАГОДАРЮ
ЗА ВНИМАНИЕ**