

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Основы теории

Источники преобразуют различные виды энергии в электромагнитную энергию.

Потребители преобразуют электромагнитную энергию в различные виды энергии.

Накопители накапливают электромагнитную энергию в электрическом и магнитном полях.

**Генерируемая источником ЭДС e
энергия за время t_0 :**

$$W = \int_0^{t_0} (e \cdot i) dt.$$

Где i - ток ЭДС.

**При постоянном токе
индуктивный элемент является
«закороткой».**

**емкостный элемент является
«разрывом».**

Электрический ток равен скорости изменения во времени электрического заряда.

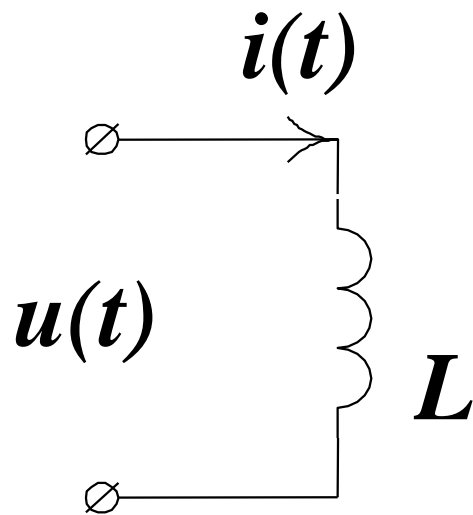
Электрическое напряжение равно энергии, затрачиваемой на перемещение единичного заряда из одной точки цепи в другую точку.

Синусоидальный ток линейного резистивного элемента совпадает по фазе со своим напряжением.

Синусоидальный ток линейного индуктивного элемента отстает по фазе от своего напряжения на 90 градусов.

Синусоидальный ток линейного емкостного элемента опережает по фазе своё напряжение на 90 градусов.

**Для линейного индуктивного
элемента укажите номер варианта
верной взаимосвязи напряжения и
тока:**



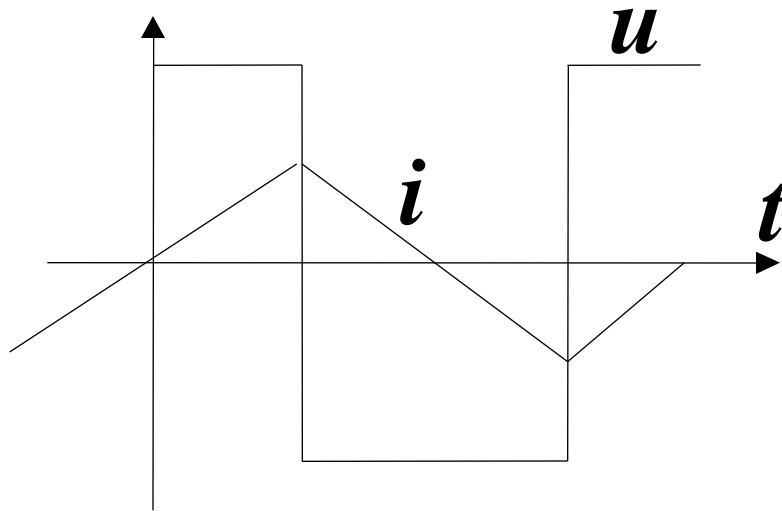
$$i(t) = \frac{1}{L} \cdot \int u(t) dt.$$

$$\underline{U} = j\omega L \cdot \underline{I}.$$

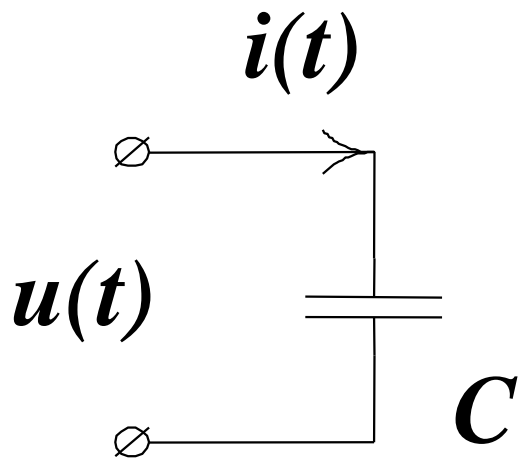
**Запасаемая индуктивным
элементом энергия в момент
времени t_0 :**

$$W = \frac{L \cdot [i(t_0)]^2}{2} \cdot$$

**Укажите номер варианта с
верными графиками зависимостей
напряжения и тока линейного
индуктивного элемента:**



**Для линейного емкостного
элемента укажите номер варианта
верной взаимосвязи напряжения и
тока:**



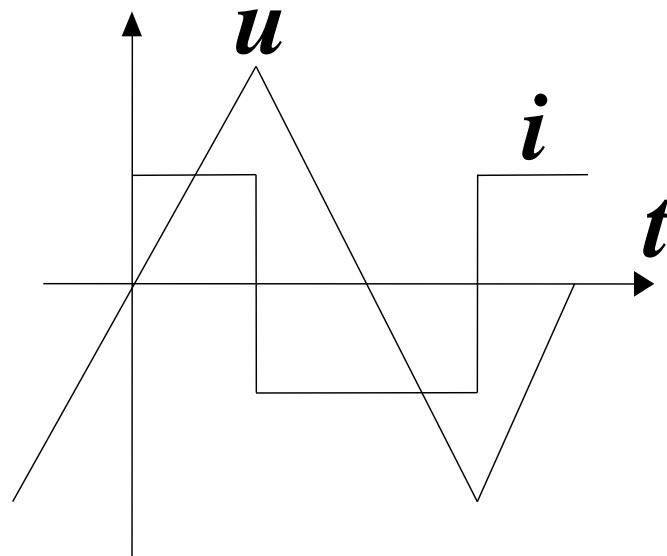
$$u(t) = \frac{1}{C} \cdot \int i(t) dt.$$

$$\underline{I} = j\omega C \cdot \underline{U}.$$

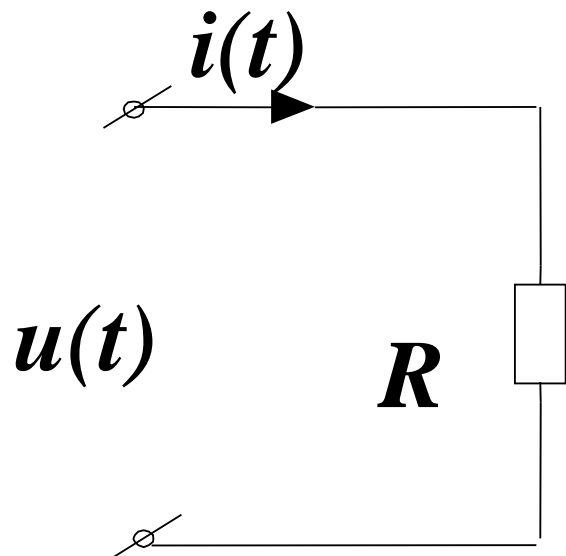
**Запасаемая емкостным элементом
энергия в момент времени t_0 :**

$$W = C \cdot [u(t_0)]^2 / 2 \cdot$$

**Укажите номер варианта с
верными графиками
зависимостей напряжения и
тока линейного емкостного
элемента:**



Для линейного резистивного
элемента укажите номер варианта
верной взаимосвязи напряжения и
тока:



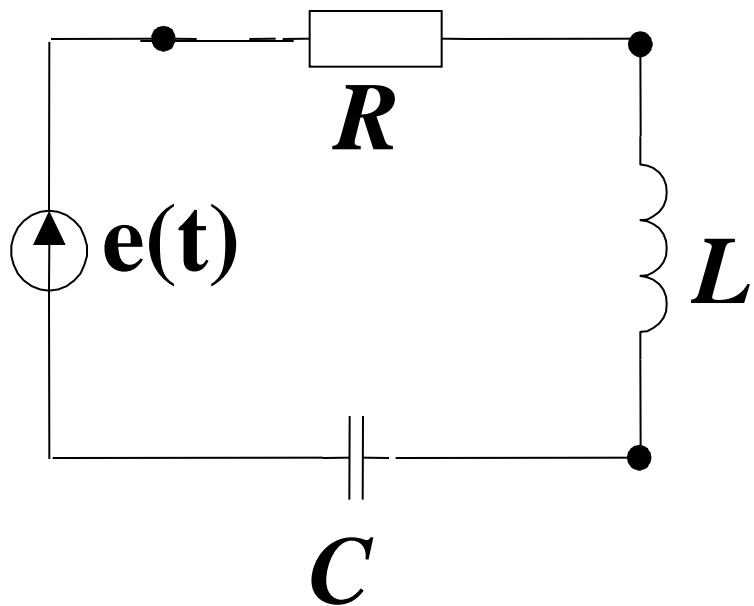
$$u(t) = R \cdot i(t).$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{R}.$$

Выделяемая резистором энергия в виде тепла за время t_0 :

$$W = \int_0^{t_0} (i^2 \cdot R) dt.$$

Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью эквивалентного комплексного сопротивления:



$$\underline{Z}_{\text{Э}} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}.$$

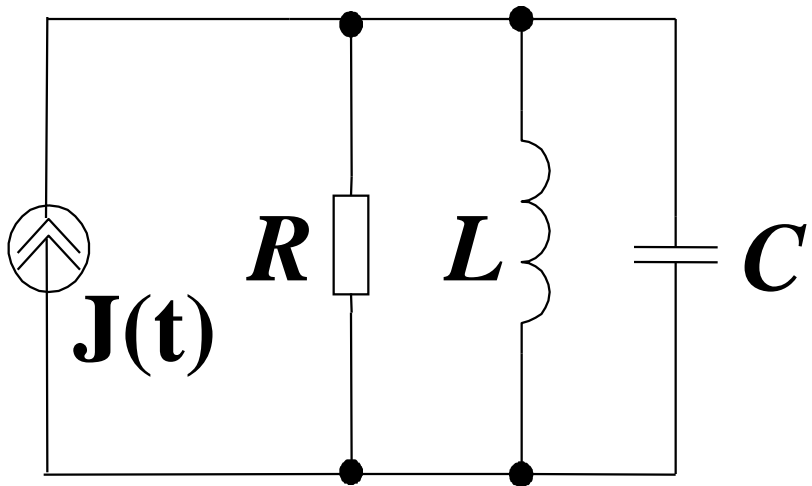
При последовательном соединении элементов R, L, C для эквивалентного комплексного сопротивления $\underline{Z}_{\text{Э}} = R_{\text{Э}} + jX_{\text{Э}} = Z_{\text{Э}} \cdot e^{j\varphi_{\text{Э}}}$, Ом при угловой частоте ω имеем:

$$R_{\text{Э}} = R; \quad X_{\text{Э}} = \omega L - \frac{1}{\omega C};$$

$$Z_{\text{Э}} = \sqrt{R_{\text{Э}}^2 + X_{\text{Э}}^2};$$

$$\varphi_{\text{Э}} = \operatorname{arctg} \frac{X_{\text{Э}}}{R_{\text{Э}}}.$$

Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью эквивалентной комплексной проводимости:



$$\underline{Y}_{\text{Э}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C.$$

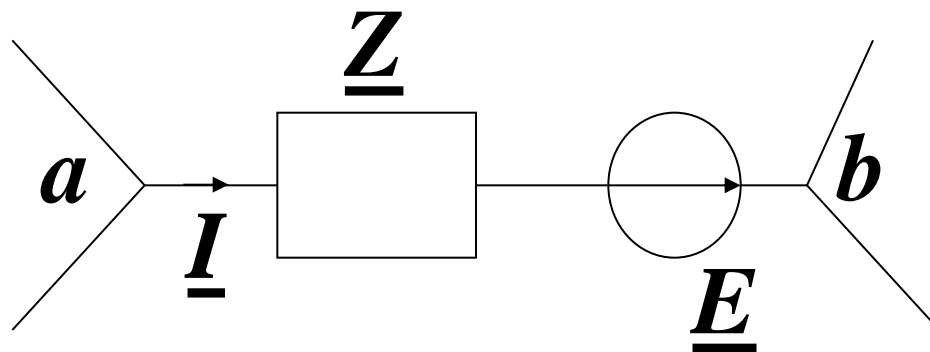
При параллельном соединении элементов R, L, C для эквивалентной комплексной проводимости $\underline{Y}_{\text{Э}} = g_{\text{Э}} - jb_{\text{Э}} = Y_{\text{Э}} \cdot e^{-j\varphi_{\text{Э}}}$, $1/\text{Ом}$ при угловой частоте ω имеем:

$$g_{\text{Э}} = 1/R; \quad b_{\text{Э}} = -\omega C + 1/\omega L;$$

$$Y_{\text{Э}} = \sqrt{g_{\text{Э}}^2 + b_{\text{Э}}^2};$$

$$\varphi_{\text{Э}} = \text{arctg} \frac{b_{\text{Э}}}{g_{\text{Э}}}$$

Укажите номер варианта с верным уравнением для тока \underline{I} ветви ab:



$$\underline{I} = \frac{\underline{\varphi}_a - \underline{\varphi}_b + \underline{E}}{\underline{Z}}.$$

Для любого **узла** цепи
алгебраическая сумма **токов** равна
нулю.

Для любого **контура** цепи
алгебраическая сумма **напряжений**
равна нулю.

Для схемы с

N_y узлами,

N_B ветвями и

N_i неизвестными токами:

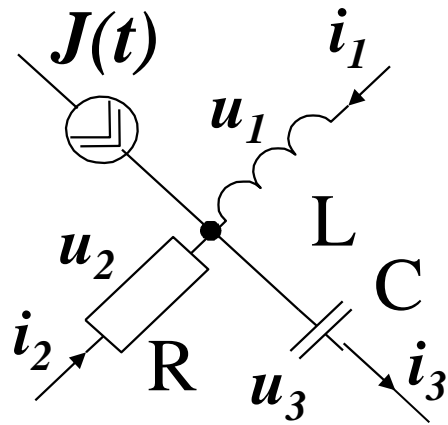
по законам Кирхгофа достаточно составить
и решить N_B уравнений;

по **первому** закону Кирхгофа необходимо
составить **$N_y - 1$** уравнений;

по **второму** закону Кирхгофа необходимо
составить

$N_B - N_y + 1$ уравнений.

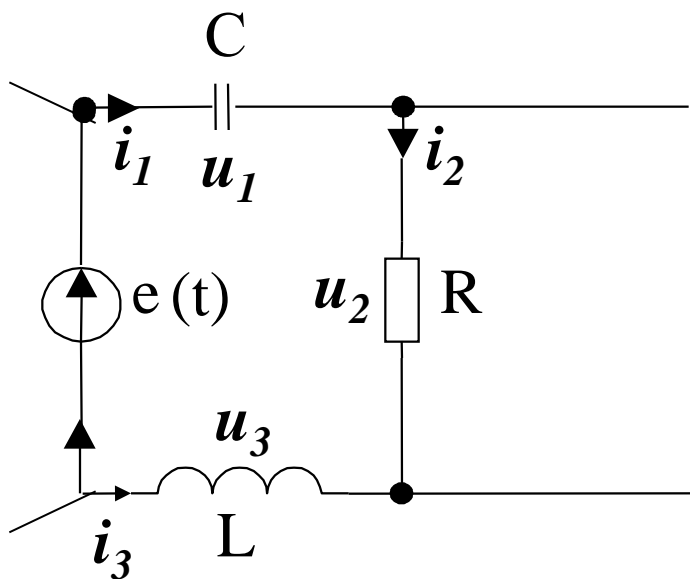
Для узла линейной цепи укажите номер варианта с верным уравнением для токов и напряжений:



$$J(t) + \frac{1}{L} \cdot \int u_1 dt + \frac{u_2}{R} - i_3 = 0.$$

$$-\underline{J} - \underline{I}_1 - \frac{\underline{U}_2}{R} + j\omega C \cdot \underline{U}_3 = 0.$$

Для контура линейной цепи
 укажите номер варианта с верным
 уравнением для напряжений и
 ТОКОВ:



$$e(t) - \frac{1}{C} \cdot \int i_1 dt - R \cdot i_2 + u_3 = 0.$$

$$\underline{E} - \frac{\underline{I}_1}{j\omega C} - \underline{U}_2 + j\omega L \cdot \underline{I}_3 = 0.$$

**Мощность равна скорости
изменения электромагнитной
энергии во времени и равна
произведению напряжения и тока.**

Укажите номер варианта с верной формулой полной мощности S , активной мощности P и реактивной мощности Q при гармоническом напряжении и токе:

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} = \left| \underline{U} \cdot \underline{I}^* \right|.$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{S^2 - Q^2} = \operatorname{Re}(\underline{U} \cdot \underline{I}^*).$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = \sqrt{S^2 - P^2} = \operatorname{Im}(\underline{U} \cdot \underline{I}^*).$$

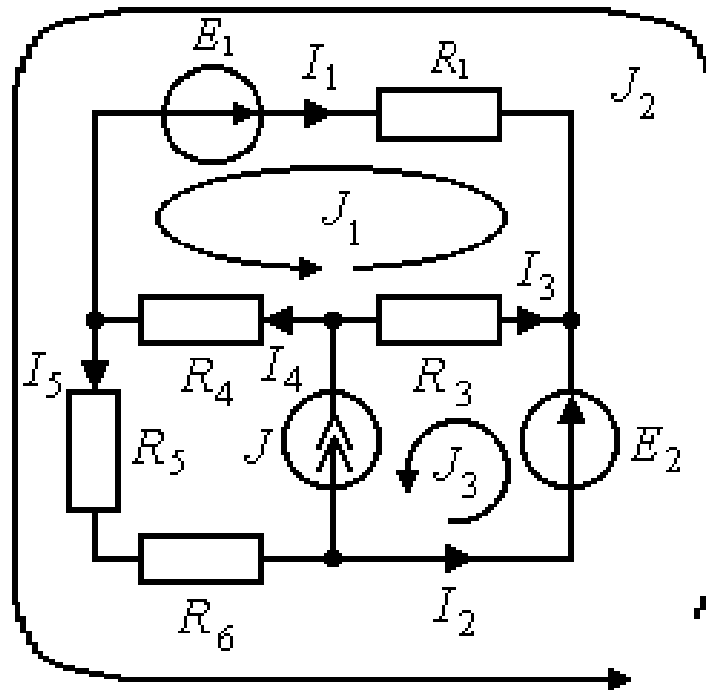
**Укажите номер верного варианта
коэффициента мощности:**

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

**Методы расчета
установившегося режима
и взаимная индуктивность**

Для схемы с N_y узлами, N_B ветвями и N_i неизвестными токами **по методу контурных токов** достаточно составить и решить **$(N_i - N_y + 1)$** уравнений.

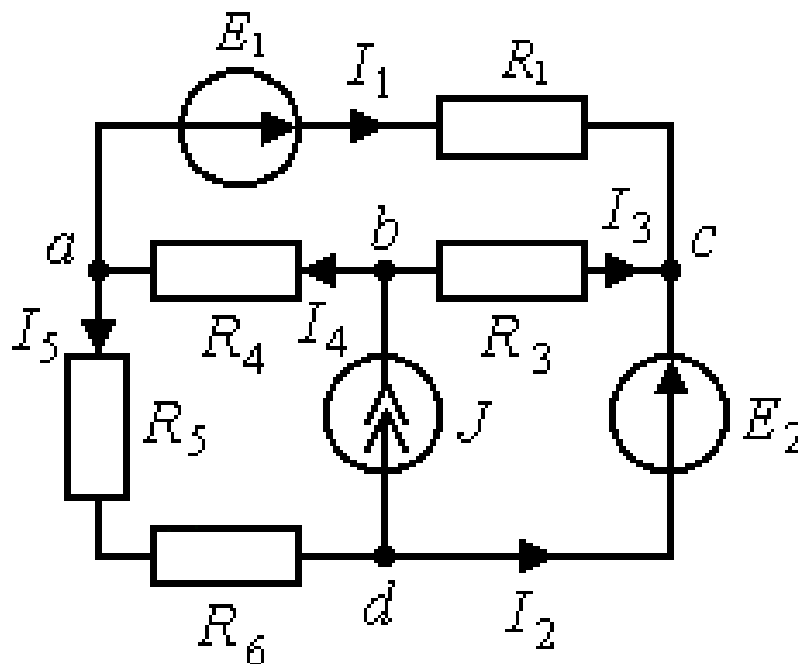
Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью уравнения по методу **КОНТУРНЫХ ТОКОВ**:



$$J_2 \cdot (R_1 + R_5 + R_6) + J_1 \cdot R_1 = E_2 - E_1. \quad 30$$

Для схемы с N_y узлами, N_B ветвями и N_i неизвестными токами по методу узловых потенциалов достаточно составить и решить не более $(N_y - 1)$ уравнений.

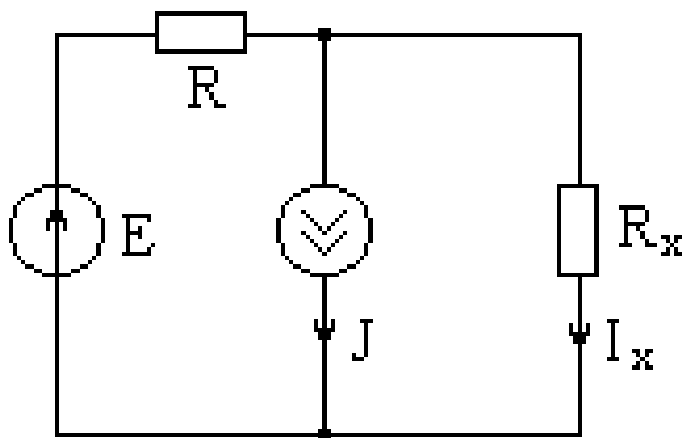
Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью уравнения по **методу узловых потенциалов**:



$$\varphi_b \cdot \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) - \varphi_a \cdot \frac{1}{R_4} - \varphi_c \cdot \frac{1}{R_3} = J.$$

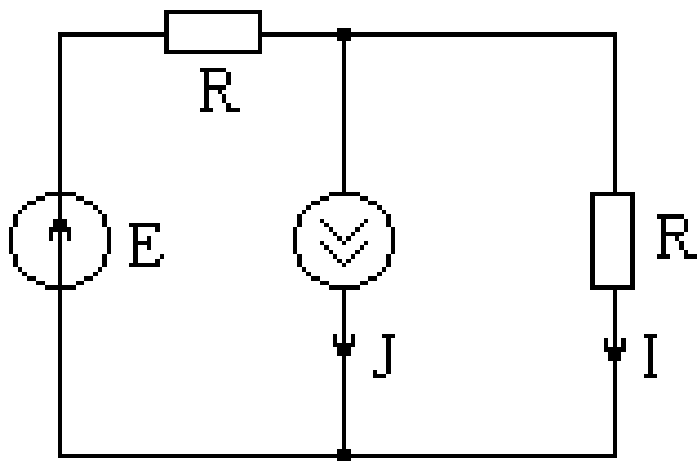
Для схемы с N_U узлами, N_B ветвями и N_I источниками по **методу наложения** достаточно рассчитать N_I подсхем.

Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью тока I_x , найденного по **методу наложения**:



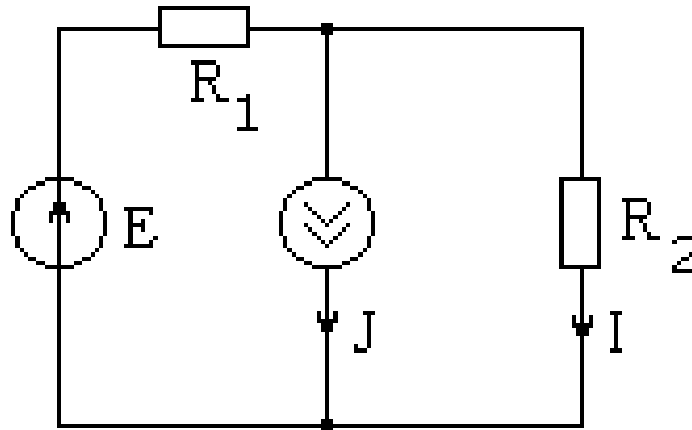
$$I_x = I_x^{(E)} - I_x^{(J)} = \frac{E}{R + R_x} - \frac{J \cdot R}{R + R_x}.$$

Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью тока I , найденного по **методу эквивалентного генератора**:



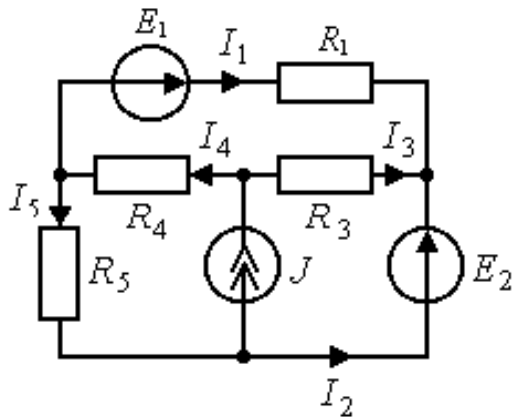
$$I = \frac{J_{\Gamma}}{1 + \frac{R_H}{R_{\Gamma}}} = \frac{\frac{E}{R} - J}{1 + \frac{R}{R}}.$$

Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью тока I , найденного по **методу преобразований**:



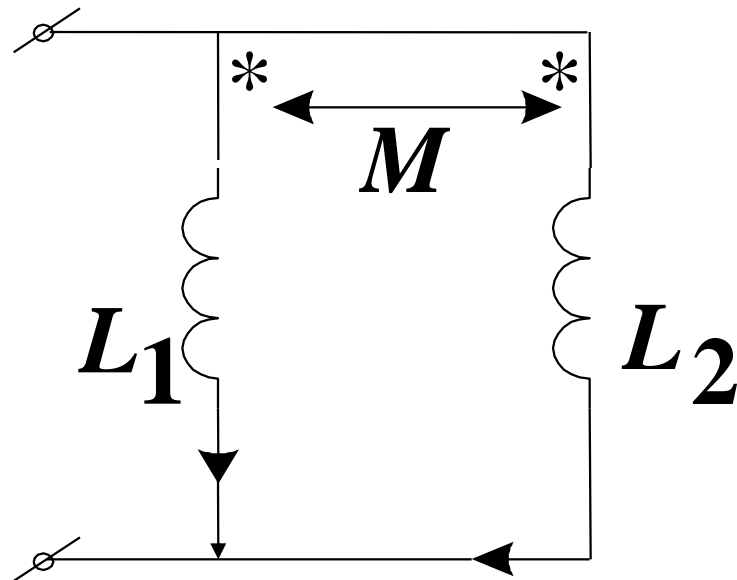
$$I = \frac{E_{\text{Э}}}{R_{\text{Э}}} = \frac{E - R_1 \cdot J}{R_1 + R_2}.$$

Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью сопротивления эквивалентного генератора R_{Γ} относительно ветви с током I_5 :

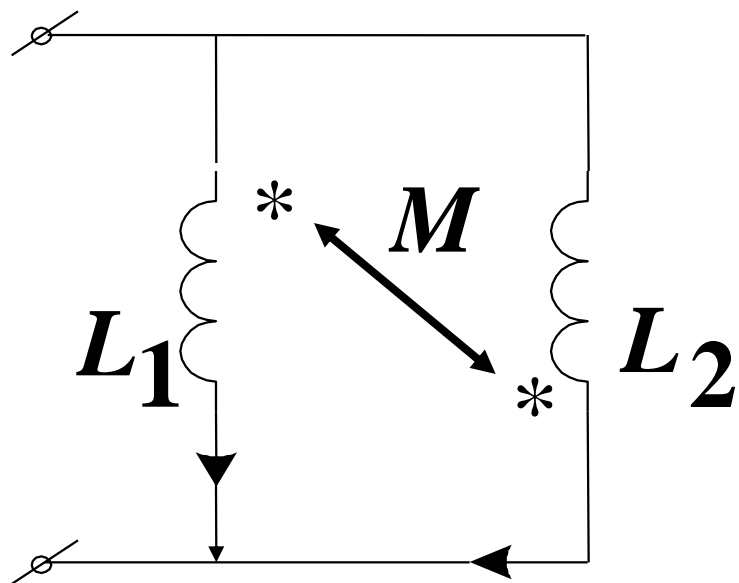


$$R_{\Gamma} = \frac{R_1 \cdot (R_3 + R_4)}{R_1 + R_3 + R_4}.$$

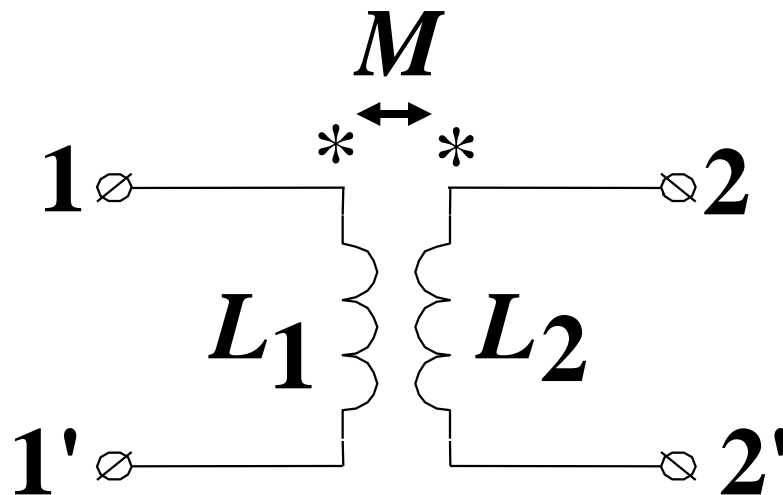
Укажите номер схемы с **согласным**
включением:



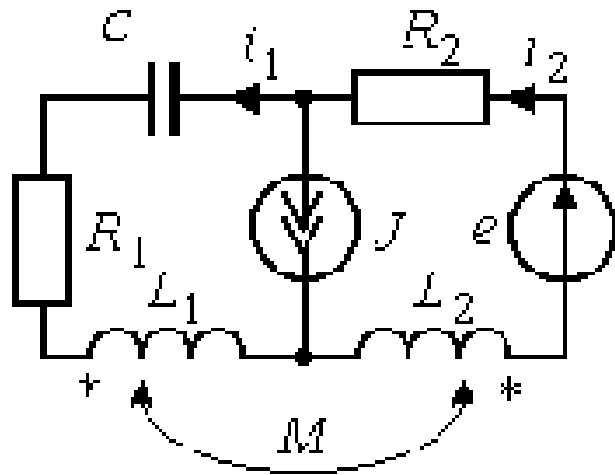
Укажите номер схемы с **встречным**
включением:



**Укажите номер
схемы с трансформатором:**

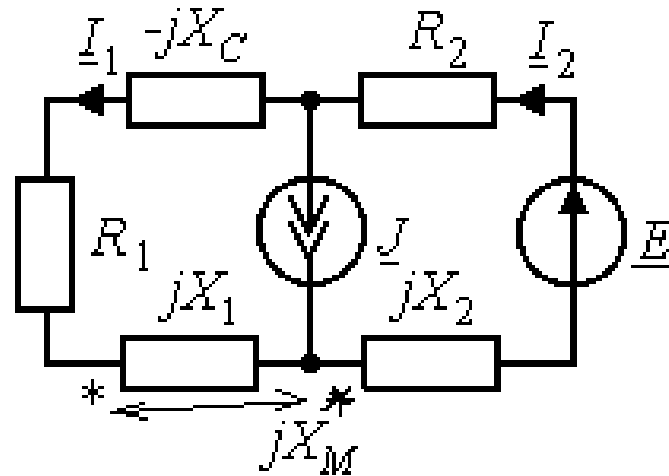


Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью уравнения по **второму** закону Кирхгофа для **мгновенных** значений напряжений и **токов**:



$$-u_J = R_1 \cdot i_1 + \frac{1}{C} \cdot \int i_1 dt + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} - M \cdot \frac{di_2}{dt}.$$

Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью уравнения по **второму** закону Кирхгофа для **КОМПЛЕКСНЫХ** значений напряжений и **ТОКОВ**:



$$\underline{E} + \underline{U}_J = (R_2 + jX_2) \cdot \underline{I}_2 + jX_M \cdot \underline{I}_1.$$

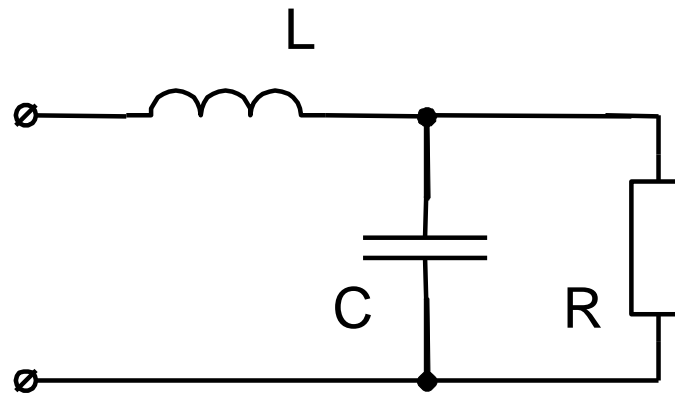
Резонансные явления в линейных электрических цепях

При резонансе: реактивные составляющие входного сопротивления и входной проводимости равны нулю.

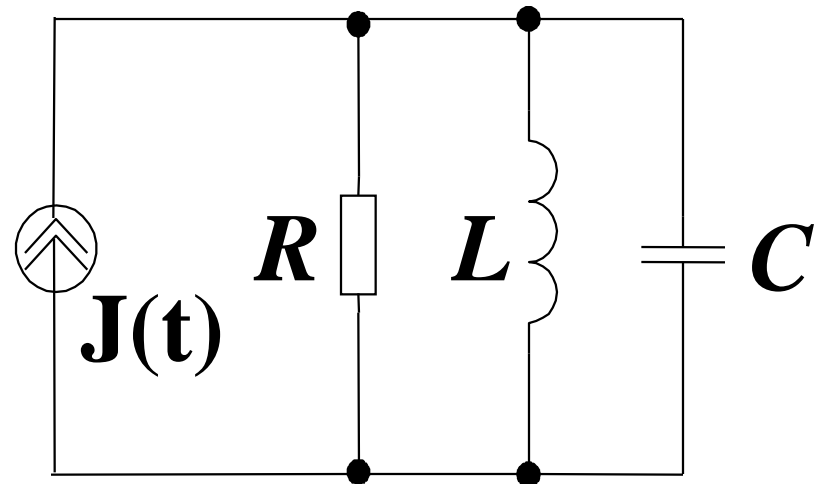
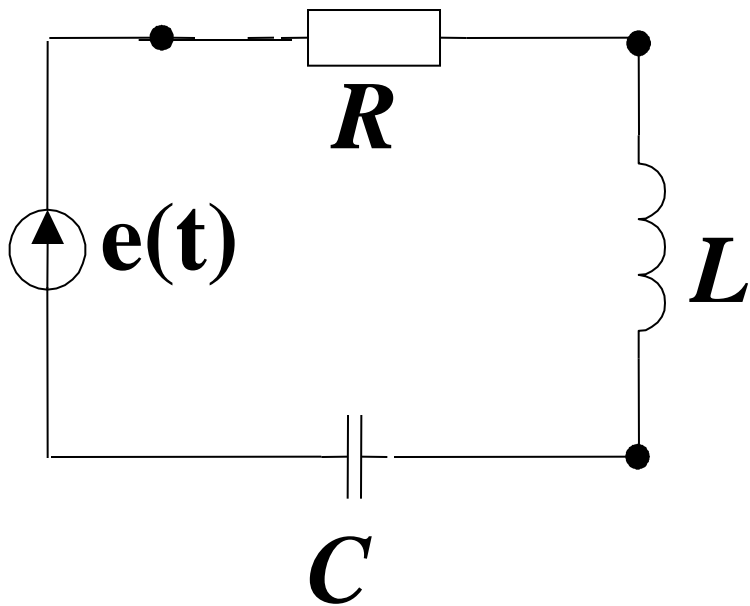
При резонансе напряжений наблюдается максимум входного тока, а при резонансе токов – минимум входного тока.

При резонансе реактивная мощность равна нулю, а полная входная мощность равна активной мощности.

**Укажите номер схемы, в которой
возможен резонанс:**

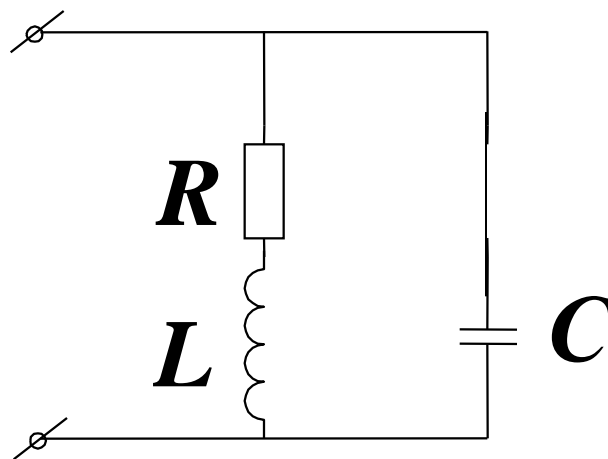


Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью условия резонанса:



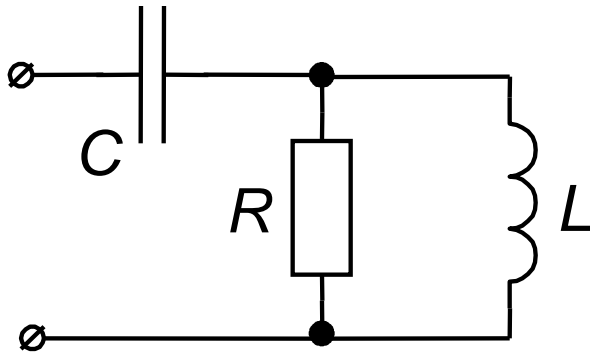
$$\omega^2 LC = 1.$$

Для заданной цепи укажите номер варианта с верной записью условия резонанса:



$$C = \frac{L}{R^2 + \omega^2 \cdot L^2}.$$

Для данной цепи укажите номер варианта с верным равенством при резонансе:



1. $P=S$, Вт.
2. $S=P$, ВА.
3. $Q=0$, вар.
4. $\cos \varphi = 1$.

При последовательном соединении элементов R, L, C для эквивалентного комплексного сопротивления

$$\underline{Z}_{\text{Э}} = R_{\text{Э}} + jX_{\text{Э}} = Z_{\text{Э}} \cdot e^{j\varphi_{\text{Э}}}, \text{ Ом}$$

при угловой частоте ω и резонансе имеем:

$$X_L = X_C; \quad X_{\text{Э}} = \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0;$$

$$Z_{\text{Э}} = R;$$

$$\varphi_{\text{Э}} = \text{arctg} \frac{X_{\text{Э}}}{R_{\text{Э}}} = 0.$$

При параллельном соединении элементов R, L, C для эквивалентной комплексной проводимости $\underline{Y}_{\text{Э}} = g_{\text{Э}} - jb_{\text{Э}} = Y_{\text{Э}} \cdot e^{-j\varphi_{\text{Э}}}$, $1/\text{Ом}$ при угловой частоте ω и резонансе имеем:

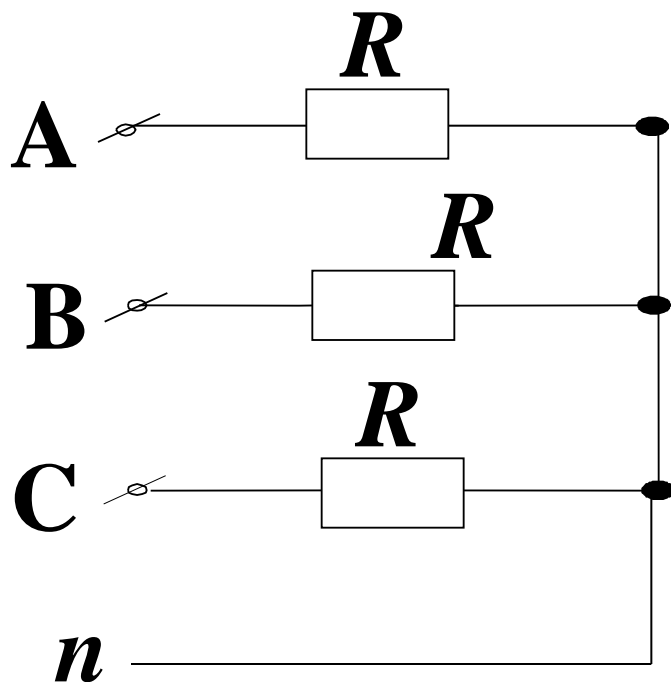
$$Y_{\text{Э}} = 1/R; \quad b_{\text{Э}} = -\omega C + 1/\omega L = 0;$$

$$b_C = \omega C = b_L = 1/\omega L;$$

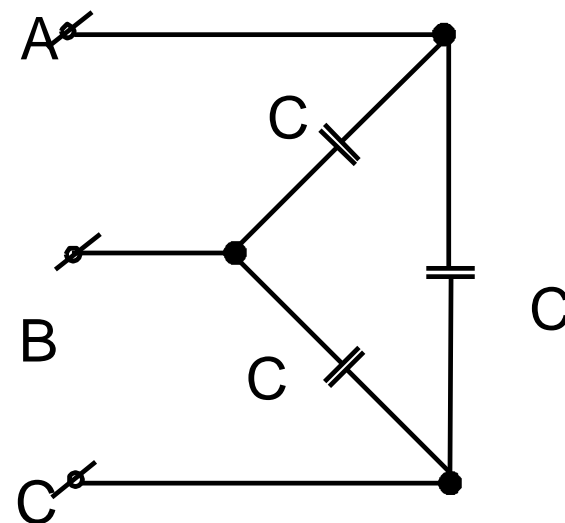
$$\varphi_{\text{Э}} = \text{arctg} \frac{b_{\text{Э}}}{g_{\text{Э}}} = 0.$$

Трёхфазные цепи

Укажите номер схемы с
симметричной трехфазной
нагрузкой:



«Звезда»



«Треугольник»

В симметричном режиме трехфазной цепи:

- нагрузка фаз одинакова;**
- при соединении нагрузки звездой линейное напряжение в $\sqrt{3}$ раз больше фазного напряжения;**
- при соединении нагрузки треугольником линейный ток в $\sqrt{3}$ раз больше фазного тока;**
- ток в нулевом проводе равен нулю.**

Линейное напряжение – это напряжение между фазами.

Фазное напряжение – это напряжение между фазой и нейтралью.

В симметричном режиме трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой фазный ток равен линейному току,

а при соединении нагрузки треугольником фазное напряжение равно линейному напряжению.

**Укажите номер варианта с верной
записью симметричной
трехфазной системы фазных
напряжений:**

$$\underline{U}_A = U_\phi \cdot e^{j30^\circ}, \underline{U}_B = U_\phi \cdot e^{-j90^\circ}, \underline{U}_C = U_\phi \cdot e^{j150^\circ}.$$

Для заданного фазного напряжения
 $\underline{U}_A = 220 \cdot e^{-j60^\circ}$ (В) симметричной звезды
укажите номер варианта с верной
записью симметричной
трехфазной системы линейных
напряжений:

$$\underline{U}_{AB} = 380 \cdot e^{-j30^\circ}, \underline{U}_{BC} = 380 \cdot e^{-j150^\circ}, \underline{U}_{CA} = 380 \cdot e^{j90^\circ} \text{ (В)}.$$

Для заданного фазного тока

$$\underline{I}_{AB} = 1,73 \cdot e^{j60^\circ} \text{ (A) симметричного}$$

треугольника укажите номер

варианта с верной записью

симметричной трехфазной системы

линейных токов:

$$\underline{I}_A = 3 \cdot e^{j30^\circ}, \underline{I}_B = 3 \cdot e^{-j90^\circ}, \underline{I}_C = 3 \cdot e^{j150^\circ} \text{ (A)}.$$

**В симметричном режиме
трехфазной цепи при соединении
сопротивлений $\underline{Z} = Z \cdot e^{j\varphi}$ звездой
имеем:**

$$I_{\text{Л}} = U_{\text{Ф}} / Z; \quad U_{\text{Ф}} = I_{\text{Ф}} \cdot Z;$$

$$U_{\text{Л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{Ф}}; \quad I_{\text{Ф}} / I_{\text{Л}} = 1.$$

**В симметричном режиме
трехфазной цепи при соединении
сопротивлений $\underline{Z} = Z \cdot e^{j\varphi}$
треугольником имеем:**

$$I_{\Phi} = U_{\Phi} / Z; \quad U_{\text{Л}} = I_{\Phi} \cdot Z;$$

$$I_{\text{Л}} = \sqrt{3} \cdot I_{\Phi}; \quad U_{\Phi} / U_{\text{Л}} = 1.$$

Укажите номер варианта с верной формулой активной мощности P и реактивной мощности Q трехфазной цепи в симметричном режиме при гармонических напряжениях и токах:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot I_{л} \cdot \cos \varphi = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \varphi.$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot I_{л} \cdot \sin \varphi = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin \varphi.$$

**Укажите номер варианта с верной
записью симметричной трехфазной
системы составляющих фазных
напряжений прямой
последовательности:**

$$\underline{U}_{A1} = U_{\phi 1} \cdot e^{-j45^\circ}, \underline{U}_{B1} = U_{\phi 1} \cdot e^{-j165^\circ}, \underline{U}_{C1} = U_{\phi 1} \cdot e^{j75^\circ}.$$

Укажите номер варианта с верной записью симметричной трехфазной системы составляющих фазных напряжений обратной последовательности:

$$\underline{U}_{A2} = U_{\phi 2} \cdot e^{j90^\circ}, \underline{U}_{B2} = U_{\phi 2} \cdot e^{-j150^\circ}, \underline{U}_{C2} = U_{\phi 2} \cdot e^{-j30^\circ}.$$

**Укажите номер варианта с верной
записью симметричной трехфазной
системы составляющих фазных
напряжений нулевой
последовательности:**

$$\underline{U}_{A0} = U_{\phi 0} \cdot e^{j60^\circ}, \underline{U}_{B0} = U_{\phi 0} \cdot e^{j60^\circ}, \underline{U}_{C0} = U_{\phi 0} \cdot e^{j60^\circ}.$$

**Периодические
негармонические
(несинусоидальные)
напряжения и токи**

Укажите номер варианта с верной формулой действующего значения негармонического периодического тока $i = I_0 + I_1 \sqrt{2} \sin \omega t + I_{m2} \sin 2\omega t$:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + 0.5 \cdot I_{m2}^2}.$$

Укажите номер варианта с верной формулой полной мощности S , активной мощности P и реактивной мощности Q при негармоническом напряжении и токе:

$$S = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots} \cdot \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots}$$

$$P = U_0 \cdot I_0 + U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 + U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + \dots$$

$$Q = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1 + U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2 + \dots$$

В **симметричном** режиме трехфазной цепи:

- **первая** гармоника образует **прямую** последовательность чередования фаз;
- **третья** гармоника образует **нулевую** последовательность чередования фаз;
- **пятая** гармоника образует **обратную** последовательность чередования фаз;
- **линейное** напряжение **не содержит** гармоник кратных **трем**

Укажите номер варианта с верной записью фазной ЭДС генератора $e_B(t)$, если фазные ЭДС генератора образуют симметричную систему и известна одна из этих ЭДС

$$e_A(t) = E_{m1} \cdot \sin(\omega t + 30^\circ) + \\ + E_{m3} \cdot \sin(3\omega t - 90^\circ) + E_{m5} \cdot \sin(5\omega t + 90^\circ) :$$

$$e_B(t) = E_{m1} \cdot \sin(\omega t - 90^\circ) + \\ + E_{m3} \cdot \sin(3\omega t - 90^\circ) + E_{m5} \cdot \sin(5\omega t - 150^\circ).$$

Укажите номер варианта с верной записью линейного напряжения генератора $u_{AB}(t)$, если фазные ЭДС генератора образуют симметричную систему и известна одна из этих ЭДС

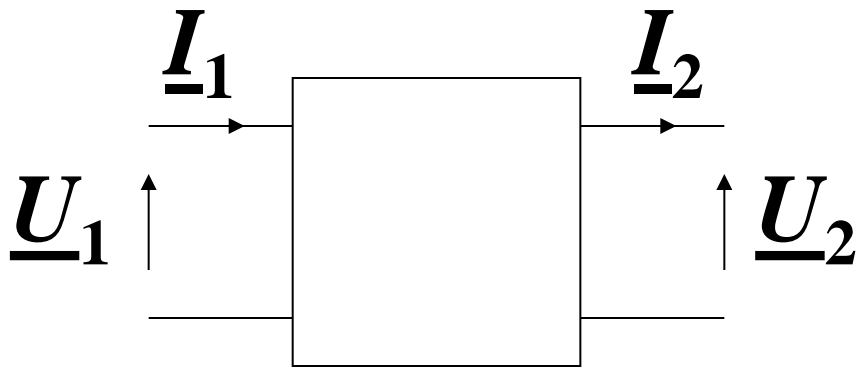
$$e_A(t) = E_{m1} \cdot \sin(\omega t - 60^\circ) + \\ + E_{m3} \cdot \sin(3\omega t + 60^\circ) + E_{m5} \cdot \sin(5\omega t + 60^\circ) \quad :$$

$$u_{AB}(t) = \sqrt{3} \cdot E_{m1} \cdot \sin(\omega t - 30^\circ) + \\ + \sqrt{3} \cdot E_{m5} \cdot \sin(5\omega t + 30^\circ).$$

Четырехполюсники

Для симметричного пассивного
четырёхполюсника в линейном режиме с
уравнениями

$\underline{U}_1 = \underline{A} \underline{U}_2 + \underline{B} \underline{I}_2$, $\underline{I}_1 = \underline{C} \underline{U}_2 + \underline{D} \underline{I}_2$ укажите
номер варианта с верной записью:



$$\underline{A} \cdot \underline{D} - \underline{B} \cdot \underline{C} = 1;$$

$$\underline{A} = \underline{D};$$

$$\underline{Z}_C = \sqrt{\frac{\underline{B}}{\underline{C}}};$$

$$\underline{\Gamma} = \ln(\underline{A} + \sqrt{\underline{B} \cdot \underline{C}}).$$

Переходные процессы

**После коммутации ток
индуктивности и напряжение
емкости не могут измениться
скачком.**

Независимые начальные условия – это ток индуктивности и напряжение емкости, которые определяются из расчета схемы до коммутации.

Зависимые начальные условия – это другие токи и напряжения, которые определяются из расчета схемы после коммутации.

Свободная составляющая тока переходного процесса – это общее решение однородного линейного дифференциального уравнения.

Принужденная составляющая тока переходного процесса – это частное решение неоднородного линейного дифференциального уравнения.

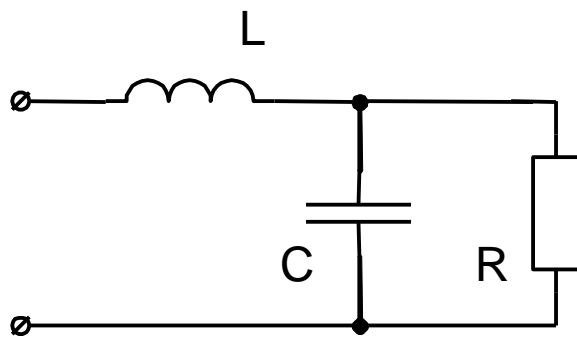
Для тока переходного процесса

$$i(t) = 5 + 10 \cdot e^{-100t} \cdot \sin 200 \cdot t, \text{ А}$$

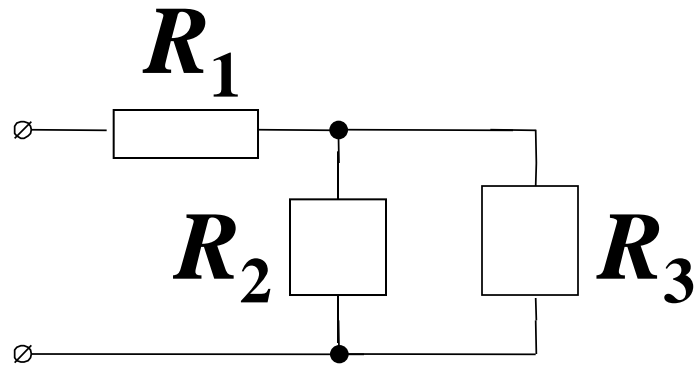
имеем:

- 1. Принужденная составляющая - 5 .**
- 2. Постоянная интегрирования - 10 .**
- 3. Коэффициент затухания - 100 .**
- 4. Угловая частота свободных колебаний - 200 .**

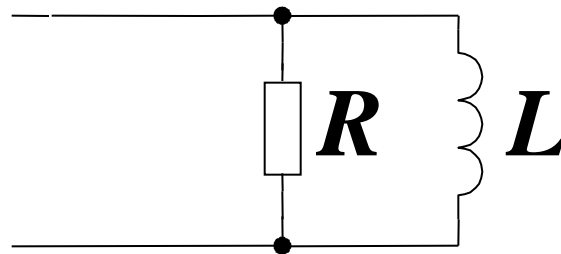
**Укажите номер схемы, в которой
возможен колебательный
переходный процесс:**



**Укажите номер схемы, в которой
переходного процесса не будет:**



**Укажите номер схемы первого
порядка:**

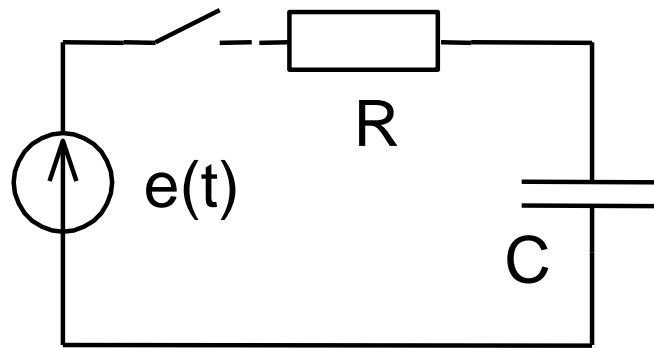


**Укажите номер верного варианта
записи корней характеристического
уравнения напряжения переходного
процесса:**

$$u(t) = 100 \sin(100 \cdot t + 90^\circ) + \\ + 50 \cdot e^{-200t} \cos(300 \cdot t - 30^\circ), \text{ В}$$

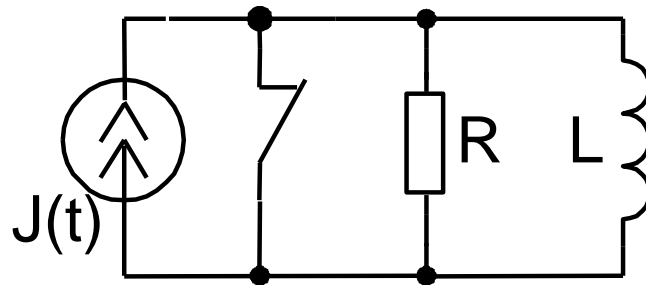
$$p_1 = -200 + j300, p_2 = -200 - j300 \text{ (1/с)}.$$

**Для заданной цепи укажите номер
верного варианта записи корня
характеристического уравнения
и постоянной времени:**



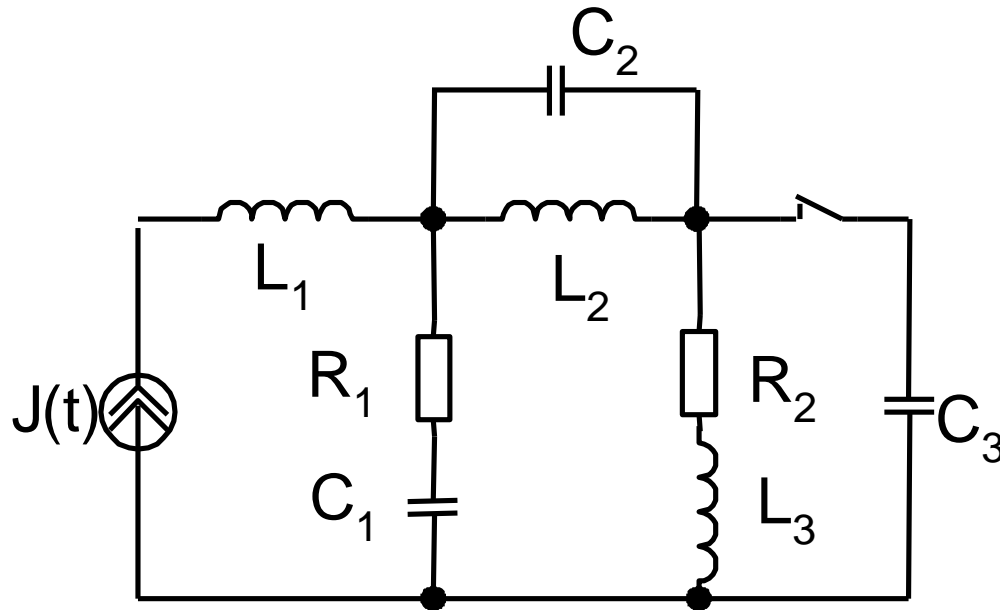
$$p = -\frac{1}{R \cdot C}; \quad \tau = R \cdot C$$

**Для заданной цепи укажите номер
верного варианта записи корня
характеристического уравнения
и постоянной времени:**



$$p = -R/L; \quad \tau = L/R$$

**Для заданной цепи укажите номер
верного варианта числа корней
характеристического
уравнения:**



четыре корня.

Нелинейные цепи

Нелинейные резистивные элементы задаются нелинейными вольтамперными характеристиками (ВАХ).

Нелинейные индуктивные элементы задаются нелинейными веберамперными характеристиками (ВбАх).

Нелинейные емкостные элементы задаются нелинейными кулонвольтными характеристиками (КлВх).

Полупроводниковый **диод и катушка** с ферромагнитным сердечником являются **безынерционными** нелинейными элементами, а **лампа** – **инерционным** нелинейным элементом.

В цепи с инерционным нелинейным элементом **формы** кривых напряжения и тока **одинаковы**.

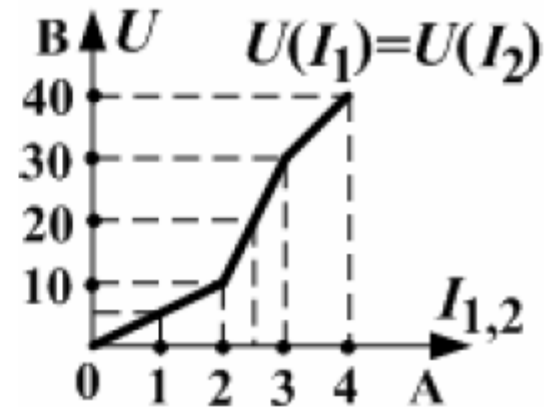
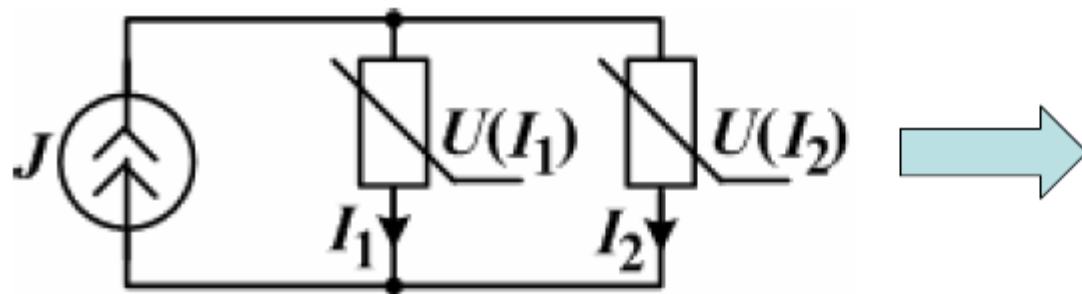
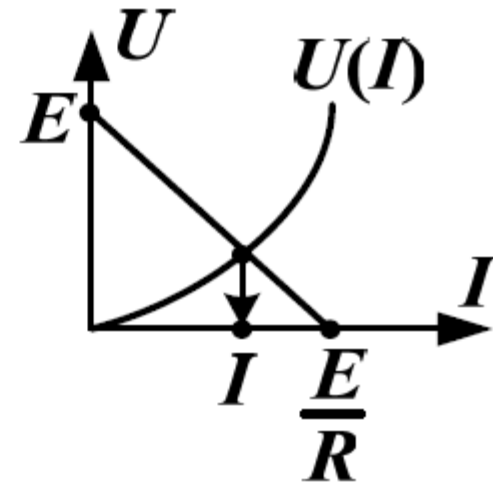
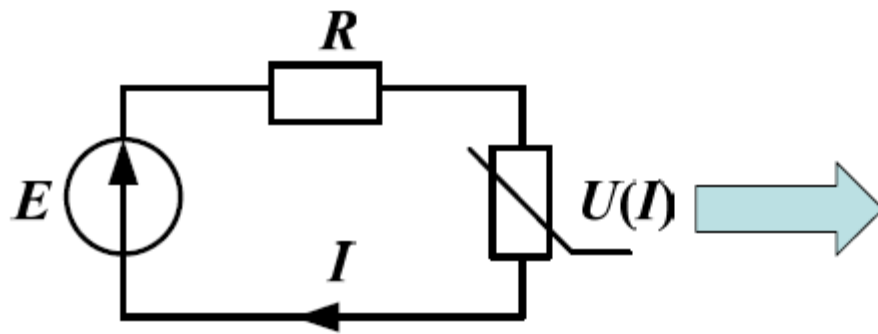
В цепи с безынерционным нелинейным элементом формы кривых напряжения и тока **различны**.

Вольтамперные характеристики **параллельно соединенных нелинейных резистивных элементов складываются вдоль оси **тока**, а **последовательно** соединенных - вдоль оси **напряжения**.**

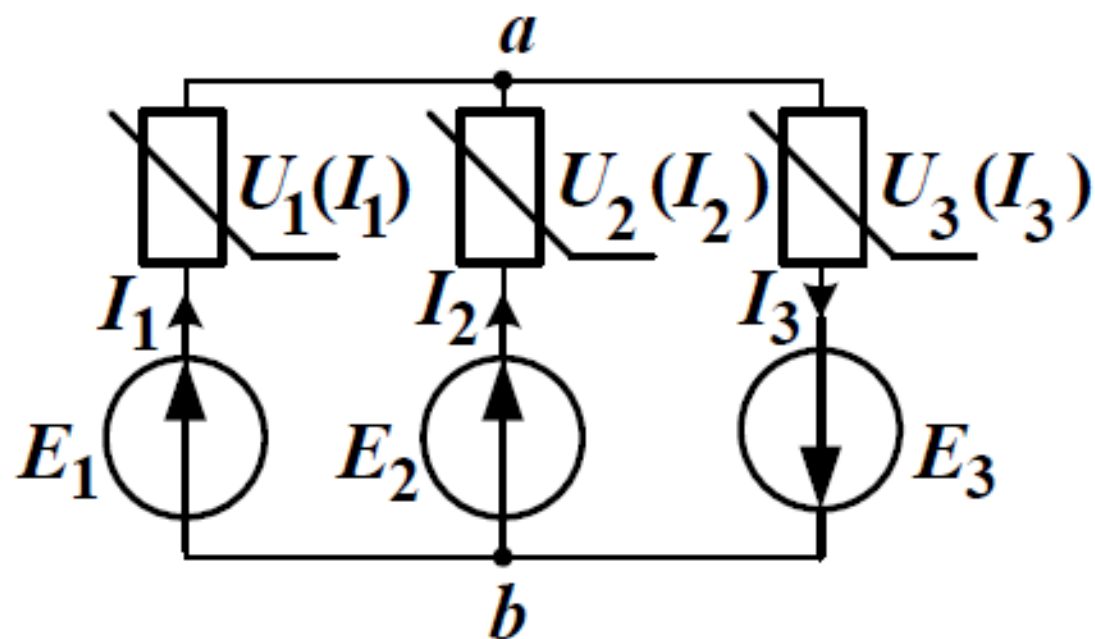
Метод эквивалентного генератора применим для расчета цепей с **одним нелинейным элементом.**

При синусоидальном напряжении на зажимах катушки с ферромагнитным сердечником ее ток содержит только **нечетные гармоники.**

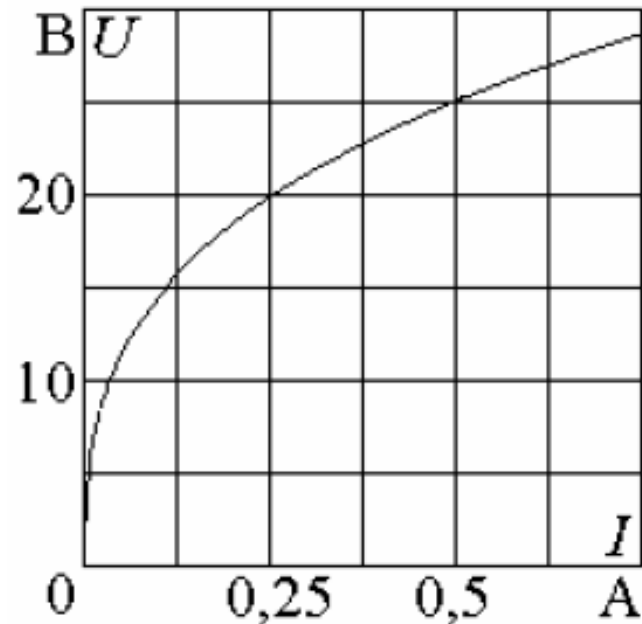
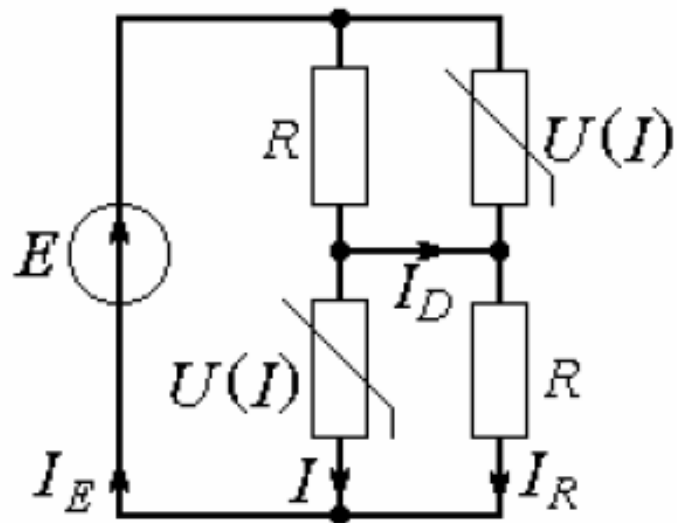
Метод эквивалентных синусоид применим для расчета установившегося режима нелинейных цепей.



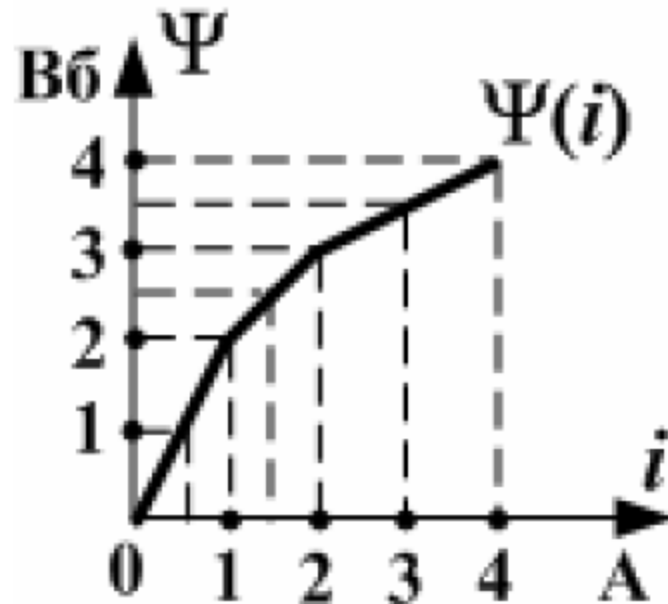
$$J=6 \text{ (A)}, I_1=I_2=3 \text{ (A)}, U=30 \text{ (B)}.$$



$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = -E_3 + U_3(I_3).$$



При $E=40$ (В) и $R=200$ (Ом) имеем $I_E=0,35$ (А).



Дифференциальная индуктивность $L_{\text{д}}=0,5$ (Гн) при токе $i=3$ (А).

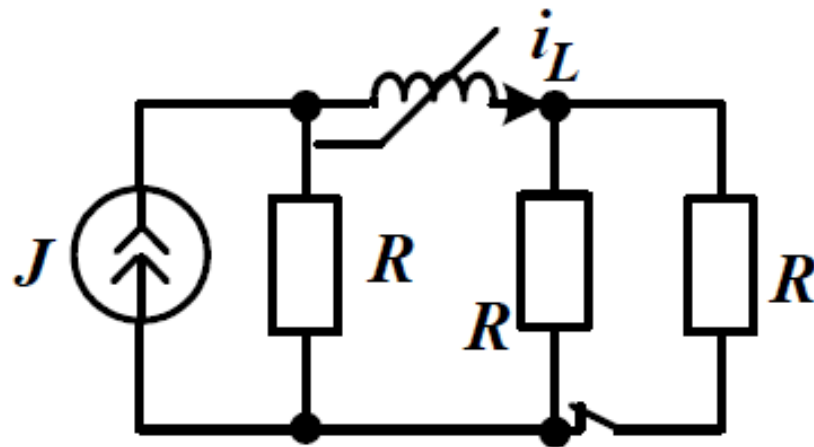
Дифференциальные параметры нелинейных элементов:

$$R_d = \frac{du}{di} = \frac{\Delta u}{\Delta i}; \quad \mathbf{O_M}$$

$$L_d = \frac{d\psi}{di} = \frac{\Delta \psi}{\Delta i}; \quad \mathbf{\Gamma_H}$$

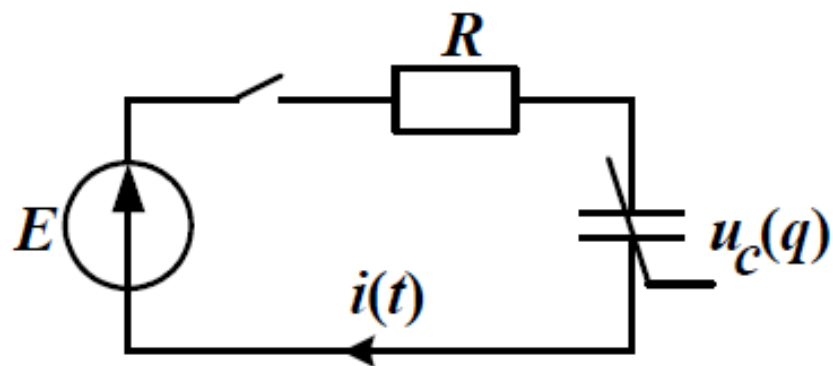
$$C_d = \frac{dq}{du} = \frac{\Delta q}{\Delta u}; \quad \mathbf{\Phi}$$

Переходные процессы в нелинейных цепях:

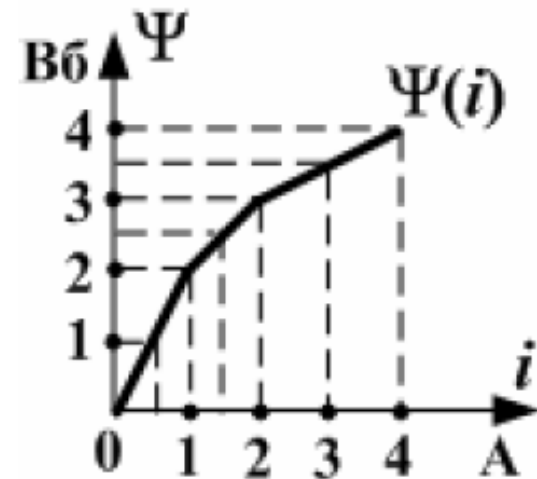
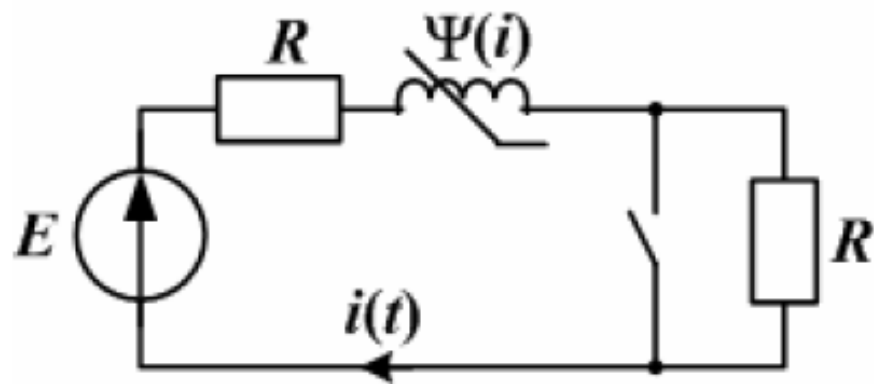


$$\frac{1}{R} \cdot \frac{d\psi}{dt} + 2 \cdot i_L(\psi) = J.$$

Уравнение для метода последовательных интервалов:



$$\frac{\Delta q}{\Delta t} + \frac{u_c(q)}{R} = \frac{E}{R} .$$



При $E=400$ (В) и $R=200$ (Ом)
имеем $\psi(0+) = 2$ (Вб).

Магнитные цепи

Для узла алгебраическая сумма магнитных потоков ($\Phi_k = B_k S_k$) равна нулю.

Для контура алгебраическая сумма магнитных напряжений ($H_k l_k = R_{mk} \Phi_k$) равна алгебраической сумме намагничивающих сил ($i_k w_k$).

Магнитное сопротивление

$$R_{MK} = U_{MK} / \Phi_K = H_{KK} l_{KK} / \Phi_K = H_{KK} l_{KK} / B_K S_K$$

- размерность $A/B\bar{b} = A/B \cdot c$.

Потокоцепление

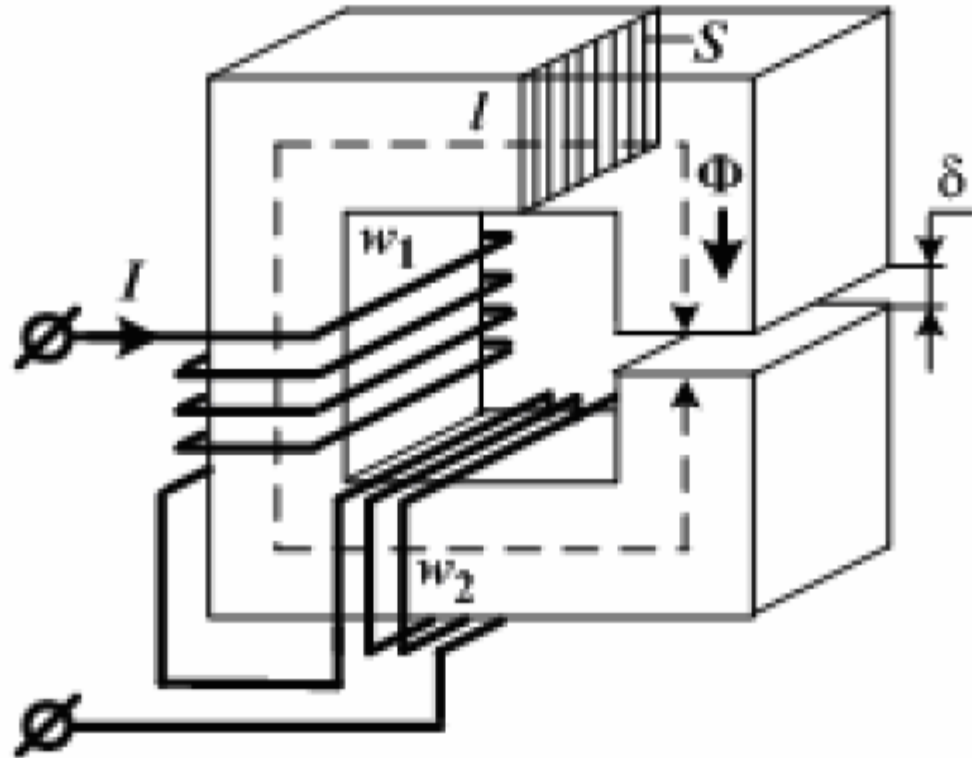
$$\psi = w \cdot \Phi = L_{CT} \cdot i, \quad (B\bar{b} = B \cdot c).$$

Статическая индуктивность

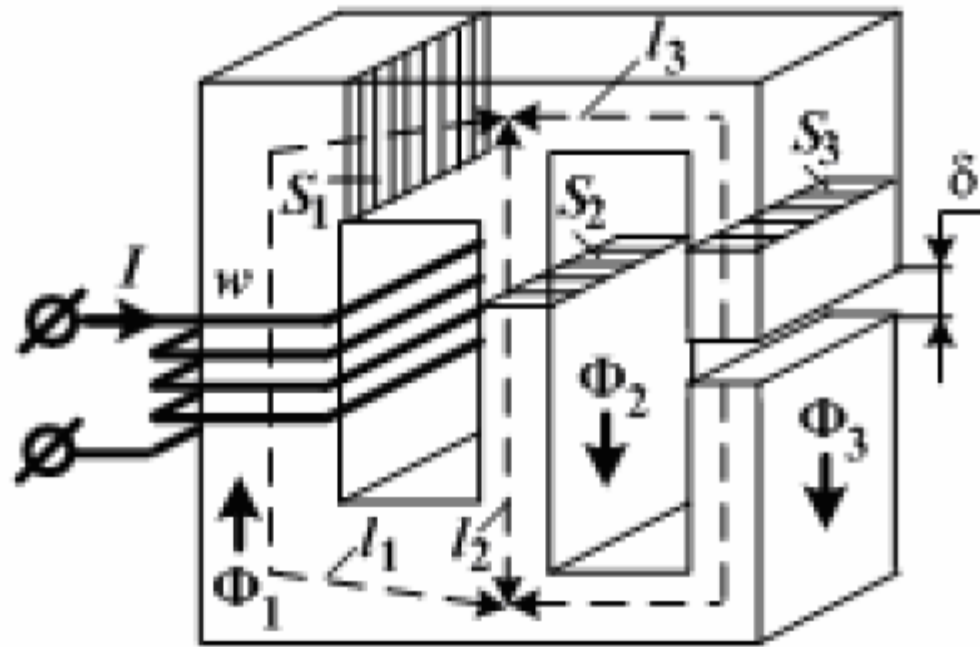
$$L_{CT} = \psi / i, \quad (\Gamma H).$$

Энергия магнитного поля в воздушном зазоре пропорциональна произведению квадрата индукции, площади сечения и величины зазора.

Сила магнитного поля, стягивающая воздушный зазор, пропорциональна произведению квадрата индукции и площади сечения зазора.



$$Iw_1 + Iw_2 = Hl + \frac{\Phi}{\mu_0 S} \delta = Hl + \frac{B}{\mu_0} \delta.$$



$$Iw = H_1 l_1 + H_3 l_3 + \frac{B_3}{\mu_0} \delta.$$

При феррорезонансе **напряжений** возможно скачкообразное изменение входного тока при **малом** внутреннем сопротивлении источника.

При феррорезонансе **токов** возможно скачкообразное изменение входного напряжения при **большом** внутреннем сопротивлении источника.

Длинные линии

Укажите номер верного варианта записи параметров однородной линии:

1. Волновое
сопротивление

$$\underline{Z}_B = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}};$$

2. Постоянная
распространения

$$\underline{\gamma} = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0) \cdot (G_0 + j\omega C_0)} = \alpha + j\beta;$$

3. Фазовая
скорость

$$V = \frac{\omega}{\beta};$$

4. Длина
волны

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}.$$

**Укажите номер верного варианта
записи уравнения однородной
линии для комплекса
напряжения на расстоянии x
от конца линии:**

$$\underline{U}(x) = \underline{U}_2 \cdot \operatorname{ch} \underline{\gamma} x + \underline{Z}_B \cdot \underline{I}_2 \cdot \operatorname{sh} \underline{\gamma} x;$$

$$\underline{U}(x) = \underline{A}_1 \cdot e^{\underline{\gamma} x} + \underline{A}_2 \cdot e^{-\underline{\gamma} x}.$$

**Укажите номер верного варианта
записи уравнений для тока
однородной линии при отсчете
 x от конца линии:**

$$\underline{I}(x) = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_B} \cdot \operatorname{sh} \underline{\gamma} x + \underline{I}_2 \cdot \operatorname{ch} \underline{\gamma} x;$$

$$\underline{I}(x) = \frac{\underline{A}_1 \cdot e^{\underline{\gamma} x} - \underline{A}_2 \cdot e^{-\underline{\gamma} x}}{\underline{Z}_B}.$$

Укажите номер верного варианта

записи комплексных

постоянных уравнения

однородной линии

$$\underline{U}(x) = \underline{A}_1 \cdot e^{\gamma x} + \underline{A}_2 \cdot e^{-\gamma x}$$

при отсчете x от конца линии:

$$\underline{A}_1 = \frac{\underline{U}_2 + \underline{Z}_B \cdot \underline{I}_2}{2}.$$

$$\underline{A}_2 = \frac{\underline{U}_2 - \underline{Z}_B \cdot \underline{I}_2}{2}.$$

**Укажите номер верного варианта
записи комплексных значений
падающих и отраженных волн
напряжения и тока в однородной
линии:**

1. $\underline{I}_{\text{отр}} = \frac{-\underline{U}_{\text{отр}}}{\underline{Z}_B}$;

2. $\underline{U}_{\text{пад}} = \underline{A}_1 \cdot e^{\gamma x}$;

3. $\underline{I}_{\text{пад}} = \frac{\underline{U}_{\text{пад}}}{\underline{Z}_B}$;

4. $\underline{U}_{\text{отр}} = \underline{A}_2 \cdot e^{-\frac{\gamma x}{108}}$.

**Только в режиме согласованной
нагрузки в линиях **отсутствуют**
отраженные (обратные) волны.**

**Укажите номер верного варианта
записи параметров однородной
линии без искажений:**

**1. Коэффициент
затухания**

$$\alpha = \frac{R_0}{L_0} \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0};$$

**2. Коэффициент
фазы**

$$\beta = \omega \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0};$$

**3. Волновое
сопротивление**

$$\underline{Z}_B = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}};$$

**4. Соотношение
первичных параметров**

$$\frac{R_0}{L_0} = \frac{G_0}{C_0}.$$

Линия без потерь имеет:
коэффициент **фазы**, зависящий от
частоты напряжения и тока;
волновое сопротивление, **независящее**
от частоты напряжения и тока.

Линия без искажений имеет
коэффициент **затухания** и **волновое**
сопротивление, независящие от частоты
напряжения и тока.

В линии **без потерь:**
в режимах реактивной нагрузки,
холостого хода и короткого замыкания
наблюдаются **стоячие волны;**

в режимах согласованной нагрузки и
активной нагрузки не наблюдаются
стоячие волны.

**Укажите номер верного варианта
записи параметров однородной
линии без потерь:**

**1. Волновое
сопротивление**

$$\underline{Z}_B = \sqrt{L_0 / C_0};$$

**2. Постоянная
распространения**

$$\gamma = j\omega \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0};$$

**3. Фазовая
скорость**

$$V = \frac{1}{\sqrt{L_0 \cdot C_0}};$$

**4. Длина
волны**

$$\lambda = \frac{2\pi}{\omega \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0}}.$$

**Укажите номер верного варианта
записи уравнений однородной
линии без потерь при отсчете x
от конца линии:**

$$\underline{U}(x) = \underline{U}_2 \cdot \cos \beta x + jZ_B \cdot \underline{I}_2 \cdot \sin \beta x$$

$$\underline{I}(x) = j \frac{\underline{U}_2}{Z_B} \cdot \sin \beta x + \underline{I}_2 \cdot \cos \beta x$$

Электромагнитное поле

- ЭМП характеризуется следующими **четырьмя** векторными величинами:

Обозначение	Наименование	Размерность
\overline{E}	напряженность электрического поля	$\frac{В}{м}$
\overline{D}	вектор электрической индукции или электрического смещения	$\frac{Кл}{м^2}$

Обозначение	Наименование	Размерность
\overline{H}	напряженность магнитного поля	$\frac{A}{m}$
\overline{B}	индукция магнитного поля	$Tл$

Для векторов ЭМП имеем:

$$\overline{D} = \varepsilon_a \cdot \overline{E}$$

$$\overline{B} = \mu_a \cdot \overline{H}$$

Где:

$\epsilon_a = \epsilon_r \cdot \epsilon_0, \text{Ф/м}$	Абсолютная диэлектрическая проницаемость среды
$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}, \text{Ф/м}$	Электрическая постоянная
$\epsilon_r \geq 1$	Относительная диэлектрическая проницаемость среды

Где:

$\mu_a = \mu_r \cdot \mu_0, \text{ Гн/м}$	Абсолютная магнитная проницаемость среды
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}, \text{ Гн/м}$	Магнитная постоянная
$\mu_r \geq 1$	Относительная магнитная проницаемость среды

- Величины $\overline{E}, \overline{D}, \varepsilon_a$
характеризуют **электрическое поле**,
- а величины $\overline{H}, \overline{B}, \mu_a$
- магнитное поле

1. Первое уравнение Максвелла:

- а) в дифференциальной форме

$$\mathit{rot} \bar{H} = \bar{\delta} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}$$

Это уравнение означает, что *магнитное поле возбуждается током проводимости и изменяющимся во времени электрическим полем*. Величину \bar{D} называют *плотностью тока смещения*, следует учитывать, что физическая сущность тока смещения в вакууме никак не связана с движением заряда. $\bar{\delta}$ - *ток проводимости*, соответствующий движению заряженных частиц. Например ток протекающий в проводах является током проводимости. Ток обусловленный движениями ионов в 123 электролитах также является током проводимости.

Где:

$\bar{\delta} = \gamma \bar{E}$	Вектор плотности тока	$\frac{A}{m^2}$
γ	Удельная проводимость среды	$\frac{1}{\Omega \cdot m}$

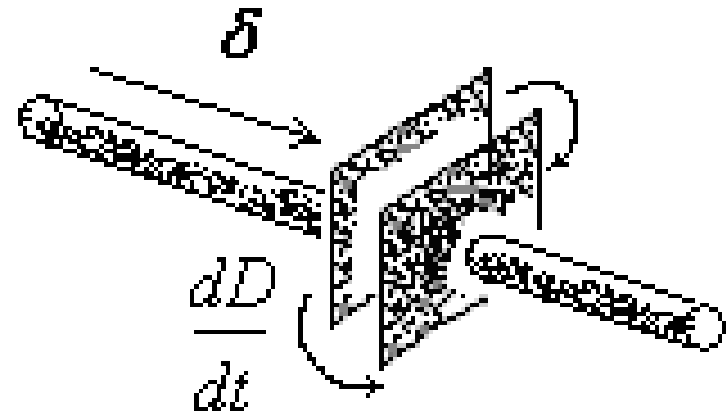
- б) в интегральной форме

$$\int \operatorname{rot} \mathbf{H} \, ds = \int \left(\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{D} + \boldsymbol{\delta} \right) ds$$

$$\int \mathbf{H} \, d\mathbf{l} = \int \boldsymbol{\delta} \, ds + \int \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{D} \, ds = I + I_{\text{см}}$$

$$\int \mathbf{H} \, d\mathbf{l} = i_{\text{полн}}$$

- - закон полного тока



2. Второе уравнение Максвелла:

- а) в дифференциальной форме

$$\mathit{rot} \bar{E} = - \frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$$

Второе уравнение Максвелла это закон электромагнитной индукции в дифференциальной форме, который описывает вихри электрического поля: Это уравнение означает, что вихревое электрическое поле возбуждается изменяющимся во времени магнитным полем.

- б) в интегральной форме

$$e = \oint_l \overline{E} d\overline{l} = - \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

- - закон электромагнитной индукции

Используя теорему Стокса, получим циркуляцию вектора E по l :

В такой форме уравнение совпадает с законом электромагнитной индукции 127

Фарадея.

Где:

$\Phi = \int_S \overline{B} dS$	Магнитный поток	<i>Вб</i>
<i>e</i>	Электродвижущая сила (ЭДС)	<i>В</i>

3. Принцип непрерывности магнитного потока:

- а) в дифференциальной форме

$$\mathit{div} \overline{B} = 0$$

Указывает на **отсутствие магнитных зарядов в природе**.

Это означает, что поле **соленоидальное**, т.е. трубчатое.

Магнитные силовые линии обязательно непрерывные т.е. линии замкнуты, либо идут из бесконечности и уходят в бесконечность.

- б) в интегральной форме

$$\oint_S \overline{B} \, \overline{dS} = 0$$

4. Теорема Гаусса:

- а) в дифференциальной форме

$$\mathit{div} \bar{D} = \rho$$

- где ρ - объемная плотность свободных зарядов,

$$\frac{\text{Кл}}{\text{м}^3}$$

источники электрического поля являются электрические заряды

Силовые линии электрического поля начинаются на положительных и заканчиваются на отрицательных зарядах

- **Вектор Пойнтинга** $\overline{\Pi}$ - как мощность потока энергии на единицу площади (Вт/м^2), перпендикулярен плоскости, в которой лежат векторы $\overline{E}, \overline{H}$ и образует с ними **правовинтовую систему**:
 \overline{E} вращается к \overline{H} по кратчайшему пути

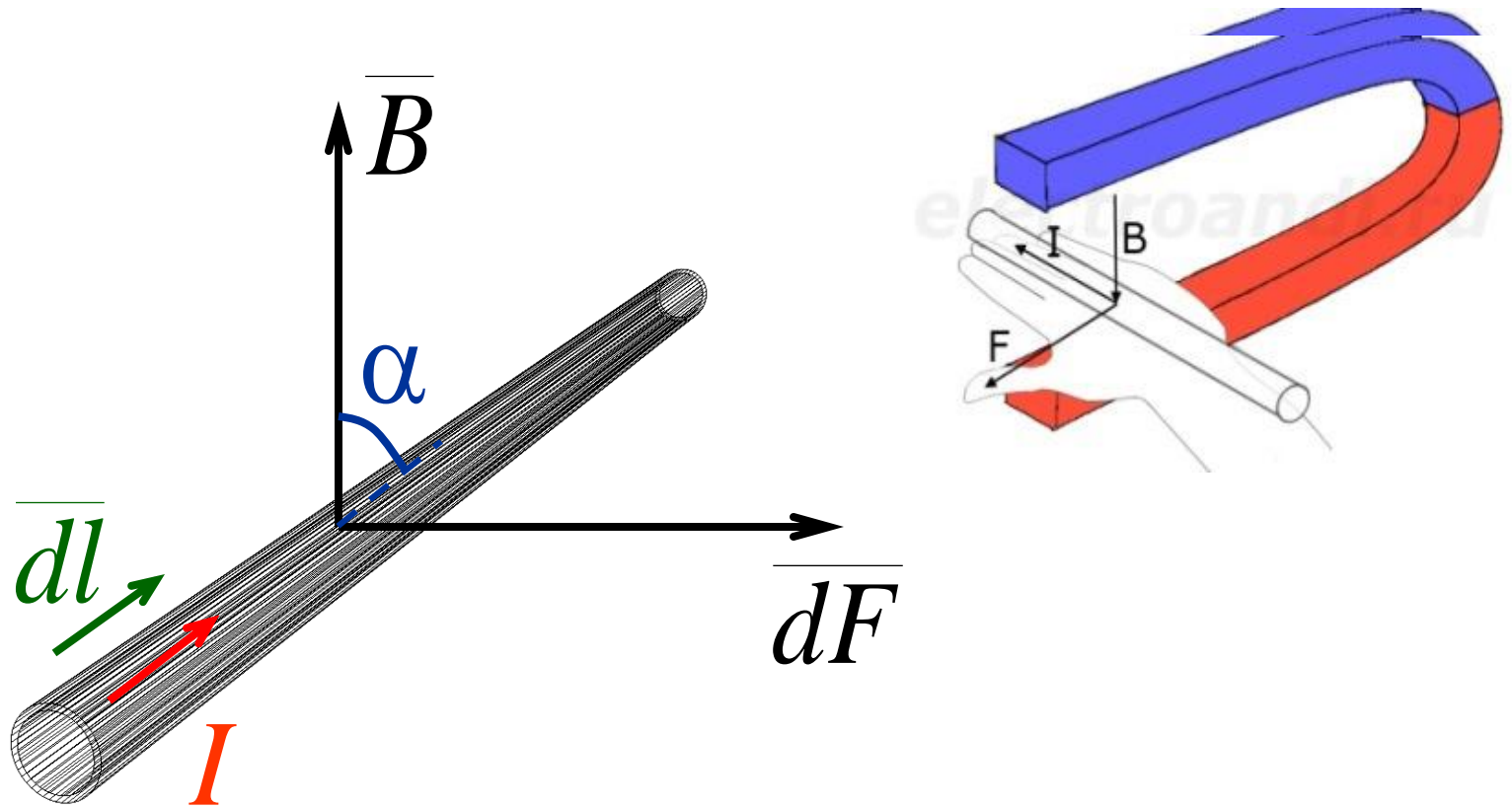
Закон Ампера:

**сила пропорциональна
произведению тока, длины проводника
и индукции внешнего поля.**

**Для прямолинейного проводника
длиной l с током I
во внешнем магнитом поле с индукцией
 B имеем силу:**

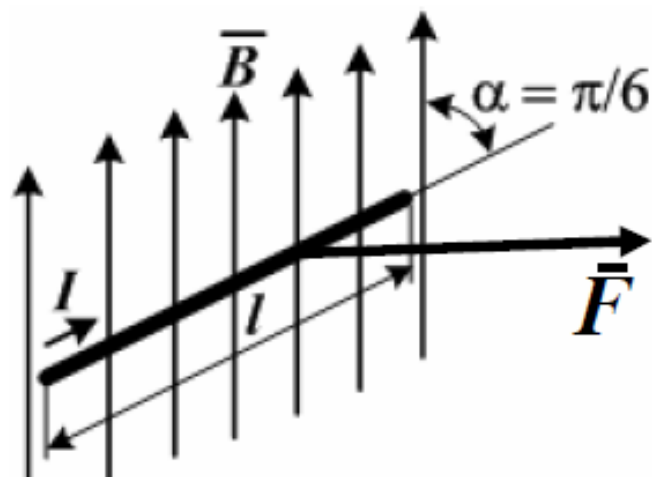
$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha, \text{ Н}$$

где α – угол между B и I .



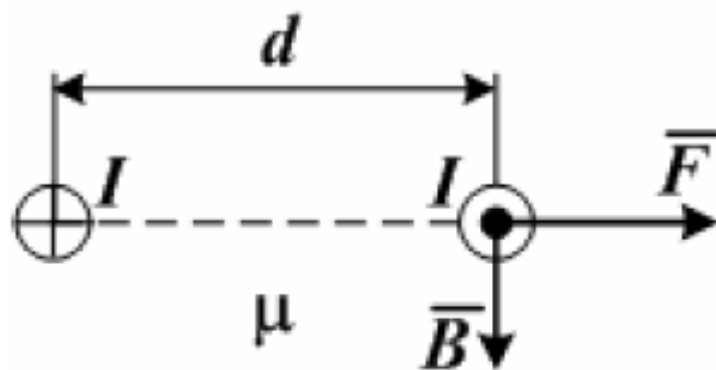
$$dF = I \cdot dl \cdot B \cdot \sin \alpha$$

Значение силы F , действующей на прямолинейный проводник длиной $l = 2$ м с током $I = 4$ А, помещенный в заданное равномерное внешнее магнитное поле с индукцией $B = 1$ Тл:



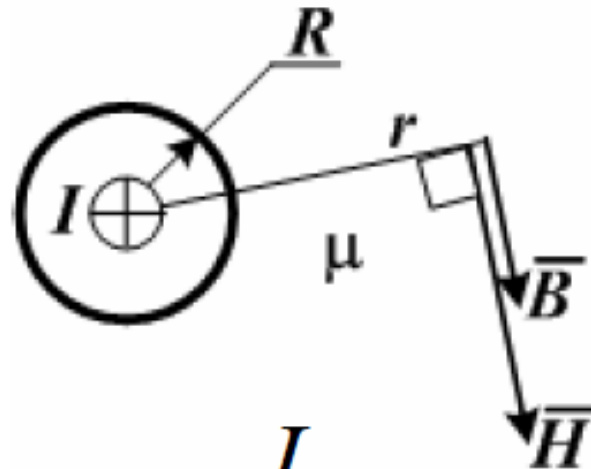
$$F = 4 \text{ (Н).}$$

**Сила F магнитного поля,
действующая на провод
длиной l двухпроводной
линии с током I :**



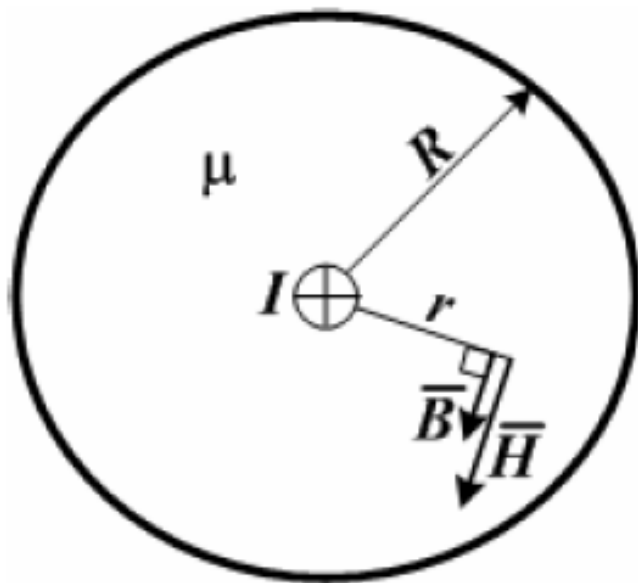
$$F = \frac{\mu \cdot l}{2\pi \cdot d} \cdot I^2 .$$

Уравнение для внешнего магнитного поля цилиндрического провода радиуса R с током I , полученного по закону полного тока:



$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r} .$$

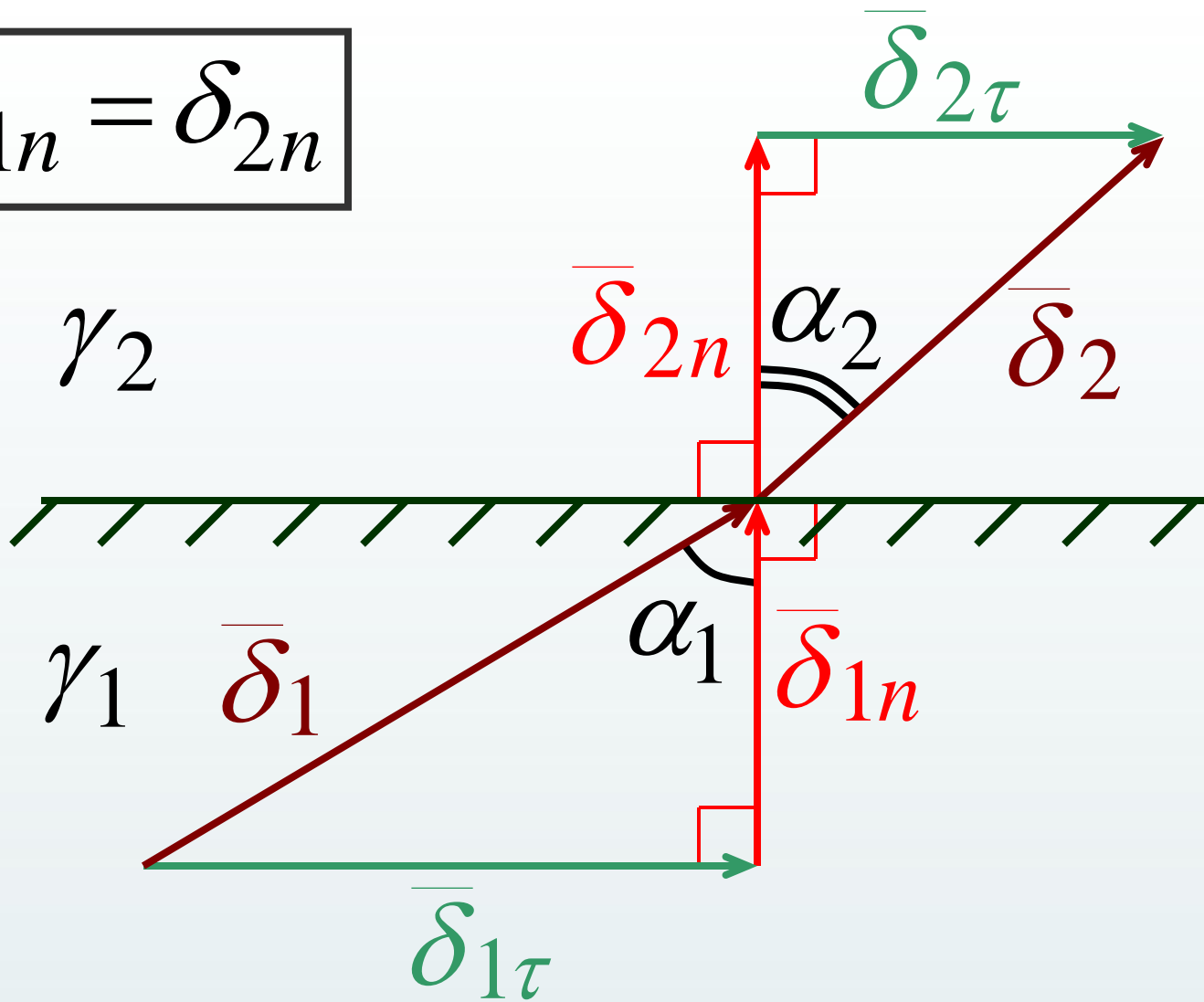
Уравнение для внутреннего магнитного поля цилиндрического провода радиуса R с током I , полученного по закону полного тока:



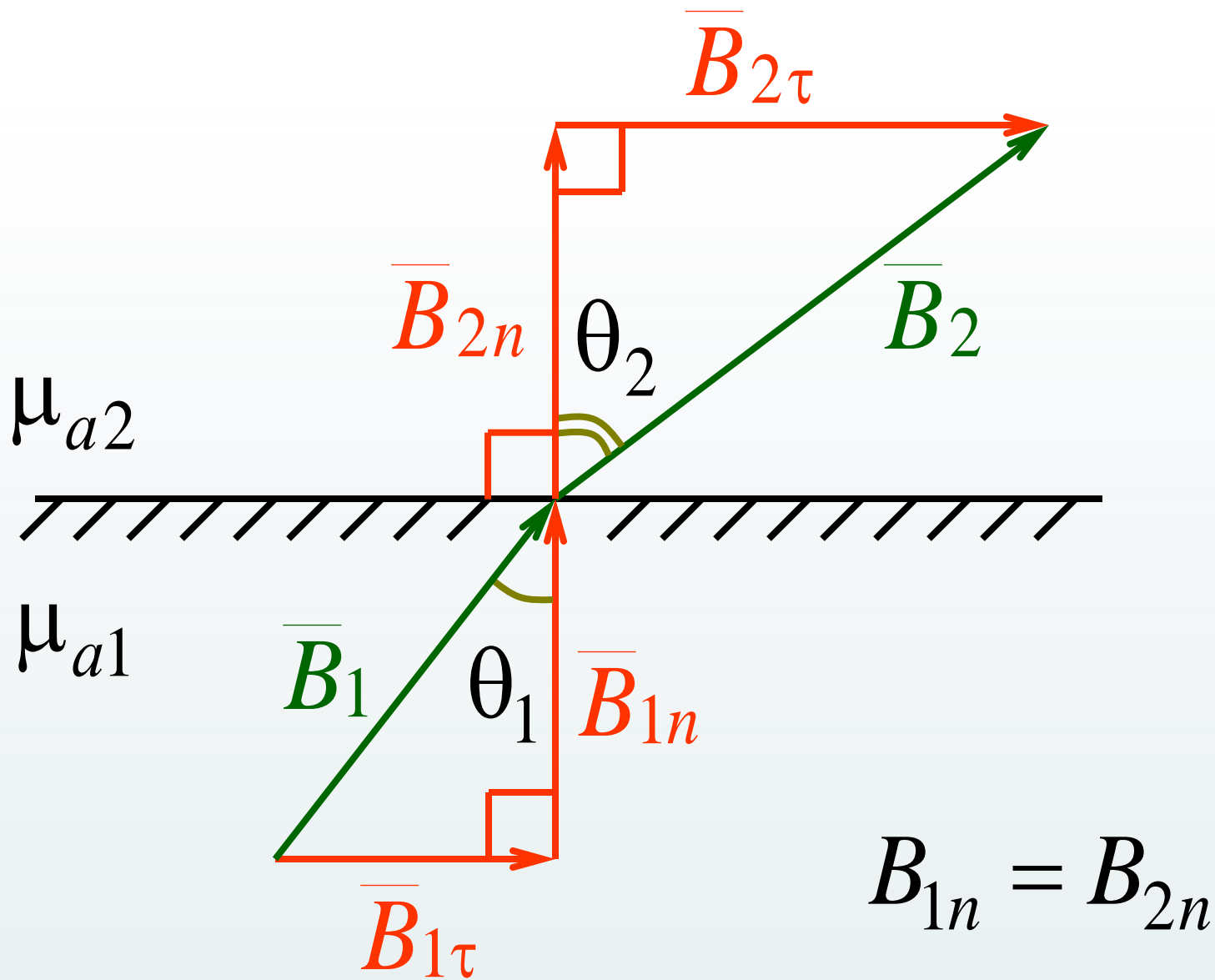
$$B = \mu \frac{I \cdot r}{2\pi \cdot R^2} .$$

*Условие для электрического поля
постоянного тока
на границе двух проводников:
равны нормальные составляющие
векторов плотности тока.*

$$\delta_{1n} = \delta_{2n}$$



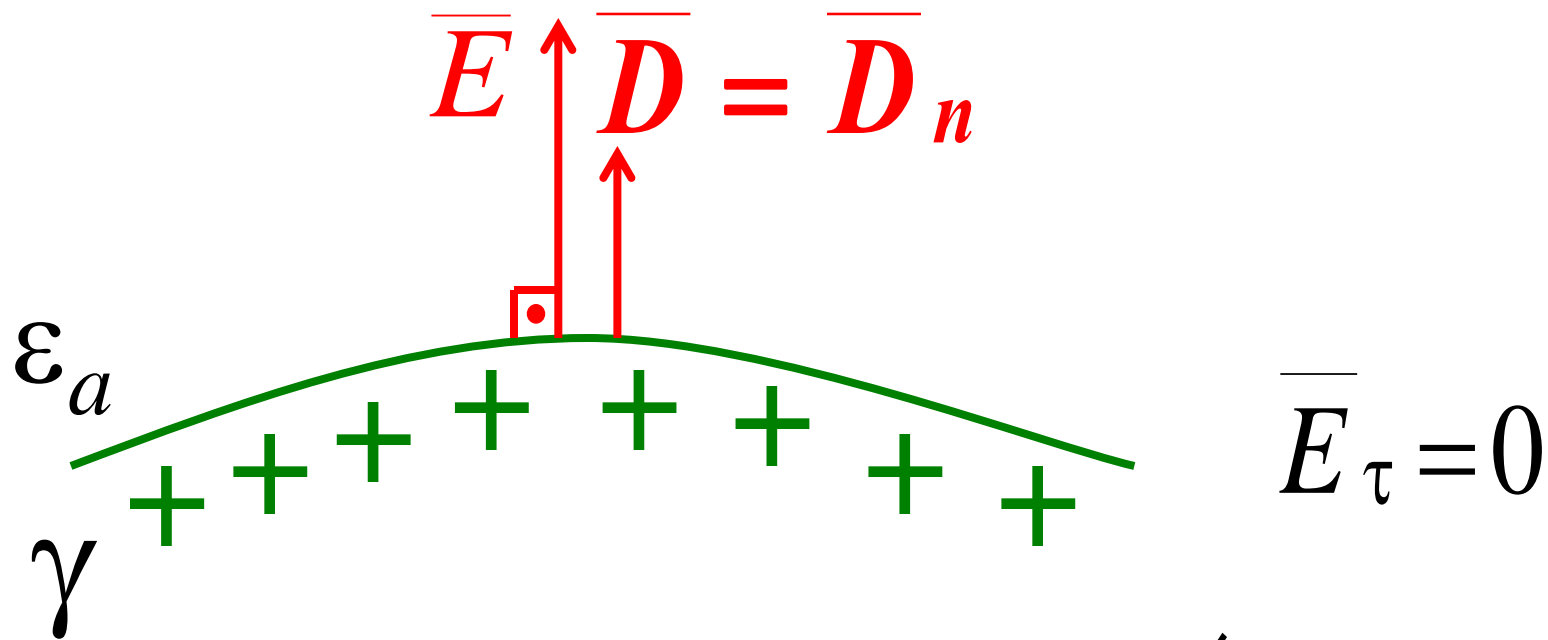
*Условие для магнитного поля
постоянного тока на границе двух
материалов с разной магнитной
проницаемостью, где равны:
нормальные составляющие
векторов индукции.*



На границе равны нормальные составляющие векторов магнитной индукции

*Условие для электростатического поля
на границе проводника и диэлектрика,
когда в диэлектрике:*

**нормальная составляющая индукции
равна поверхностной плотности
свободных зарядов.**

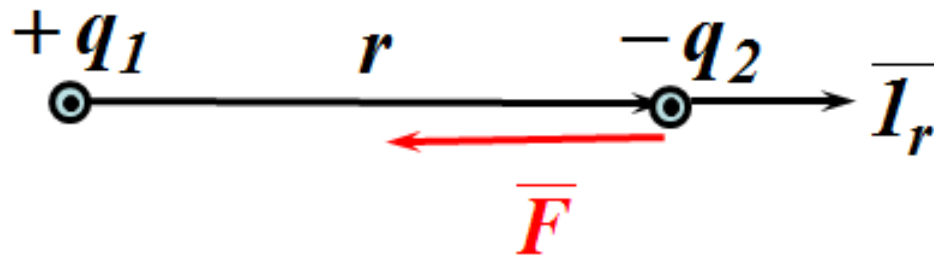


$$D = D_n = \sigma_{\text{своб}}, \frac{\text{Кл}}{\text{М}^2}$$

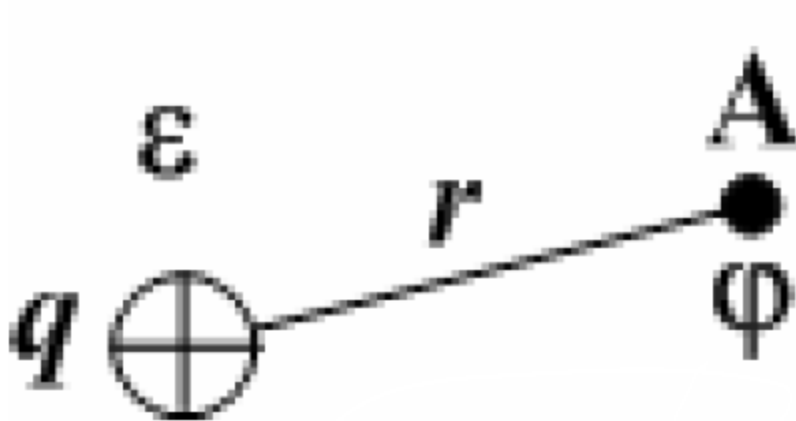
Закон Кулона

- Два точечных заряда q_1 и q_2 взаимодействуют с силой:

$$\vec{F} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_a r^2} \cdot \vec{l}_r, \quad H$$



**Уравнения в точке А
электростатического поля уединенного
точечного заряда q :**

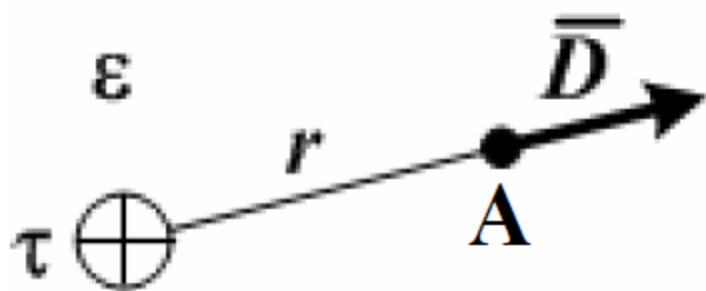


$$D = \frac{q}{4\pi \cdot r^2};$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon \cdot r^2};$$

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon \cdot r}.$$

Уравнения в точке А
электростатического поля
заряженной оси с линейной плотностью
заряда τ :



$$D = \frac{\tau}{2\pi \cdot r} ;$$

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon \cdot r} ;$$

$$\varphi = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon} \cdot \ln(r) + C.$$

Пример

$$\operatorname{div} \bar{D} = \rho$$

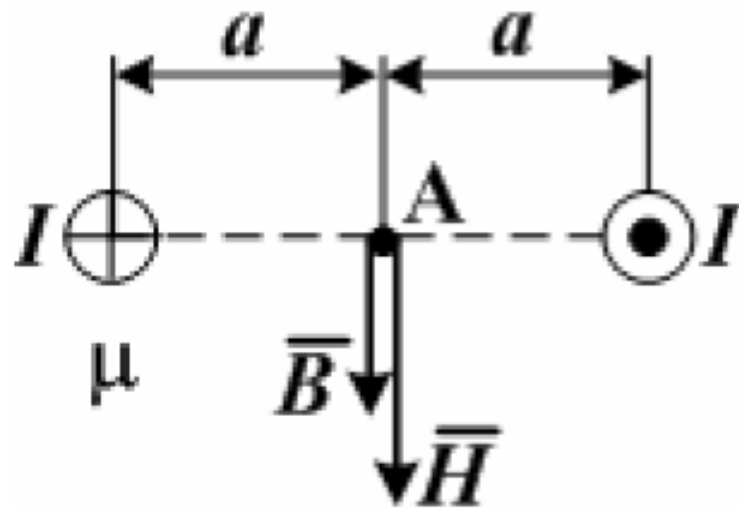
Определить объемную плотность заряда ρ (мкКл/м³),
если вектор электрической индукции:

$$\bar{D} = 5x \cdot \bar{1}_x + 3y \cdot \bar{1}_y - 2z \cdot \bar{1}_z, \text{ мкКл/м}^2.$$

$$D(x, y, z) := \begin{pmatrix} 5x \\ 3y \\ -2 \cdot z \end{pmatrix}$$

$$\operatorname{div}(x, y, z) := \frac{\partial}{\partial x} D(x, y, z)_0 + \frac{\partial}{\partial y} D(x, y, z)_1 + \frac{\partial}{\partial z} D(x, y, z)_2 \quad \rho := \operatorname{div}(x, y, z) \rightarrow 6 \quad (\text{мкКл/м}^3)$$

Уравнение для индукции и напряженности магнитного поля в точке А двухпроводной линии с током I :



$$B = \frac{\mu I}{\pi \cdot a}; \quad H = \frac{I}{\pi \cdot a} .$$

**Электростатическое поле
имеет истоки, так как:**

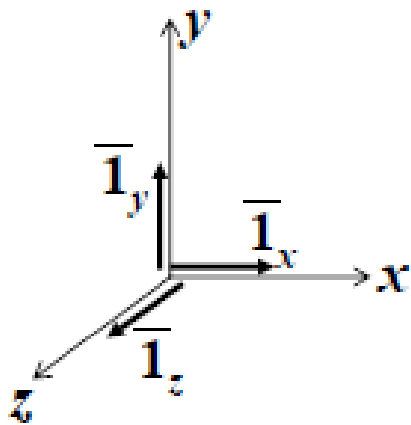
$$\operatorname{div} \overline{D} = \rho .$$

Примечание. В декартовой системе координат:

$\bar{l}_x, \bar{l}_y, \bar{l}_z$ – единичные векторы;

$$\bar{E} = E_x \cdot \bar{l}_x + E_y \cdot \bar{l}_y + E_z \cdot \bar{l}_z;$$

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2};$$



$$\text{rot} \bar{E} = \begin{vmatrix} \bar{l}_x & \bar{l}_y & \bar{l}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix} = \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) \cdot \bar{l}_x +$$

$$+ \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \cdot \bar{l}_y + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) \cdot \bar{l}_z = 0;$$

$$\bar{D} = \varepsilon_a \bar{E}; \quad D_{x,y,z} = \varepsilon_a E_{x,y,z};$$

$$\bar{D} = D_x \cdot \bar{1}_x + D_y \cdot \bar{1}_y + D_z \cdot \bar{1}_z;$$

$$\operatorname{div} \bar{D} = \frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} = \rho;$$

$$\bar{E} = -\operatorname{grad}(\varphi) = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} \cdot \bar{1}_x - \frac{\partial \varphi}{\partial y} \cdot \bar{1}_y - \frac{\partial \varphi}{\partial z} \cdot \bar{1}_z;$$

$$\nabla^2 \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon_a}.$$