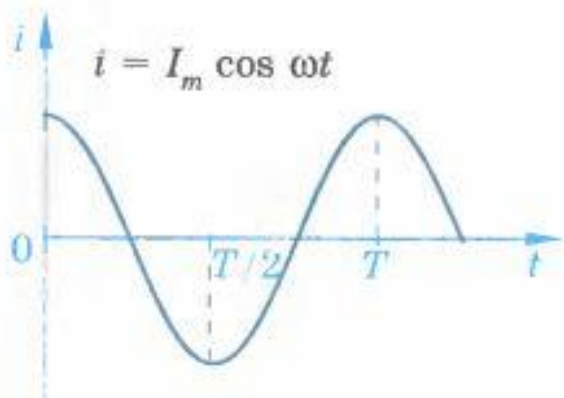


# **Колебательный контур в цепи переменного тока**

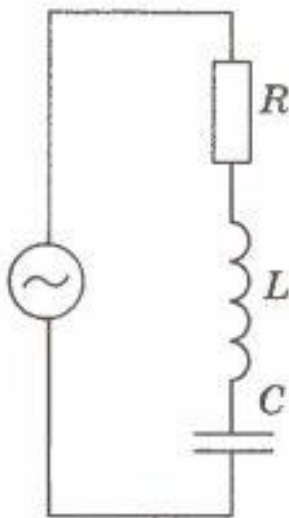


**Сегодня среда, 29 мая 2013 г.**

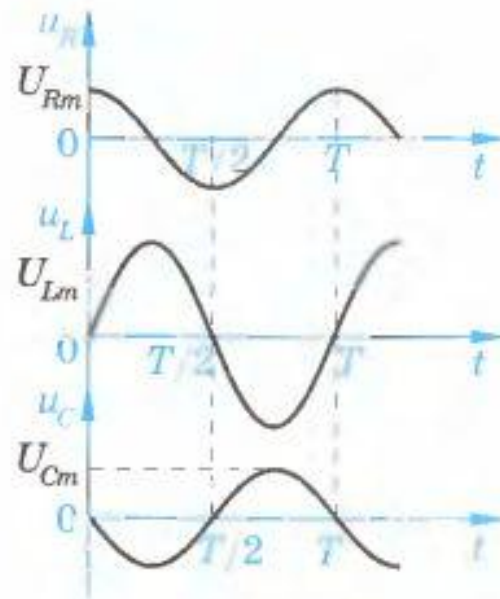
# Вынужденные электромагнитные колебания в колебательном контуре



а)



б)



в)

- Колебательный контур в цепи переменного тока: а) график изменения силы тока; б) схема включения; в) графики напряжений на элементах цепи

# Вынужденные электромагнитные колебания в колебательном контуре

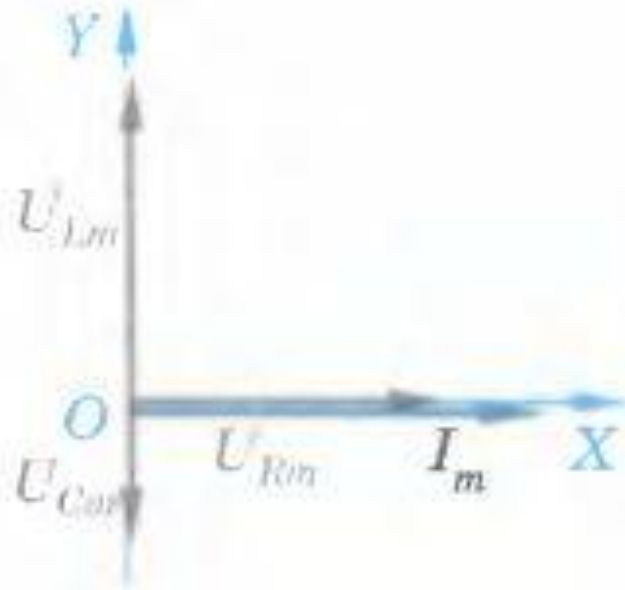
$$i = I_m \cos \omega t.$$

$$Z = \frac{U_m}{I_m}.$$

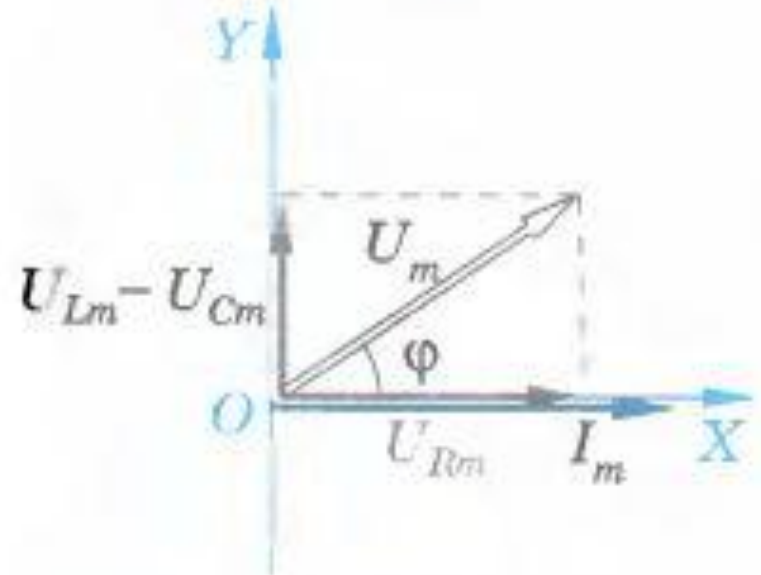
$$u = u_R + u_L + u_C.$$

• В любой момент времени мгновенное значение приложенного напряжения равно сумме мгновенных значений напряжений на последовательно включенных элементах цепи: резисторе  $u_R$ , катушке индуктивности  $u_L$  и конденсаторе  $u_C$

## Векторная диаграмма для колебательного контура



а)



б)

а) напряжения на элементах; б) напряжение, приложенное к контуру

# Вынужденные электромагнитные колебания в колебательном контуре

$$u_R = U_{Rm} \cos \omega t,$$
$$U_{Rm} = I_m R.$$

$$U_m = \sqrt{U_{Rm}^2 + (U_{Lm} - U_{Cm})^2}.$$

$$u_L = U_{Lm} \cos (\omega t + \pi/2),$$
$$U_{Lm} = I_m X_L = I_m \omega L.$$

$$U_m = I_m \sqrt{R^2 + \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}.$$

$$u_C = U_{Cm} \cos (\omega t - \pi/2),$$
$$U_{Cm} = I_m X_C = I_m \frac{1}{\omega C}.$$

$$u = U_m \cos (\omega t + \varphi),$$

# Вынужденные электромагнитные колебания в колебательном контуре

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega L - 1/(\omega C)}{R}.$$

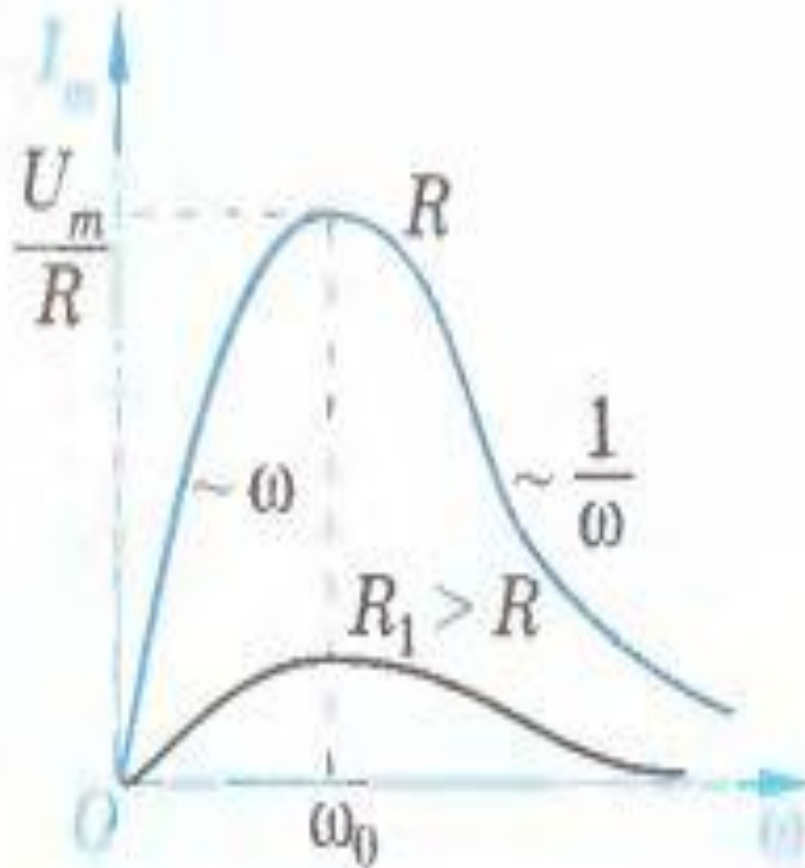
$$\omega L = \frac{1}{\omega C}.$$

$$Z = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0.$$

$$I_m = \frac{U_m}{Z} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

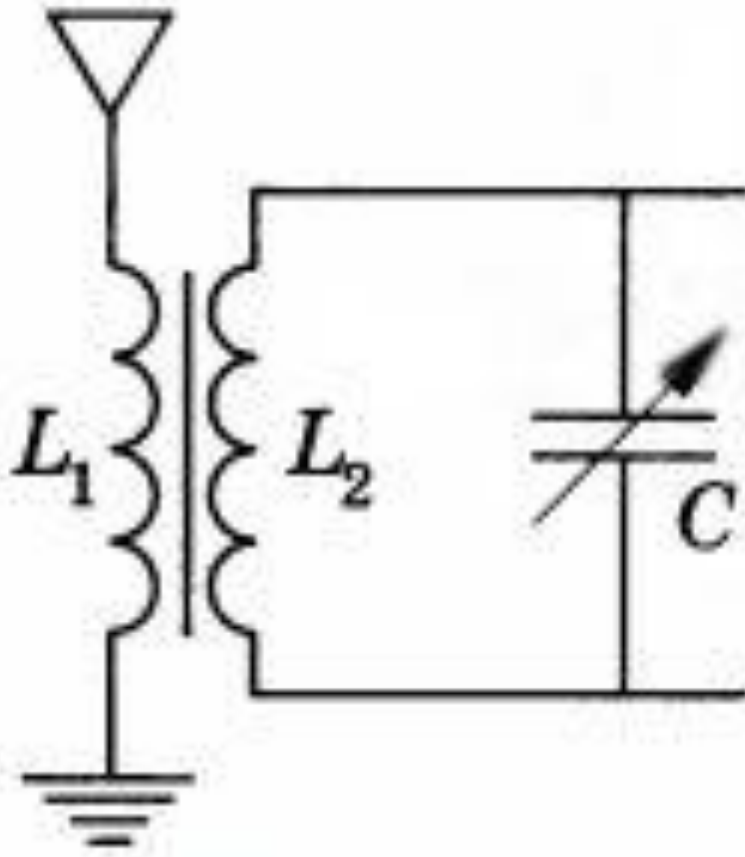
## *Резонанс в колебательном контуре*



Резонанс в колебательном контуре — физическое явление резкого возрастания амплитуды колебаний силы тока в контуре при совпадении частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний в нем.



# *Применение резонанса в колебательном контуре*



Явление резонанса широко используется в радиотехнике: в схемах настройки радиоприемников, усилителей, генераторов высокочастотных колебаний. Колебательный контур служит для выделения сигнала требуемой частоты в схеме настройки радиоприемника на нужную станцию, ведущую передачи на определенной частоте  $\omega_0$ .

# Вопросы

- 1. Какова зависимость от времени напряжения на катушке индуктивности и конденсаторе в колебательном контуре, если напряжение на резисторе изменяется с течением времени по закону  $u_L = U_{Lm} \cos \omega t$ ?

Ответ

Напряжение на катушке индуктивности:

$$u_L = U_{Lm} \cos (\omega t + \pi/2), U_{Lm} = I_m X_L = I_m \omega L.$$

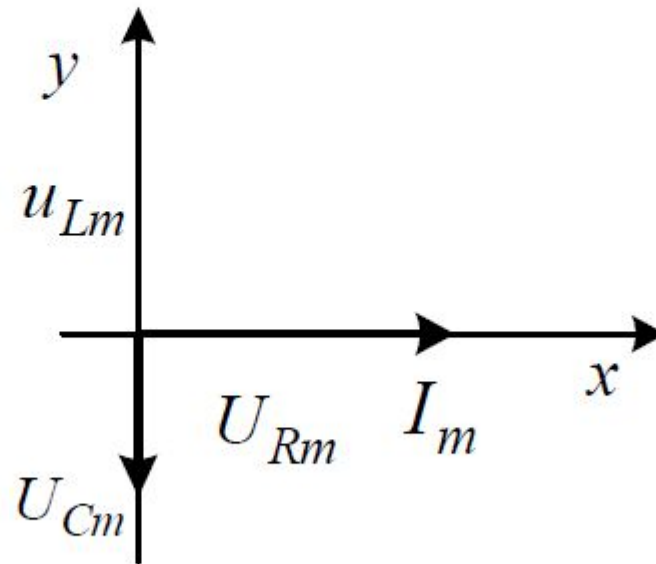
Напряжение на конденсаторе:

$$u_C = U_{Cm} \cos (\omega t - \pi/2), U_{Cm} = I_m X_C = I_m / \omega C.$$

# Вопросы

- 2. Изобразите на векторной диаграмме векторы, соответствующие колебаниям силы тока  $I_{mT}$  и напряжений на элементах контура  $L$ ,  $C$ ,  $R$ .

Ответ



# Вопросы

- 3. Как полное сопротивление колебательного контура переменному току зависит от частоты тока и параметров контура  $L$ ,  $C$ ,  $R$ ?

3. Полное сопротивление колебательного контура:

$$Z = U_m / I_m = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1 / \omega C)^2}.$$

# Вопросы

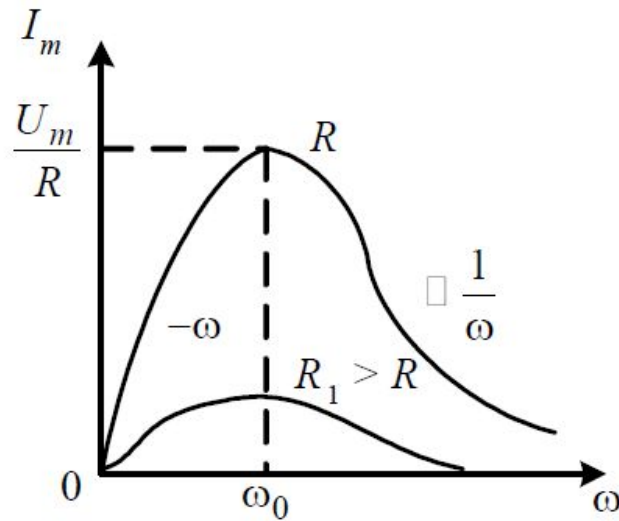
•4. Охарактеризуйте явление резонанса в колебательном контуре. Как используется явление резонанса в радиотехнике?

Ответ

Резонанс в колебательном контуре – это физическое явление резкого возрастания амплитуды колебаний тока в контуре, если частота вынужденных колебаний совпадает с частотой собственных колебаний в контуре. Оно используется в схемах настройки усилителей, радиоприемников, генераторов высокочастотных колебаний

# вопросы

- 5. Нарисуйте резонансную кривую при двух различных значениях активного сопротивления.



# задачи

1. Колебательный контур включен в сеть переменного напряжения Действующее значение напряжения на конденсаторе  $U_C = 100$  В, на катушке индуктивности  $U_L = 60$  В, на резисторе  $U_R = 30$  В. Найдите действующее значение напряжения сети **[50 В]**

Дано:

$$U_C = 100 \text{ В}$$

$$U_L = 60 \text{ В}$$

$$U_R = 30 \text{ В}$$

$$U = ?$$

Решение:

$$U_m = \sqrt{U_{Rm}^2 + (U_{Lm} - U_{Cm})^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{900 + (60 - 100)^2} =$$

$$= 50 \text{ В}$$

Ответ:  $U = 50 \text{ В}$ .

## задачи

2. Колебательный контур состоит из конденсатора с емкостным сопротивлением  $x_C = 2,5$  кОм и катушки индуктивности, индуктивное сопротивление которой  $x_L = 2$  кОм. Найдите полное сопротивление контура. **[500 Ом]**

Дано:

$$x_C = 2,5 \text{ кОм}$$

$$x_L = 2 \text{ кОм}$$

---

$$Z = ?$$

Решение:

$$Z = x_L - x_C = 0,5 \text{ кОм}$$

Ответ:  $Z = 500 \text{ Ом}$ .



## задачи

3. Колебательный контур, подключенный к генератору, содержит резистор, сопротивление которого  $R = 5 \text{ Ом}$ , катушку индуктивностью  $L = 5 \text{ Гн}$  и конденсатор. Определите емкость конденсатора, при которой в контуре при частоте  $1 \text{ кГц}$  возникает резонанс. Найдите показание амперметра (включенного в сеть) при резонансе, если действующее напряжение на генераторе  $220 \text{ В}$  **[0,5 мкФ; 44 А]**

Дано:

$$R = 5 \text{ Ом}$$

$$L = 5 \text{ Гн}$$

$$\nu = 1 \text{ кГц} = 10^3 \text{ Гц}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$C = ?$

Решение:

$$\nu = \frac{2\pi}{\sqrt{LC}} \Rightarrow C = \frac{4\pi^2}{\nu^2 L} = \frac{4 \cdot (3,14)^2}{10^6 \text{ Гц} \cdot 5 \text{ Гн}} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$I = U / Z = U \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/(\omega C))^2} =$$

$$= U / R = \frac{220 \text{ В}}{5 \text{ Ом}} = 44 \text{ А.}$$

Ответ:  $C = 8 \text{ мкФ}$ ;  $I = 44 \text{ А}$ .

## задачи

4. Электрическая цепь состоит из катушки индуктивностью  $L = 0,2$  Гн, конденсатора емкостью  $C = 0,1$  мкФ и резистора сопротивлением  $R = 367$  Ом. Найдите индуктивное сопротивление  $x_L$ , емкостное сопротивление  $x_C$  и полное сопротивление контура  $Z$  при частоте тока  $\nu = 1$  кГц.  **$[x_L = 1,26$  кОм;  $x_C = 1,6$  кОм;  $Z = 500$  Ом]**

Дано:

$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

$$C = 0,1 \text{ мкФ} = 10^{-7} \text{ Ф}$$

$$R = 367 \text{ Ом}$$

$$\nu = 1 \text{ кГц} = 10^3 \text{ Гц}$$

$$x_L; x_C; Z - ?$$

Решение:

$$\omega = 2\pi\nu = 6,28 \text{ кГц}$$

$$\text{Тогда } x_L = \omega L = 1,26 \text{ кОм}$$

$$x_C = 1/(\omega C) = 1,6 \text{ кОм}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/(\omega C))^2} =$$

$$= \sqrt{1346890 \text{ Ом}^2 + (1,26 \cdot 10^3 \text{ Ом} - 1,6 \cdot 10^3 \text{ Ом})^2} =$$
$$= 500 \text{ Ом}$$

Ответ:  $x_L = 1,26$  кОм;  $x_C = 1,6$  кОм;  $Z = 500$  Ом

## задачи

5. К генератору переменного тока с частотой  $\nu = 100$  Гц подключены катушка индуктивностью  $L = 0,5$  Гн, конденсатор емкостью  $C = 4$  мкФ и резистор сопротивлением  $R = 54$  Ом. Сила тока в цепи  $I = 0,5$  А. Найдите полное сопротивление цепи и максимальное напряжение на генераторе. **[100 Ом; 37,8 В]**

Дано:

$$L = 0,5 \text{ Гн}$$

$$C = 4 \text{ мкФ} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$R = 54 \text{ Ом}$$

$$\nu = 100 \text{ Гц}$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

$Z; U_m - ?$

Решение:

$$\omega = 2\pi\nu = 628 \text{ рад/с}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/(\omega C))^2} =$$

$$= \sqrt{54^2 \text{ Ом}^2 + (628 \cdot 0,5 \text{ Гн} - \frac{1}{628 \text{ рад/с} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}})^2} =$$

$$= 100 \text{ Ом}$$

$$U_m = I_m Z = I\sqrt{2} \cdot Z = 0,5 \cdot 1,42 \cdot 100 \text{ Ом} = 70,7 \text{ В}$$

Ответ:  $Z = 100 \text{ Ом}; U_m = 70,7 \text{ В}.$

# Задача ЕГЭ

**A16.** Чтобы увеличить период электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре в 2 раза, достаточно емкость конденсатора в контуре

1) увеличить в 2 раза

2) уменьшить в 2 раза

3) увеличить в 4 раза

4) уменьшить в 4 раза

## Задача ЕГЭ

A14. Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью  $C$  и катушки индуктивностью  $L$ . Как изменится период свободных электромагнитных колебаний в этом контуре, если ёмкость конденсатора и индуктивность катушки увеличить в 2 раза?

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1) не изменится        | 3) уменьшится в 2 раза |
| 2) увеличится в 4 раза | 4) увеличится в 2 раза |

## Задача ЕГЭ

A16. Чтобы увеличить частоту электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре в 2 раза, достаточно индуктивность катушки в контуре

1) увеличить в 2 раза

3) увеличить в 4 раза

2) уменьшить в 2 раза

4) уменьшить в 4 раза

## Задача ЕГЭ

A16. В момент  $t = 0$  энергия конденсатора в идеальном колебательном контуре максимальна и равна  $E_0$ . Через четверть периода колебаний энергия катушки индуктивности в контуре равна

1)  $E_0$

2)  $0,5E_0$

3)  $0,25E_0$

4) 0

# Задача ЕГЭ

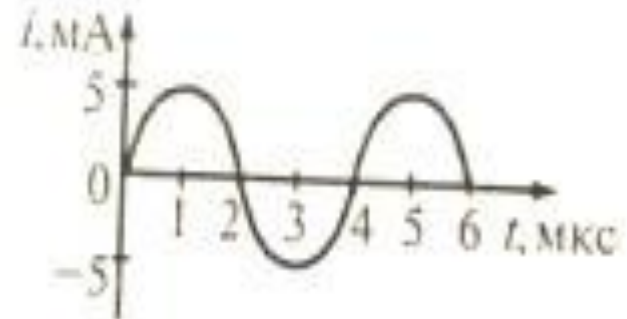
A16. На рисунке приведен график гармонических колебаний тока в колебательном контуре. Если катушку в этом контуре заменить на другую катушку, индуктивность которой в 4 раза меньше, то период колебаний будет равен

1) 1 мкс

2) 2 мкс

3) 4 мкс

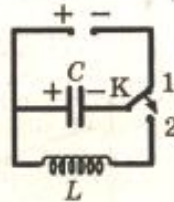
4) 8 мкс



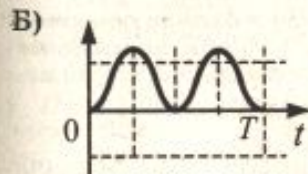
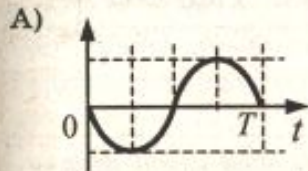


# Задача ЕГЭ

**В3.** Конденсатор колебательного контура подключен к источнику постоянного напряжения (см. рисунок). Графики А и Б представляют изменения физических величин, характеризующих колебания в контуре после переключения переключателя К в положение 2. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



## ГРАФИКИ



## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) заряд левой обкладки конденсатора
- 2) энергия электрического поля конденсатора
- 3) сила тока в катушке
- 4) энергия магнитного поля катушки

А	Б

# Задача ЕГЭ

**A16.** Колебательный контур состоит из конденсатора с емкостью  $C$  и катушки индуктивностью  $L$ . Изменится период свободных электромагнитных колебаний в этом контуре, если и емкость конденсатора, и индуктивность катушки увеличить в 2 раза?

- 1) не изменится
- 2) увеличится в 4 раза
- 3) уменьшится в 2 раза
- 4) увеличится в 2 раза

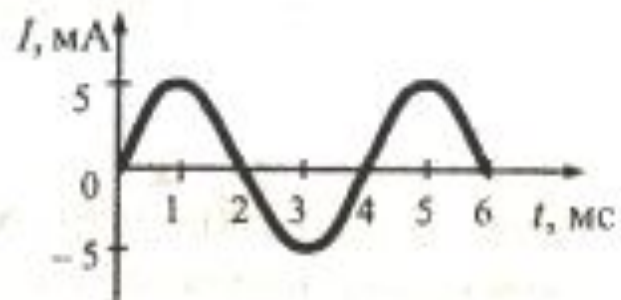
# Задача ЕГЭ

**A14.** В наборе радиодеталей для изготовления простого колебательного контура имеются две катушки с индуктивностями  $L_1 = 1$  мкГн и  $L_2 = 2$  мкГн, а также два конденсатора, ёмкости которых  $C_1 = 30$  пФ и  $C_2 = 40$  пФ. При каком выборе двух элементов из этого набора частота собственных колебаний контура  $\nu$  будет наибольшей?

- 1)  $L_1$  и  $C_1$
- 2)  $L_1$  и  $C_2$
- 3)  $L_2$  и  $C_2$
- 4)  $L_2$  и  $C_1$

# Задача ЕГЭ

**A24.** На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре, состоящем из последовательно соединённых конденсатора и катушки, индуктивность которой равна  $0,2$  Гн.

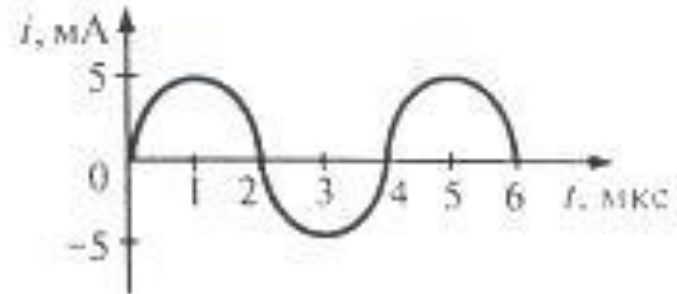


Максимальное значение энергии магнитного поля катушки равно

- 1)  $2,5 \cdot 10^{-6}$  Дж    2)  $5 \cdot 10^{-6}$  Дж    3)  $5 \cdot 10^{-4}$  Дж    4)  $10^{-3}$  Дж

# Задача ЕГЭ

**A19.** На рисунке приведен график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре с последовательно включенными конденсатором и катушкой, индуктивность которой равна  $0,2$  Гн. Максимальное значение энергии электрического поля конденсатора равно

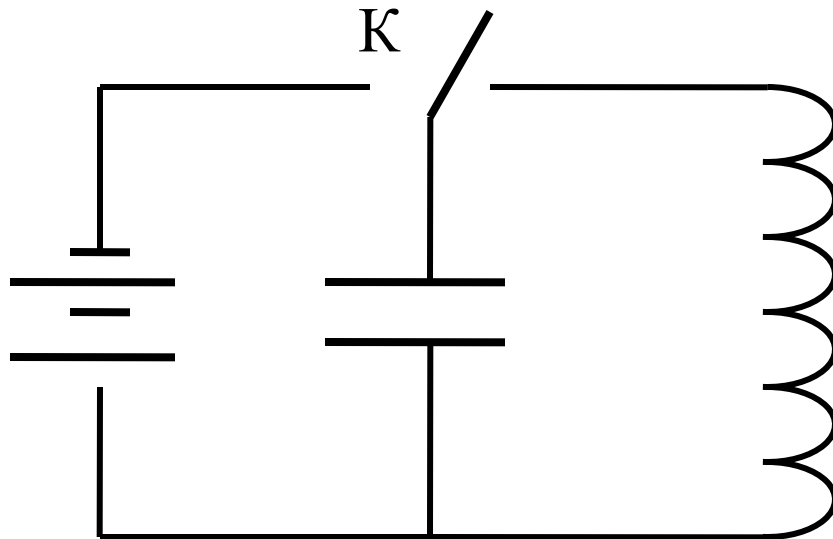
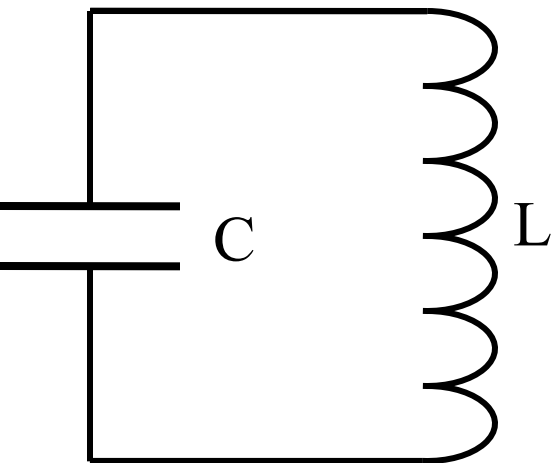


- 1)  $2,5 \cdot 10^{-6}$  Дж    2)  $5 \cdot 10^{-6}$  Дж    3)  $5 \cdot 10^{-4}$  Дж    4)  $10^{-3}$  Дж

# Задача ЕГЭ

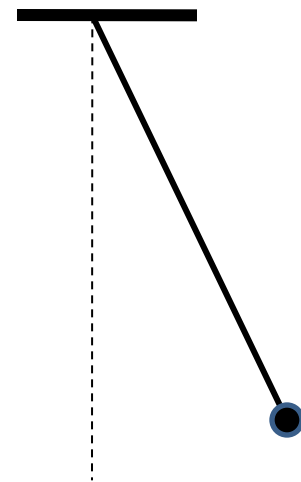
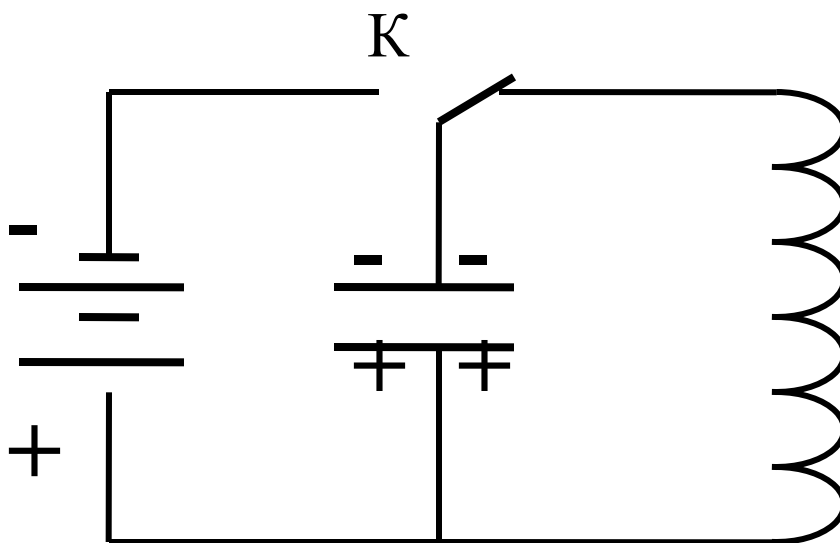
**A14.** В наборе радиодеталей для изготовления простого колебательного контура имеются две катушки с индуктивностями  $L_1 = 1$  мкГн и  $L_2 = 2$  мкГн, а также два конденсатора, ёмкости которых  $C_1 = 30$  пФ и  $C_2 = 40$  пФ. При каком выборе двух элементов из этого набора период собственных колебаний контура  $T$  будет наименьшим?

- 1)  $L_1$  и  $C_1$       2)  $L_2$  и  $C_2$       3)  $L_2$  и  $C_1$       4)  $L_1$  и  $C_2$

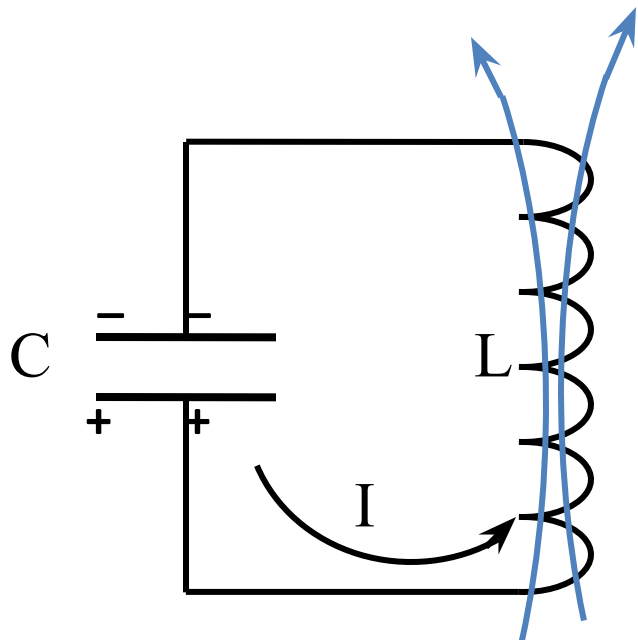


$q = \max$

$W_{эл} = \max$



$t = 0 - \frac{1}{4} T$



$t = 0: q = \max$

$W_{\text{эл}} = \max.$

---

$t = 0 - 1/4 T$

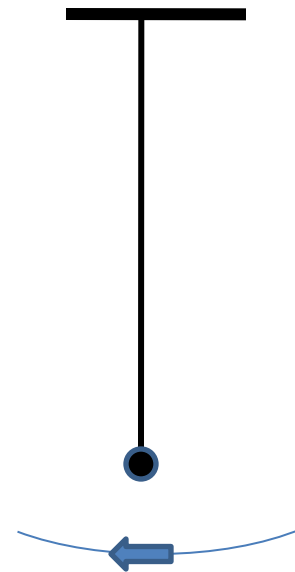
$I \uparrow \quad q \downarrow \quad W_{\text{эл}} \downarrow \quad W_{\text{м}} \uparrow$

$t = 1/4 T$

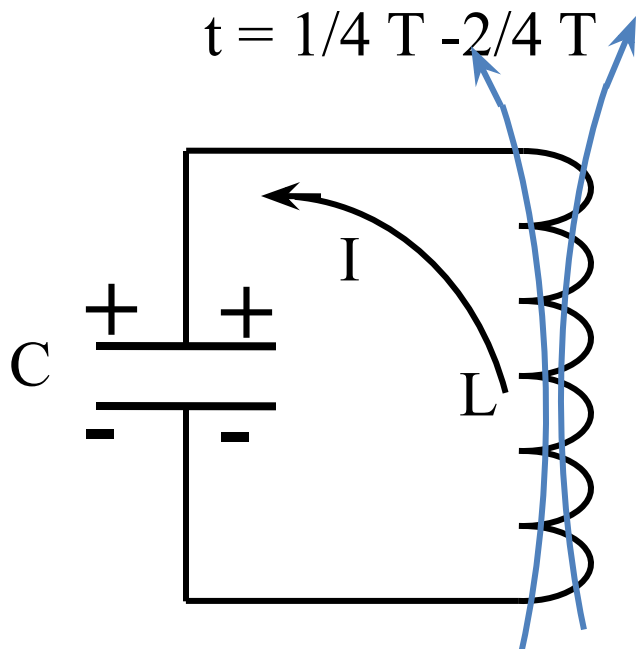
---

$I = \max \quad W_{\text{м}} = \max$

$q = 0 \quad W_{\text{эл}} = 0$







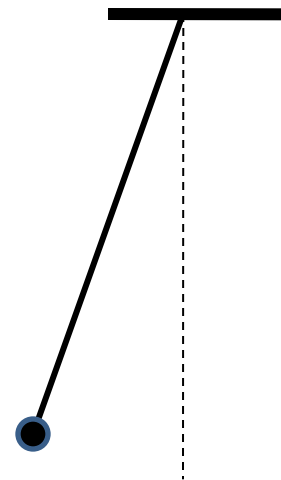
$t = 1/4 T$   
 $I = \max \quad W_M = \max$   
 $q = 0 \quad W_{эл} = 0$

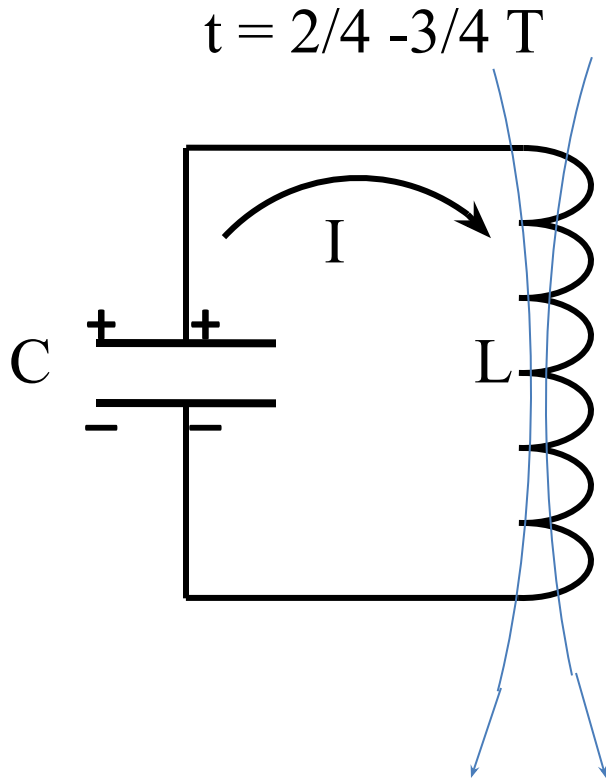
---

$t = 1/4 T - 2/4 T$   
 $I \downarrow \quad W_M \downarrow \quad q \uparrow \quad W_{эл} \uparrow$

---

$t = 2/4 T$   
 $I = 0 \quad W_M = 0$   
 $q = -\max \quad W_{эл} = \max$





$t = 2/4 T$

$I = 0 \quad W_M = 0$

$q = -\max \quad W_{эл} = \max$

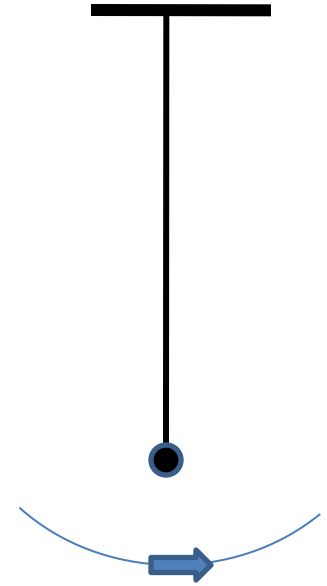
$t = 2/4 - 3/4 T$

$I \uparrow \quad q \downarrow \quad W_{эл} \downarrow \quad W_M \uparrow$

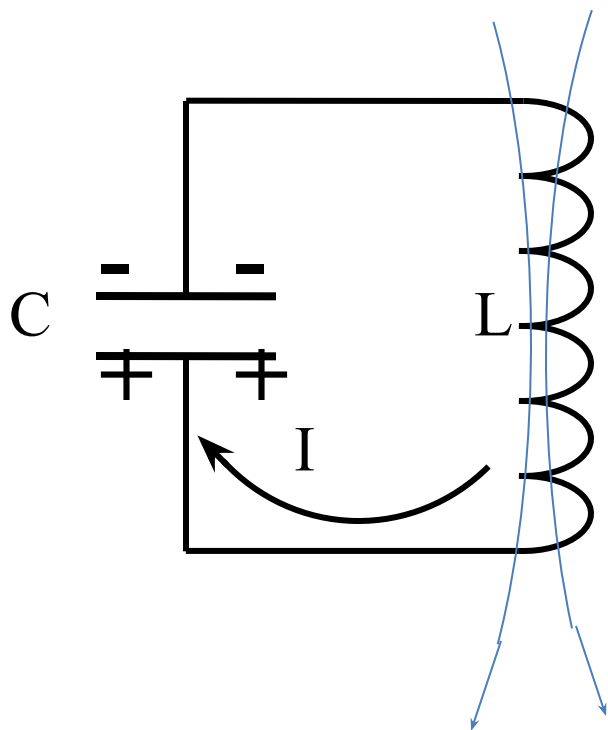
$t = 3/4 T$

$I = -\max \quad W_M = \max$

$q = 0 \quad W_{эл} = 0$



$$t = 3/4 T - 4/4 T$$



$$t = 3/4 T$$

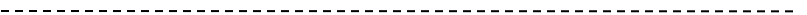
$$I = -\max \quad W_M = \max$$

$$q = 0 \quad W_{\text{эл}} = 0$$



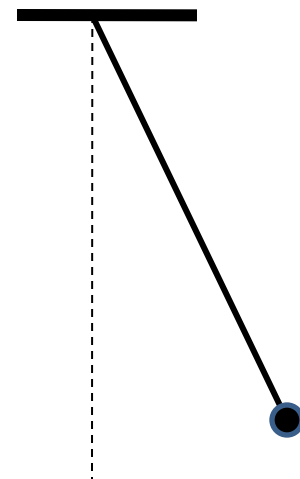
$$t = 3/4 T - 4/4 T$$

$$I \downarrow \quad W_M \downarrow \quad q \uparrow \quad W_{\text{эл}} \uparrow$$

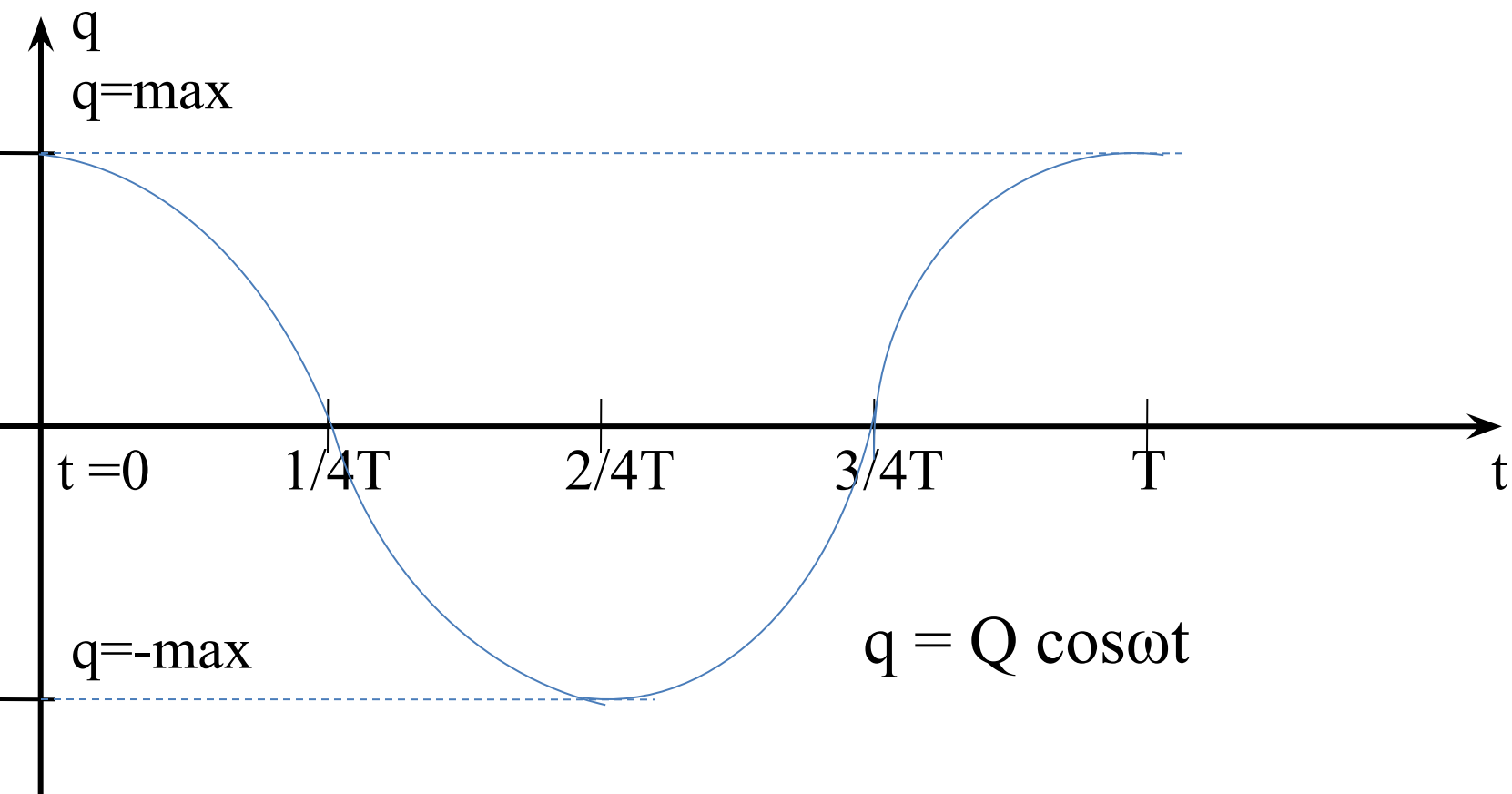


$$t = 4/4 T = T$$

$$q = \max \quad W_{\text{эл}} = \max$$



$t = 0$	$1/4T$	$2/4T$	$3/4T$	$T$
$q = \max$	$0$	$- \max$	$0$	$\max$



$t = 0$	$1/4T$	$2/4T$	$3/4T$	$T$
$q = \text{max}$	$0$	$-\text{max}$	$0$	$\text{max}$
$I = 0$	$\text{max}$	$0$	$-\text{max}$	$0$

