

Física IV

24 agosto 2020

Circuitos de Corrente Alternada

SFI-7600008—Física IV

Atualizado em 18 de agosto de 2020

Descrição

Física IV complementa a discussão das leis da eletricidade e do magnetismo que vimos em Física III. Começaremos com circuitos de corrente alternada. A seguir, voltaremos a examinar as equações de Maxwell, para completar o quadro e encontrar a sua consequência mais importante: a radiação eletromagnética. Daremos atenção especial à radiação visível. Na segunda parte do semestre, veremos como a evolução da ótica conduziu à teoria restrita da relatividade. Em seguida, aprenderemos os conceitos básicos da cinemática e da dinâmica relativísticas. A ementa se divide em seis seções.

Temas

1. Circuitos de corrente alternada;
2. Equações de Maxwell e radiação eletromagnética;
3. Ótica geométrica;
4. Ótica;
5. Relatividade: cinemática;
6. Relatividade: dinâmica e eletromagnetismo.

Bibliografia

- H. M. Nussenzveig *Curso de Física Básica; vol. 4;*

Sistemática

Ciclos. Descontados os feriados, o semestre letivo compreende quinze semanas, que serão divididas em cinco ciclos de três semanas. Seguiremos o modelo adotado em Física III.

Listas. Na primeira semana de cada ciclo, depois das aulas, publicarei no Moodle uma lista de exercícios. Na segunda semana, na segunda-feira, haverá um teste: um exercício será sorteado, e todos terão cerca de quinze minutos para resolvê-lo e depositar no Moodle uma foto da solução.

Provas. Na terceira semana de cada ciclo, haverá uma prova, com uma hora de duração, que também deverá ser fotografada e depositada no Moodle.

Programa

- Circuitos de corrente alternada
- Equações de Maxwell e radiação
- Ótica geométrica
- Ótica
- Relatividade restrita
 - Cinemática
 - Dinâmica e eletromagnetismo

Texto

- H. Moyses Nussenzveig
 - *Curso de Física Básica*
 - Vol. 3
 - Vol. 4

Critério aprovação

- 5 Provas
- 5 Testes (listas de exercícios)
- Resumos
- Trabalhos

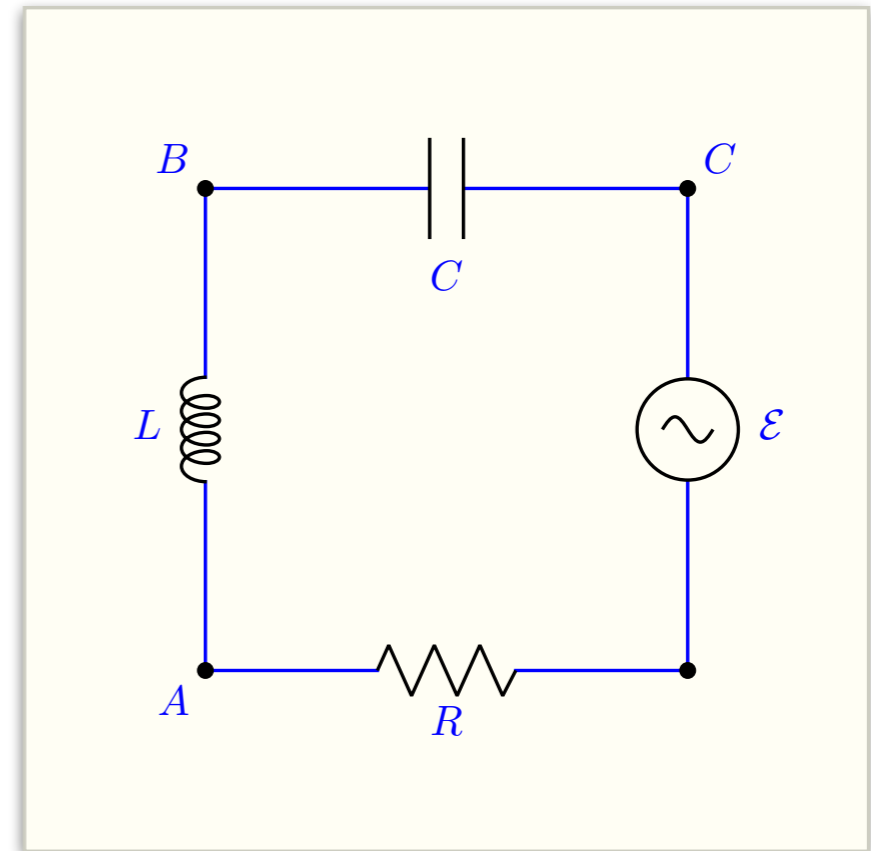
Critério aprovação

- 5 Provas
- 5 Testes (listas de exercícios)
- Resumos
- Trabalhos

Ciclo	Teste	Prova
I	1/9	8/9
II	21/9	28/9
III	19/10	26/10
IV	16/11	23/11
V	7/12	15/12

Circuitos de corrente alternada

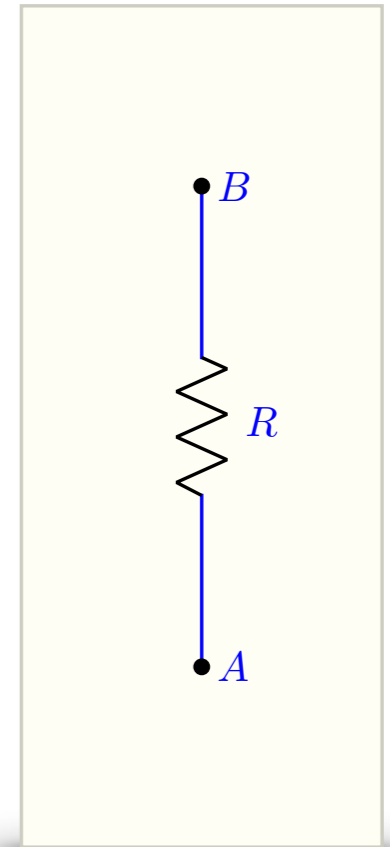
- Fontes de tensão
- Resistores
- Capacitores
- Indutores



Circuitos de corriente alternada

Resistor

$$V_B - V_A = RI$$

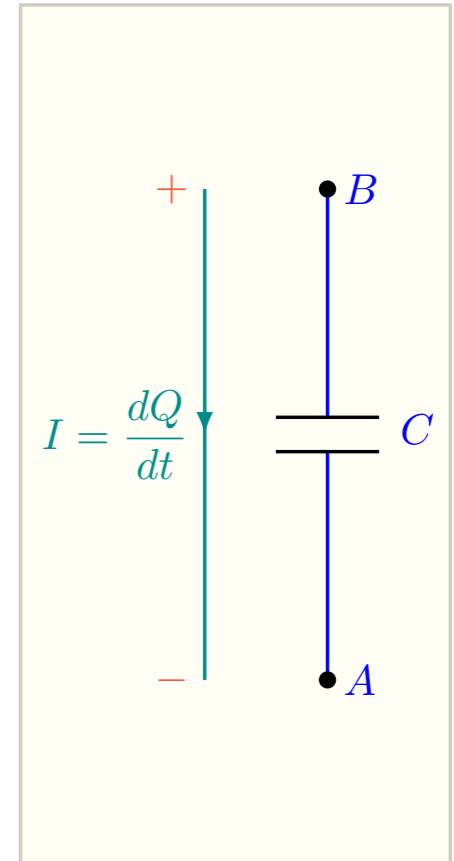


Circuitos de corrente alternada

Resistor

$$V_B - V_A = RI$$

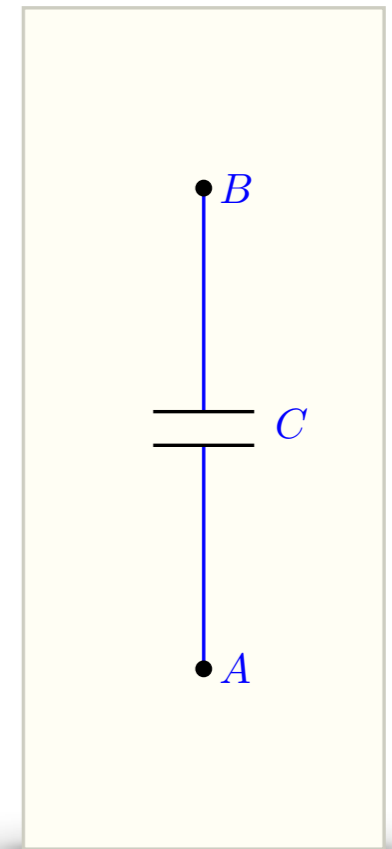
Potencial cai na mão da corrente



Circuitos de corrente alternada

Capacitor

$$V_B - V_A = \frac{Q}{C}$$

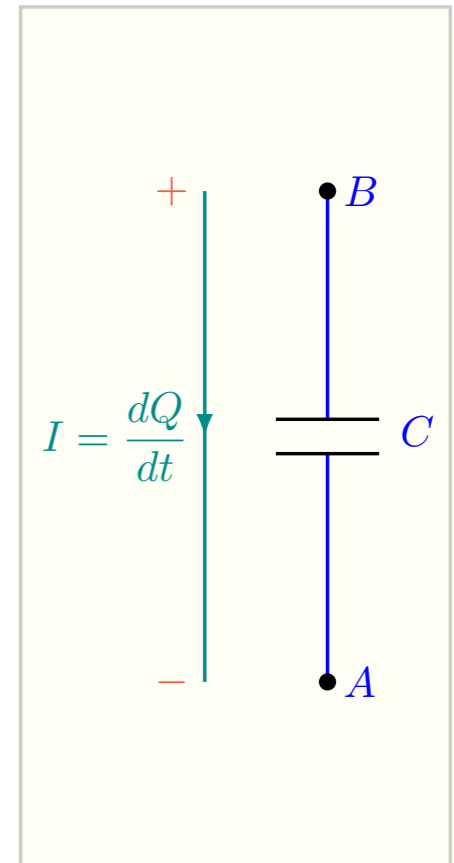


Circuitos de corrente alternada

Capacitor

$$V_B - V_A = \frac{Q}{C}$$

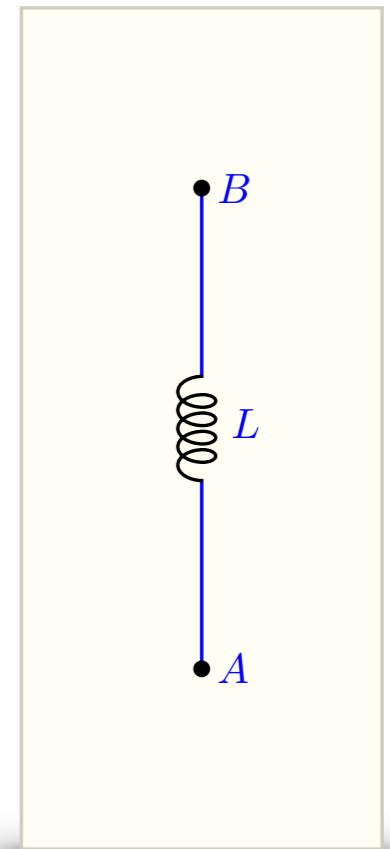
Potencial cai na mão da corrente



Circuitos de corrente alternada

Indutor

$$V_B - V_A = L \frac{dI}{dt}$$

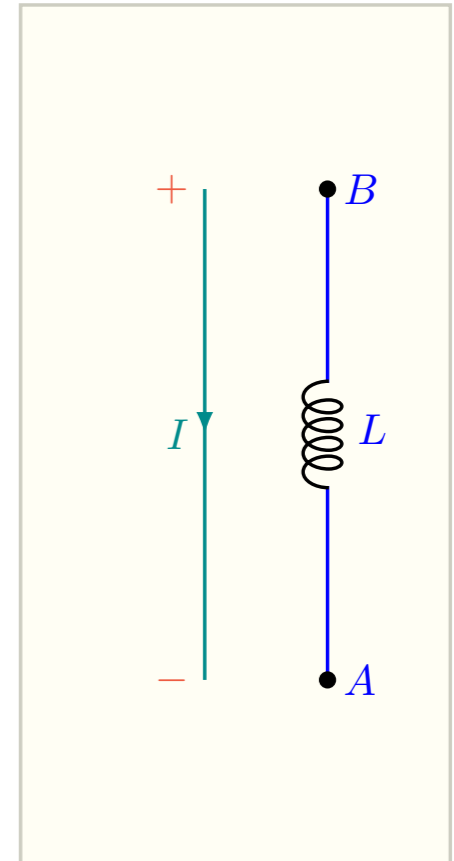


Circuitos de corrente alternada

Indutor

$$V_B - V_A = L \frac{dI}{dt}$$

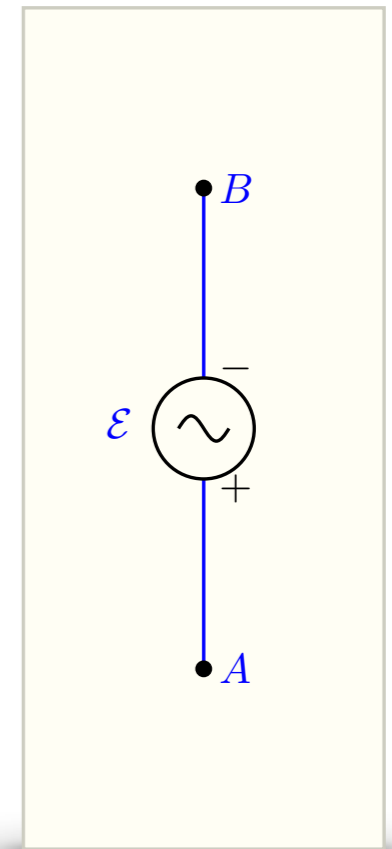
Potencial cai na mão da corrente



Circuitos de corrente alternada

Fontes de tensão

$$V_B - V_A = \mathcal{E}_0 \cos(\omega t)$$

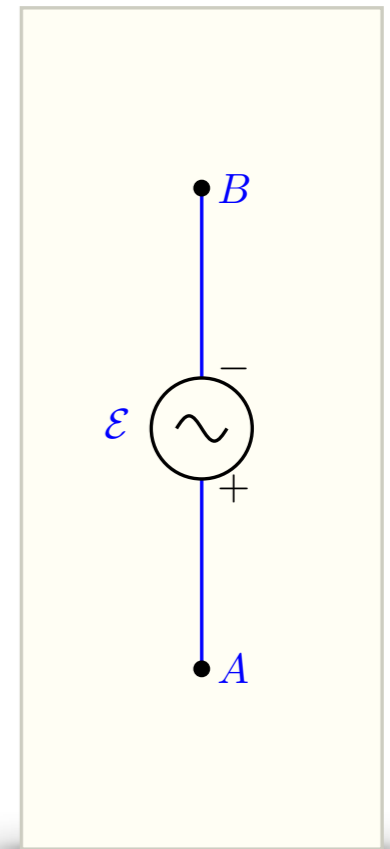


Circuitos de corrente alternada

Fontes de tensão

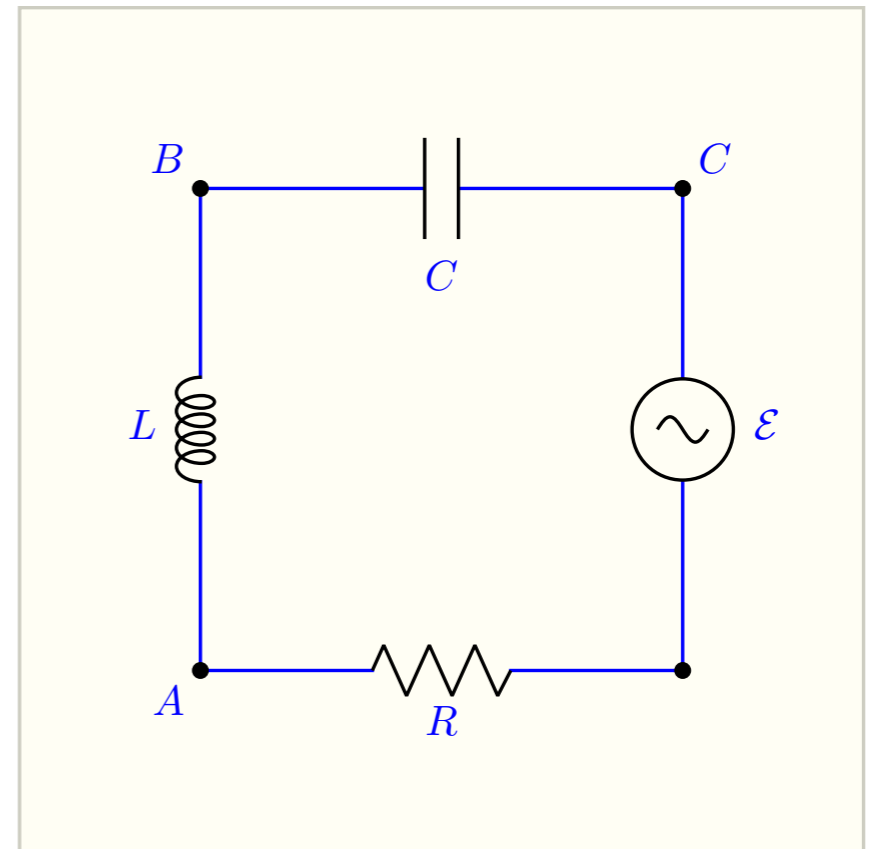
$$V_B - V_A = \mathcal{E}_0 \cos(\omega t)$$

Independente da corrente



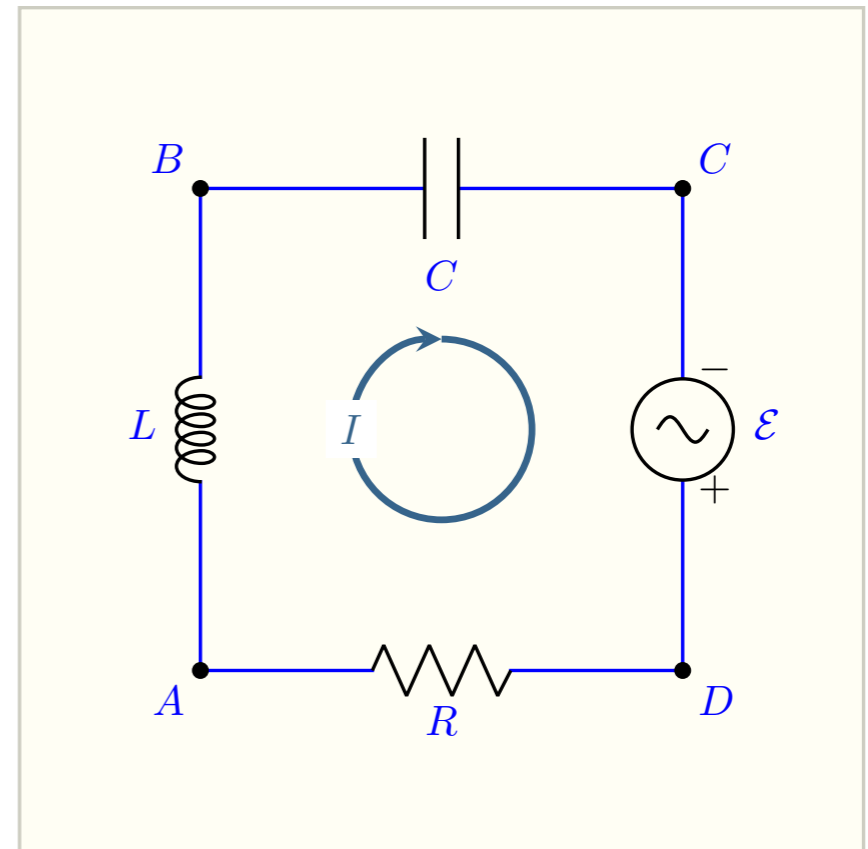
Circuitos de corriente alternada

$$I(t) = ?$$



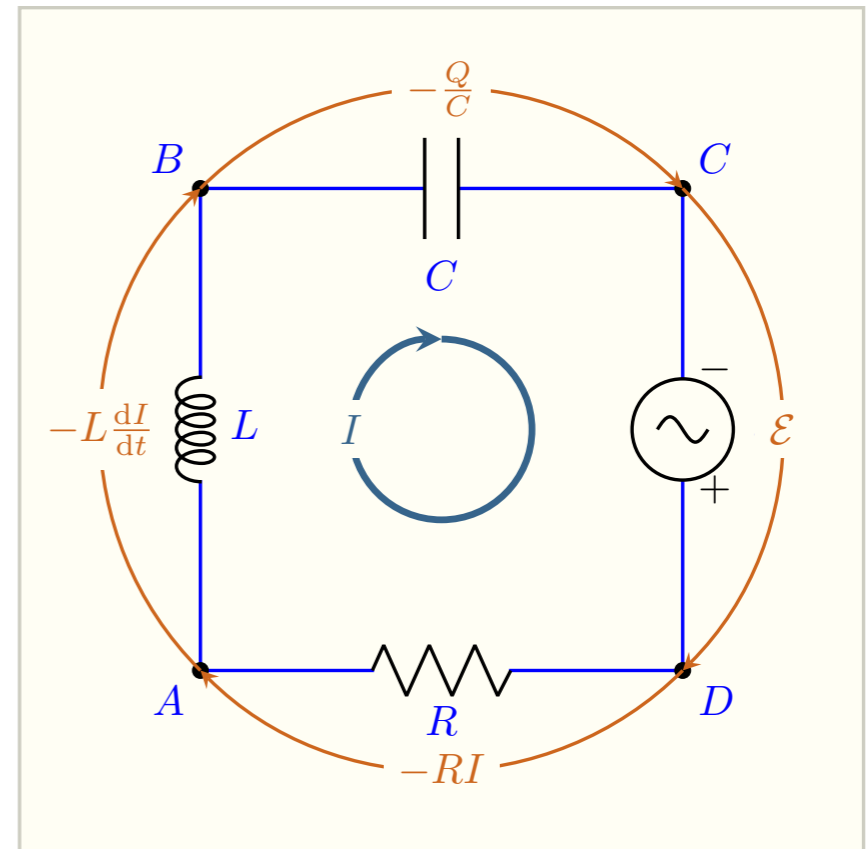
Circuitos de corriente alternada

$$I(t) = ?$$



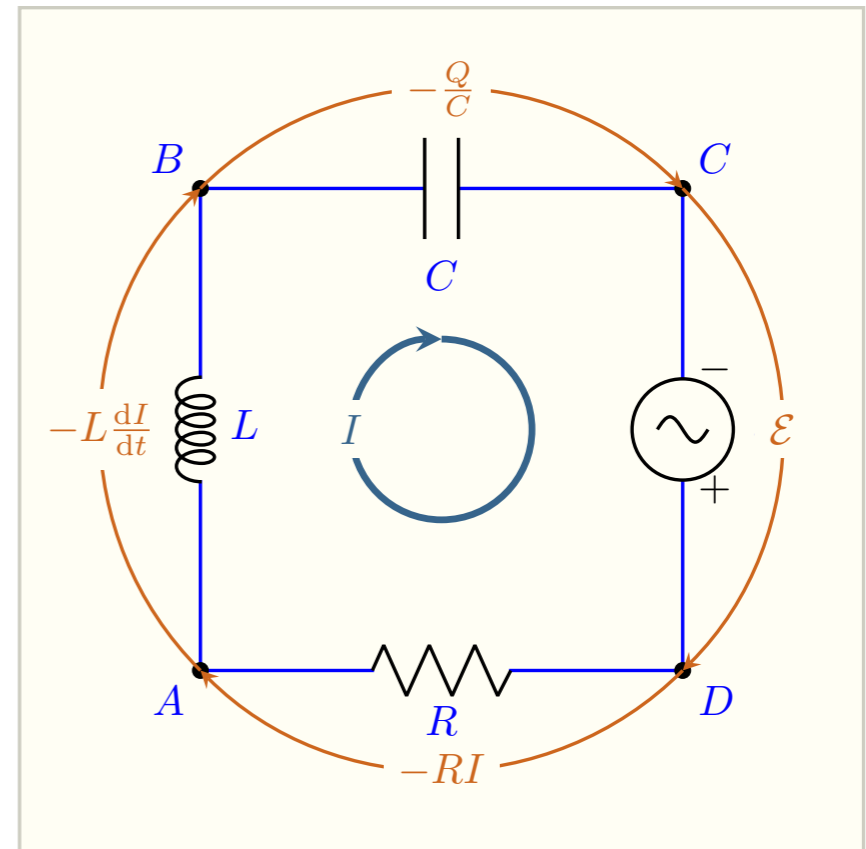
Circuitos de corriente alternada

$$I(t) = ?$$



Circuitos de corriente alternada

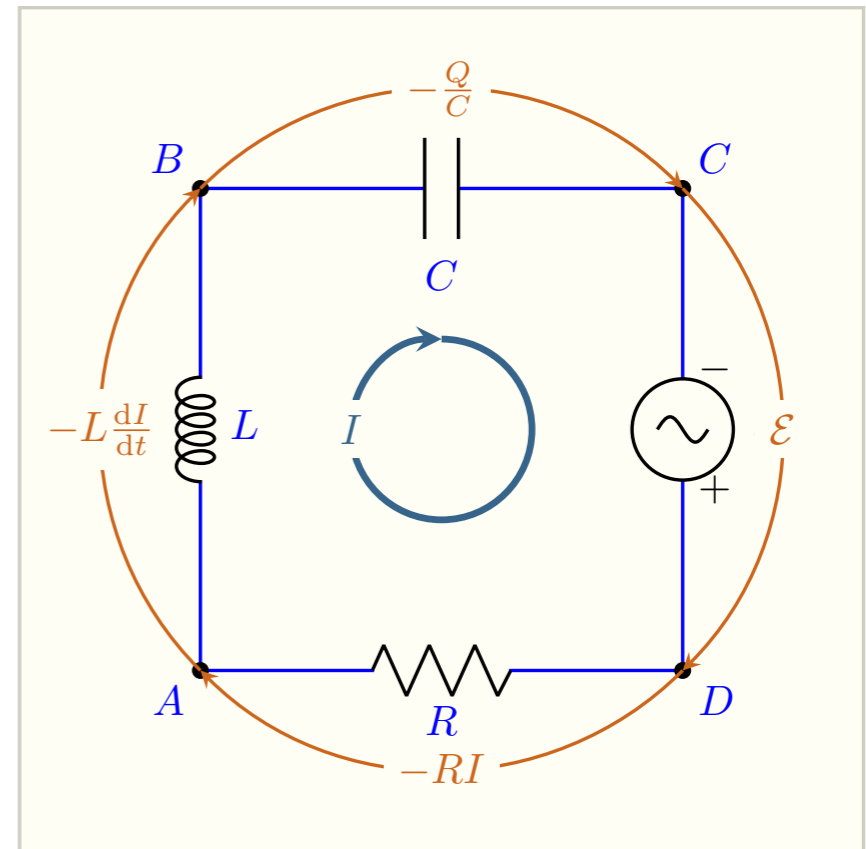
$$-L \frac{dI}{dt} - \frac{Q}{C} + \mathcal{E} - RI = 0$$



Circuitos de corriente alternada

$$-L \frac{dI}{dt} - \frac{Q}{C} + \mathcal{E} - RI = 0$$

$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} + RI$$

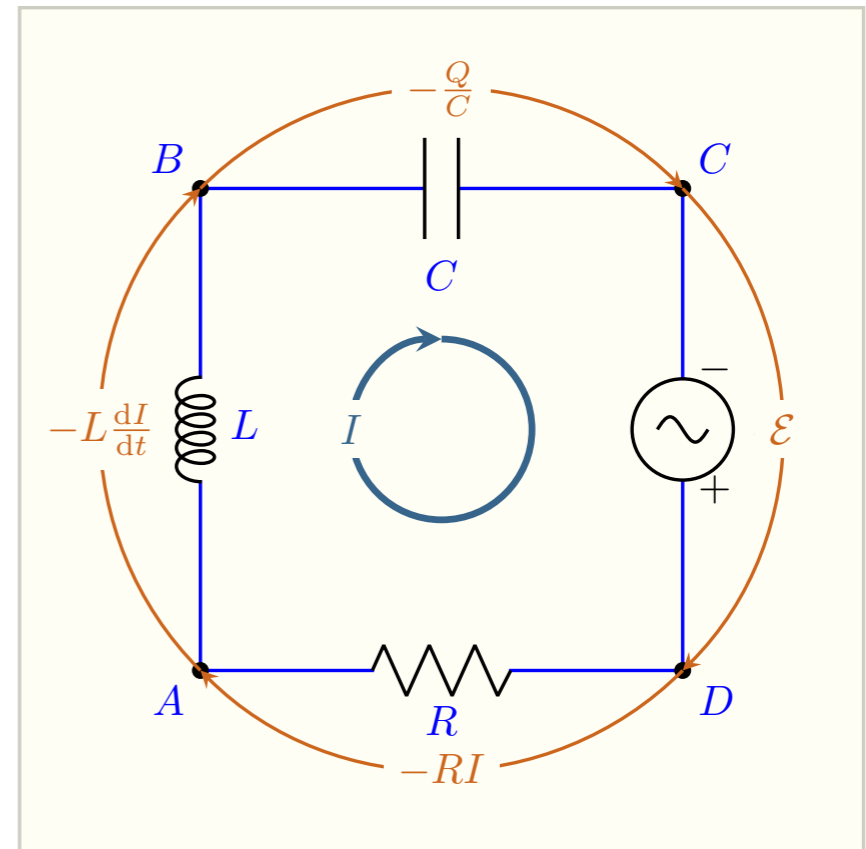


Circuitos de corriente alternada

$$-L \frac{dI}{dt} - \frac{Q}{C} + \mathcal{E} - RI = 0$$

$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} + RI$$

$$\mathcal{E} = L \frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{Q}{C} + R \frac{dQ}{dt}$$



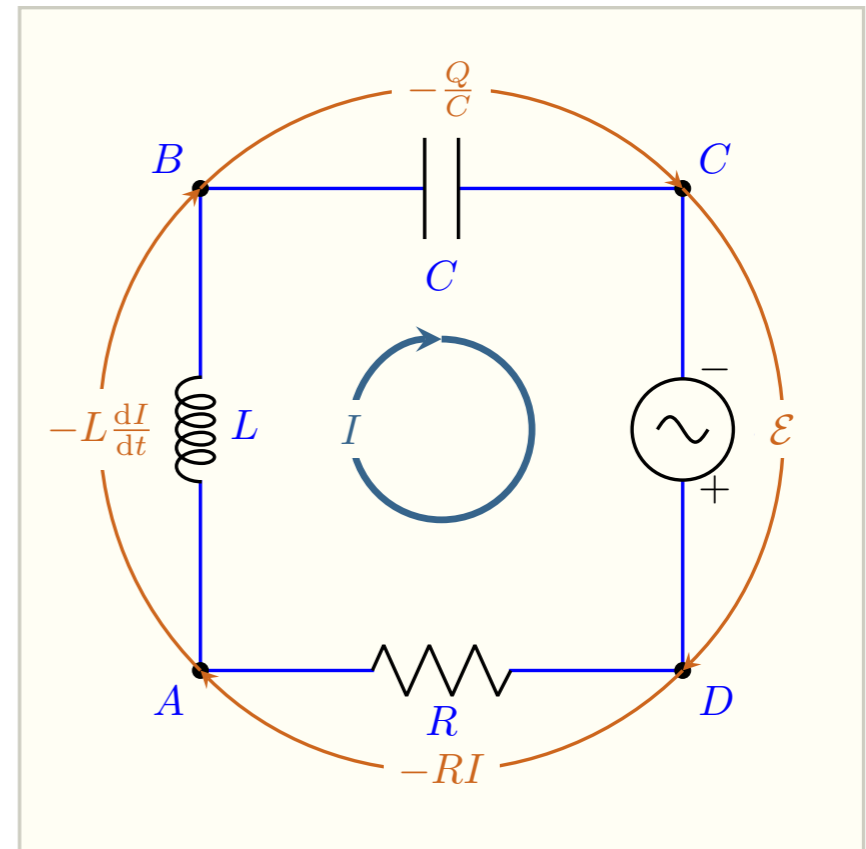
Circuitos de corriente alternada

$$-L \frac{dI}{dt} - \frac{Q}{C} + \mathcal{E} - RI = 0$$

$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} + RI$$

$$\mathcal{E} = L \frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{Q}{C} + R \frac{dQ}{dt}$$

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}$$



Circuitos de corriente alternada

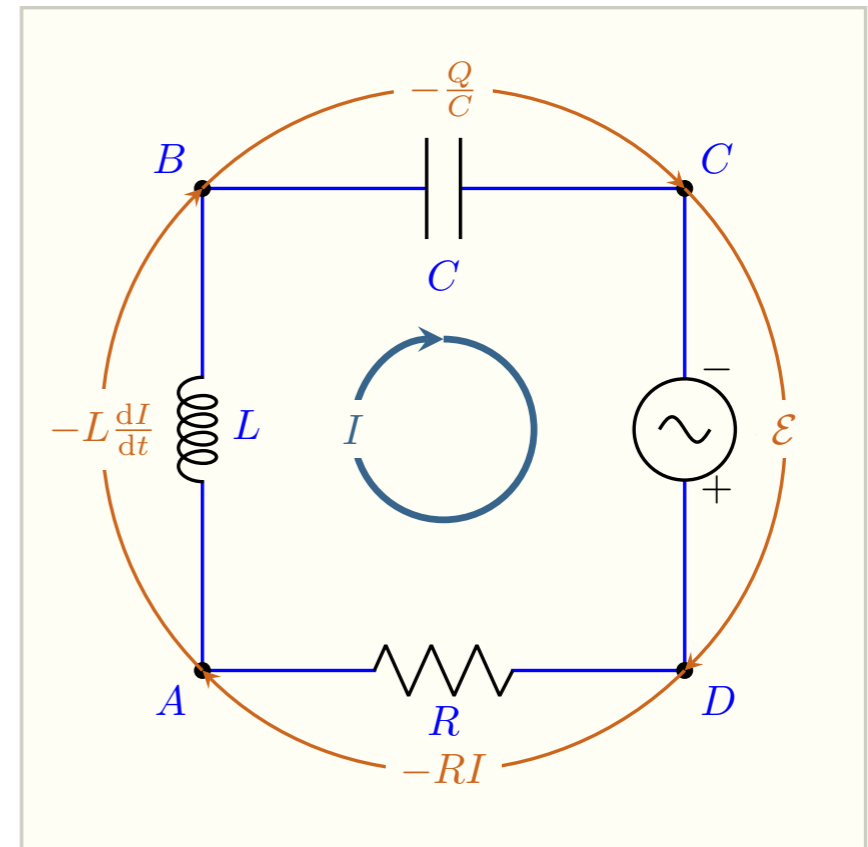
$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}$$

$$-L \frac{dI}{dt} - \frac{Q}{C} + \mathcal{E} - RI = 0$$

$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} + RI$$

$$\mathcal{E} = L \frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{Q}{C} + R \frac{dQ}{dt}$$

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}$$



$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}$$

Circuitos de corrente alternada Equação diferencial

Linear

Não homogênea

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}_0 \cos(\omega t)$$

Coeficientes constantes

Ordinária

Circuitos
de corrente alternada
Resolver equação diferencial

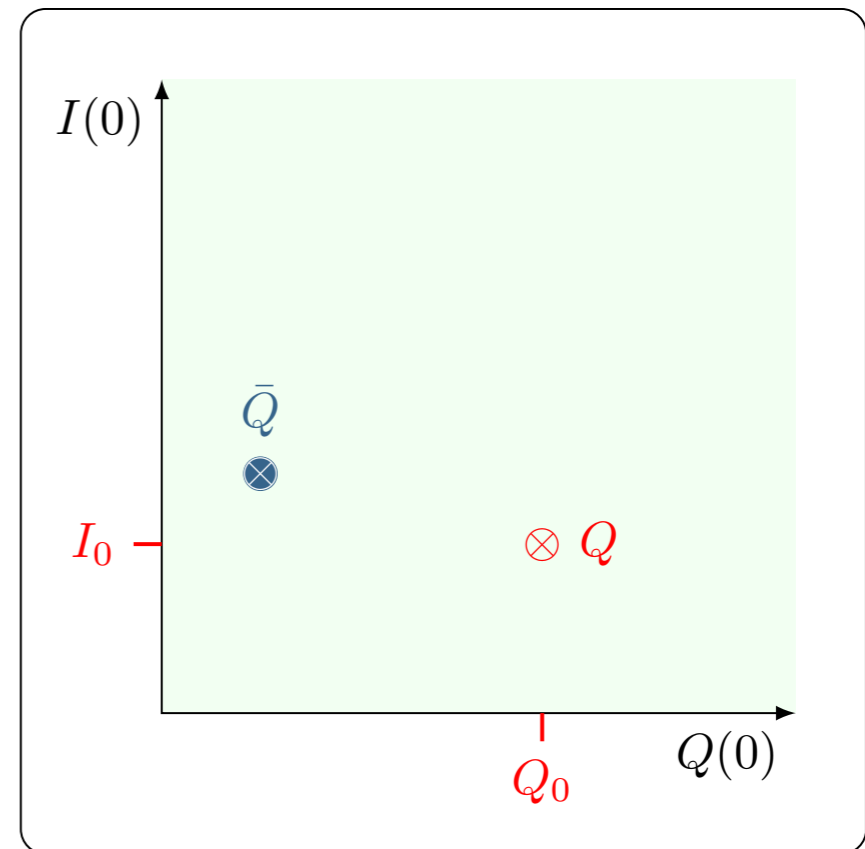
$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}$$

+ Condições iniciais : $\begin{cases} Q(t = 0) = Q_0 \\ I(t = 0) = I_0 \end{cases}$

Circuitos de corrente alternada

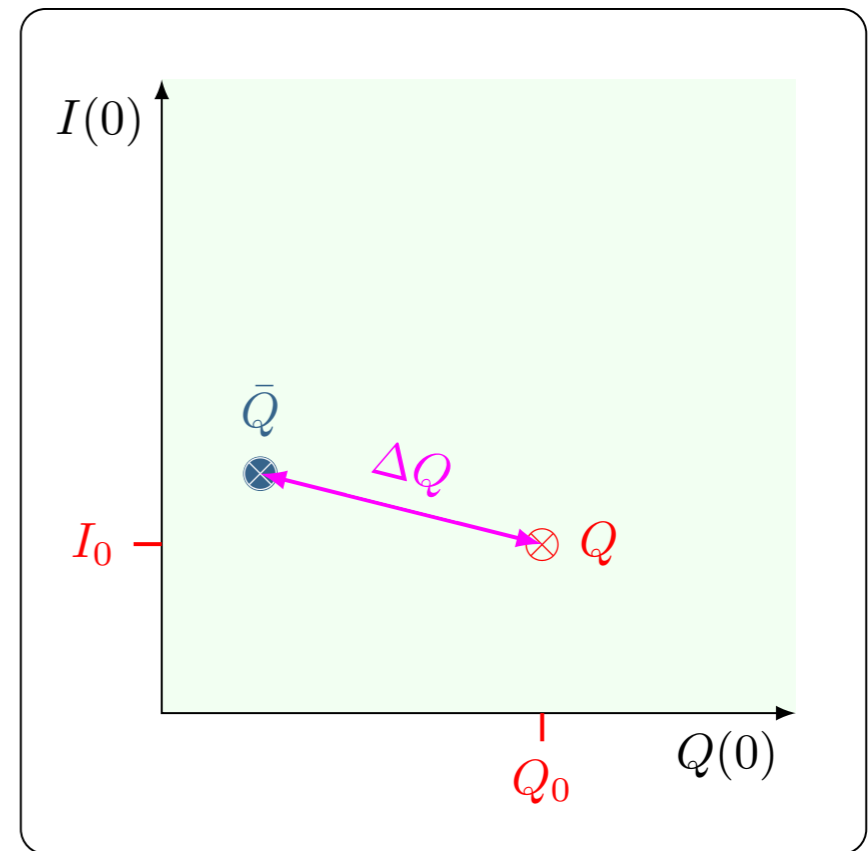
Resolver equação diferencial

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}$$



Circuitos de corrente alternada Resolver equação diferencial

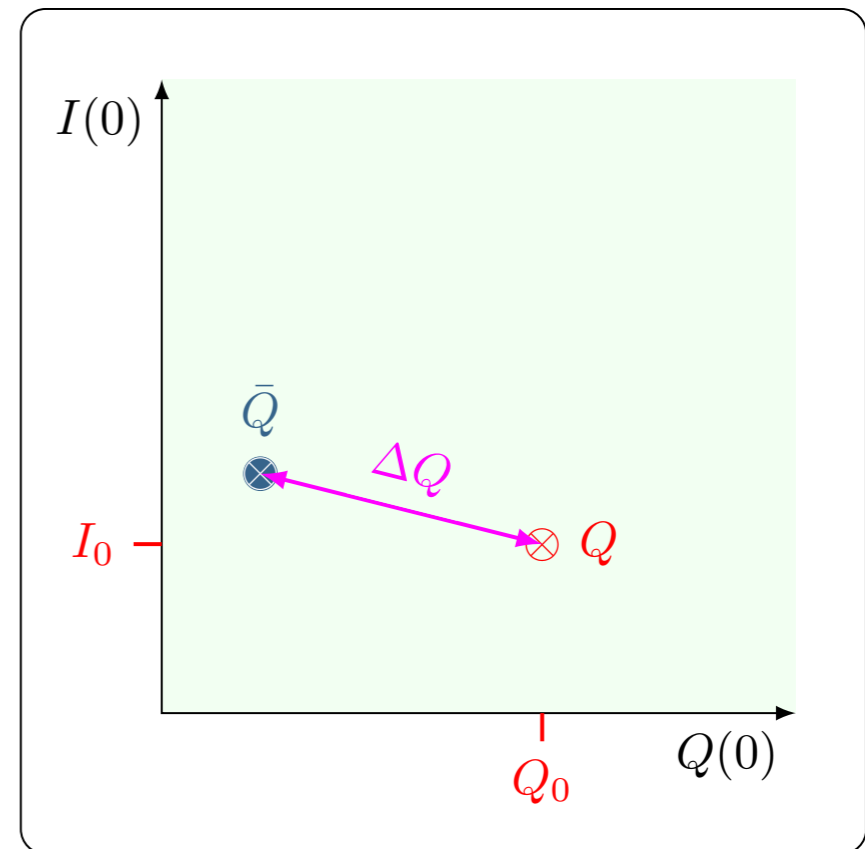
$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}$$



Circuitos de corrente alternada Resolver equação diferencial

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}$$

$$L \frac{d^2 \bar{Q}}{dt^2} + R \frac{d\bar{Q}}{dt} + \frac{\bar{Q}}{C} = \mathcal{E}$$

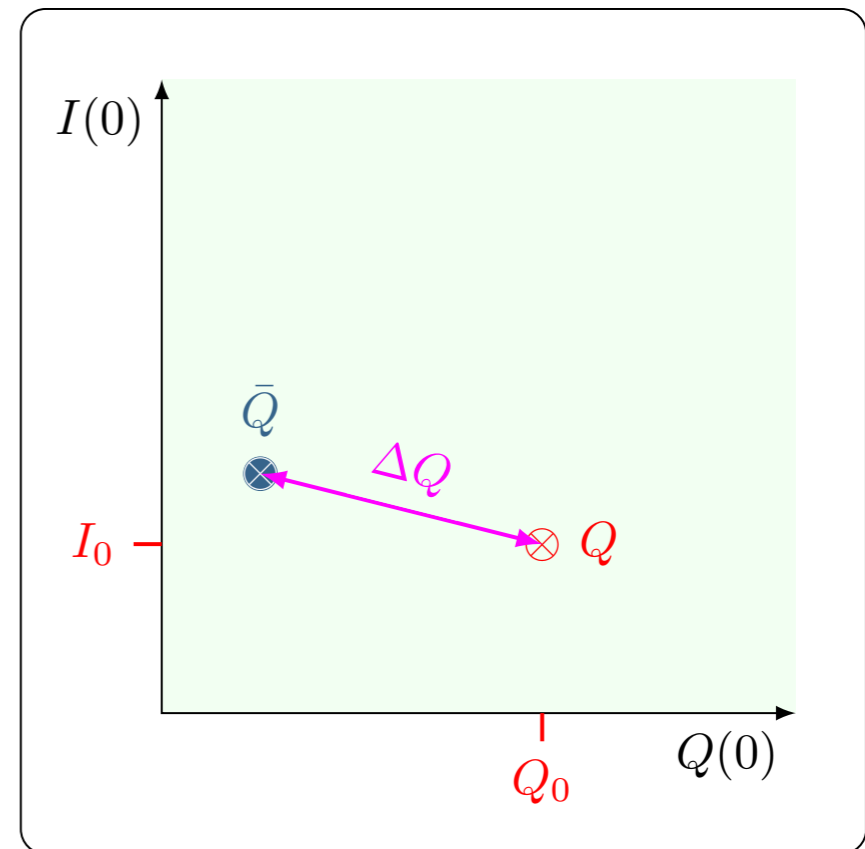


Circuitos de corrente alternada Resolver equação diferencial

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}$$

$$L \frac{d^2 \bar{Q}}{dt^2} + R \frac{d\bar{Q}}{dt} + \frac{\bar{Q}}{C} = \mathcal{E}$$

$$\Rightarrow L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d\Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$



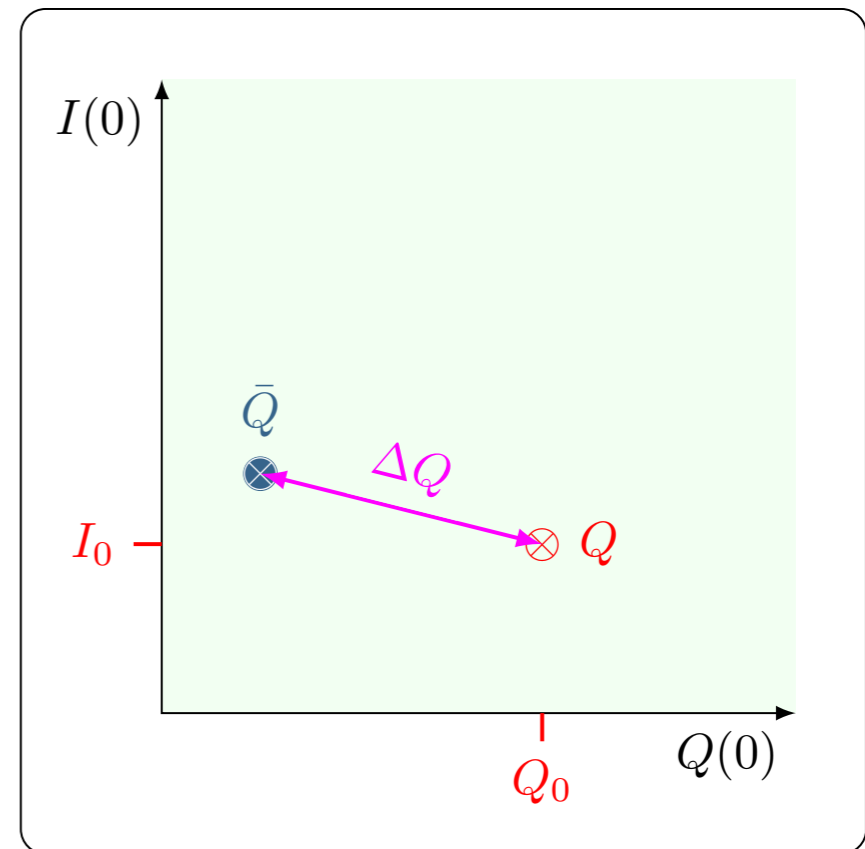
Circuitos de corrente alternada Equação homogênea

$$L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d\Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$

$$L \frac{d^2 Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = \mathcal{E}$$

$$L \frac{d^2 \bar{Q}}{dt^2} + R \frac{d\bar{Q}}{dt} + \frac{\bar{Q}}{C} = \mathcal{E}$$

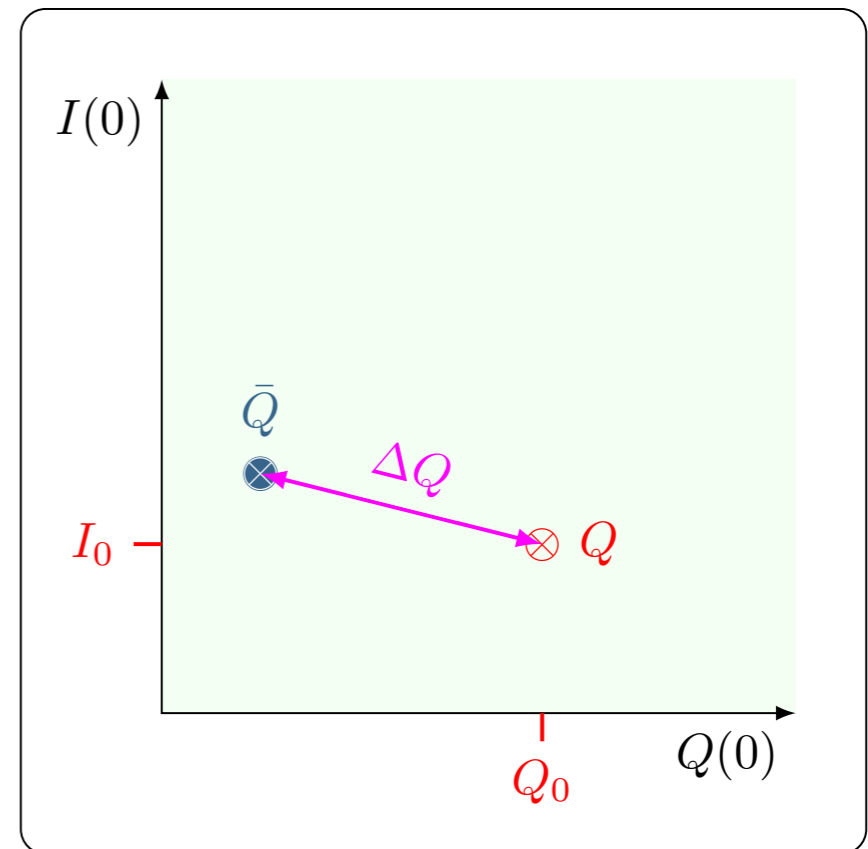
$$\Rightarrow L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d\Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$



Circuitos de corrente alternada Equação homogênea

$$L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d\Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$

$$\Delta Q = e^{st}$$

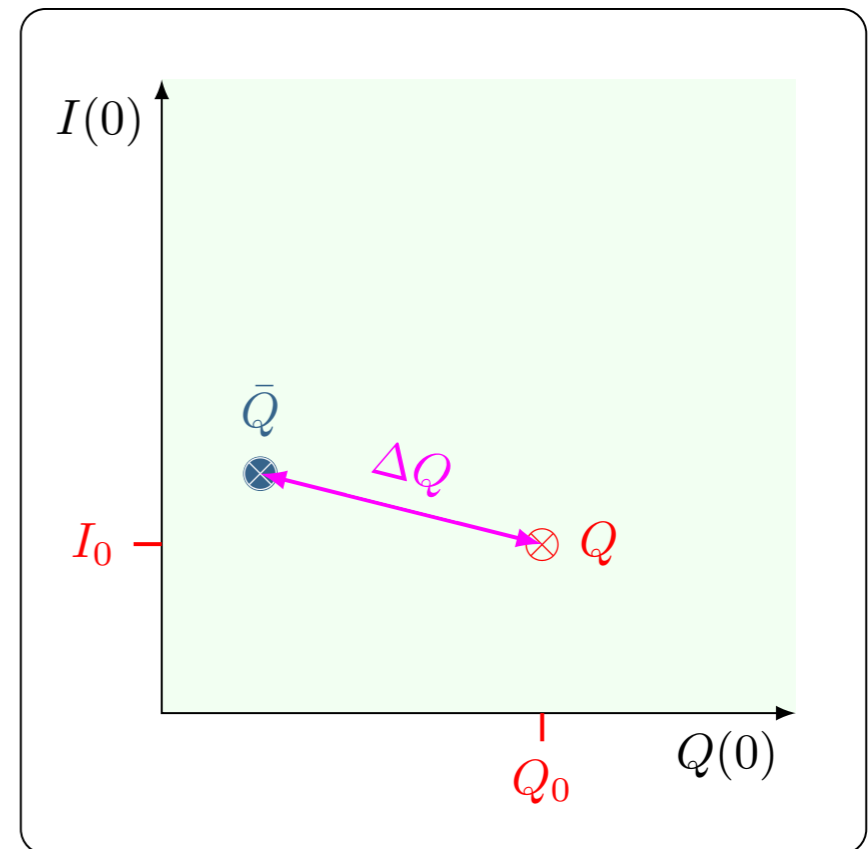


Circuitos de corrente alternada Equação homogênea

$$L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d\Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$

$$\Delta Q = e^{st}$$

$$\frac{d\Delta Q}{dt} = s e^{st} = s \Delta Q$$



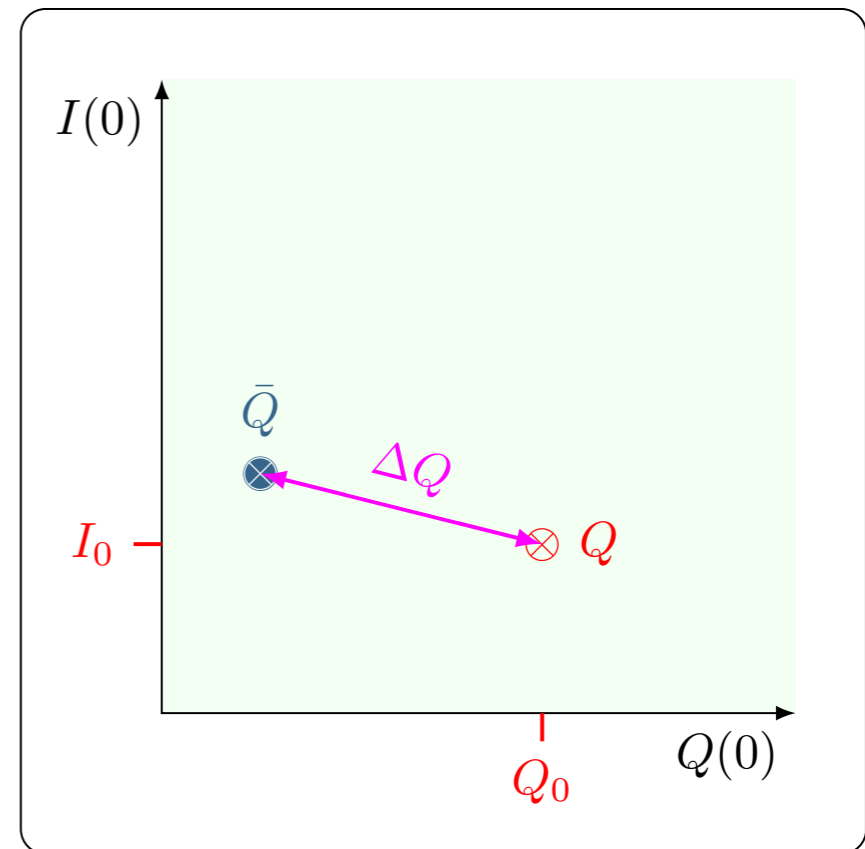
Circuitos de corrente alternada Equação homogênea

$$L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d\Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$

$$\Delta Q = e^{st}$$

$$\frac{d\Delta Q}{dt} = s e^{st} = s \Delta Q$$

$$\frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} = s^2 e^{st} = s^2 \Delta Q$$



Circuitos de corrente alternada Equação homogênea

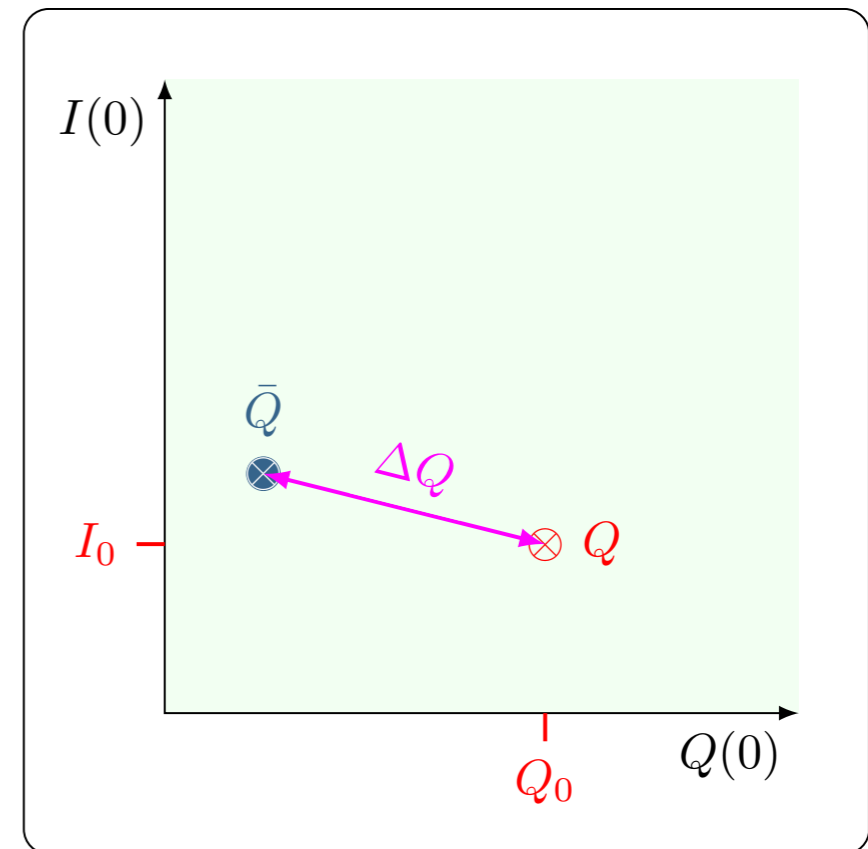
$$L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d\Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$

$$\Delta Q = e^{st}$$

$$\frac{d\Delta Q}{dt} = se^{st} = s\Delta Q$$

$$\frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} = s^2 e^{st} = s^2 \Delta Q$$

$$Ls^2 \Delta Q + Rs\Delta Q + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$



Circuitos de corrente alternada Equação homogênea

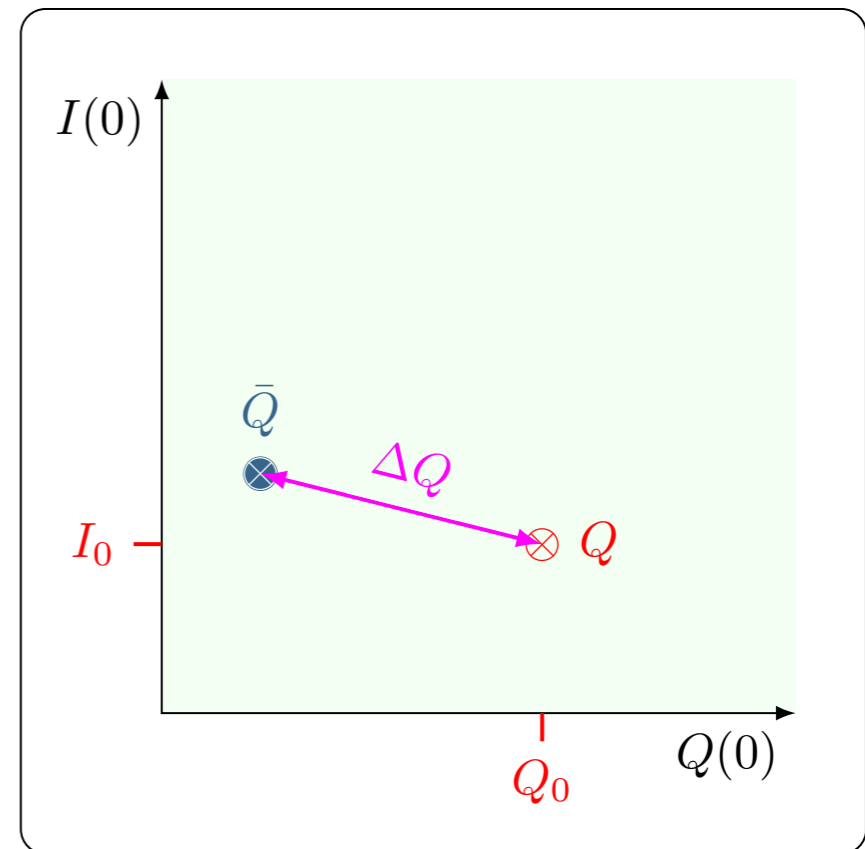
$$L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d \Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$

$$\Delta Q = e^{st}$$

$$\frac{dQ}{dt} = s e^{st} = sQ$$

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} = s^2 e^{st} = s^2 Q$$

$$Ls^2 \cancel{\Delta Q} + Rs \cancel{\Delta Q} + \frac{\cancel{\Delta Q}}{C} = 0$$



Circuitos de corrente alternada Equação homogênea

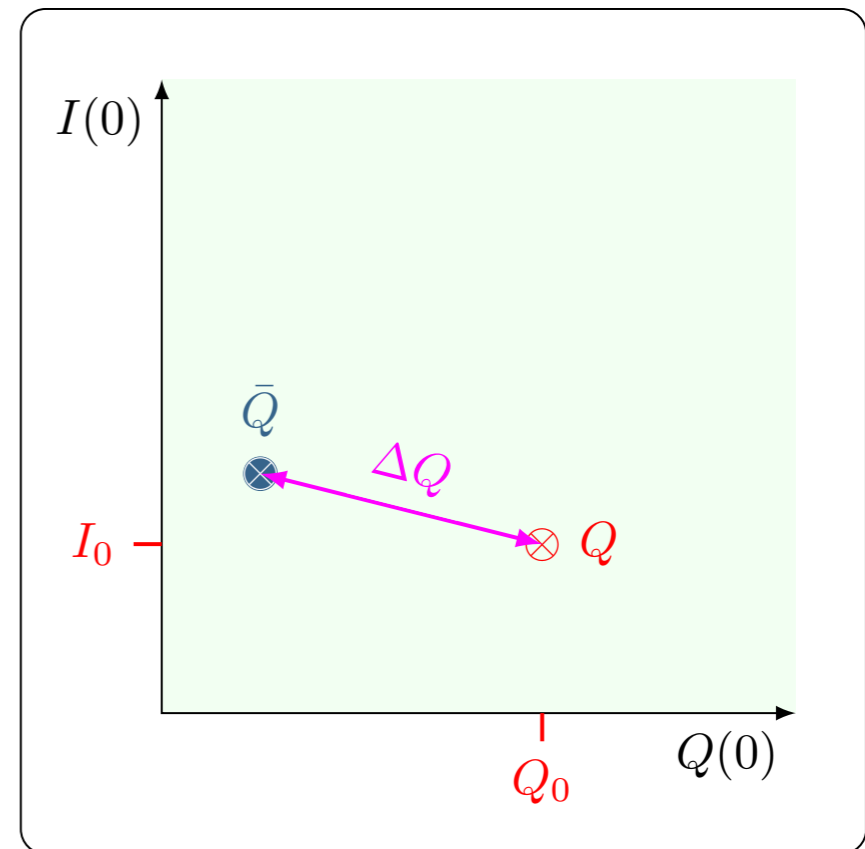
$$L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d\Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$

$$\Delta Q = e^{st}$$

$$\frac{dQ}{dt} = se^{st} = sQ$$

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} = s^2 e^{st} = s^2 Q$$

$$Ls^2 + Rs + \frac{1}{C} = 0$$



Circuitos de corrente alternada Equação homogênea

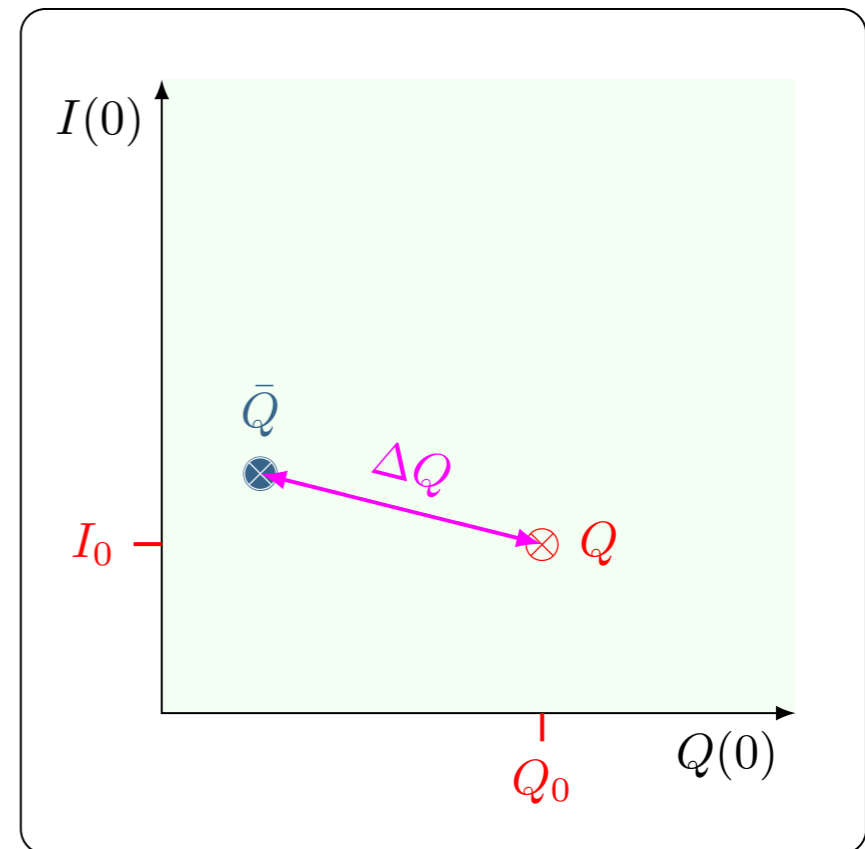
$$L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d\Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$

$$\Delta Q = e^{st}$$

$$\frac{dQ}{dt} = se^{st} = sQ$$

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} = s^2 e^{st} = s^2 Q$$

$$Ls^2 + Rs + \frac{1}{C} = 0$$



$$\Rightarrow s = \frac{-R}{2L} \pm \frac{\sqrt{R^2 - 4\frac{L}{C}}}{2L}$$

Circuitos de corrente alternada Equação homogênea

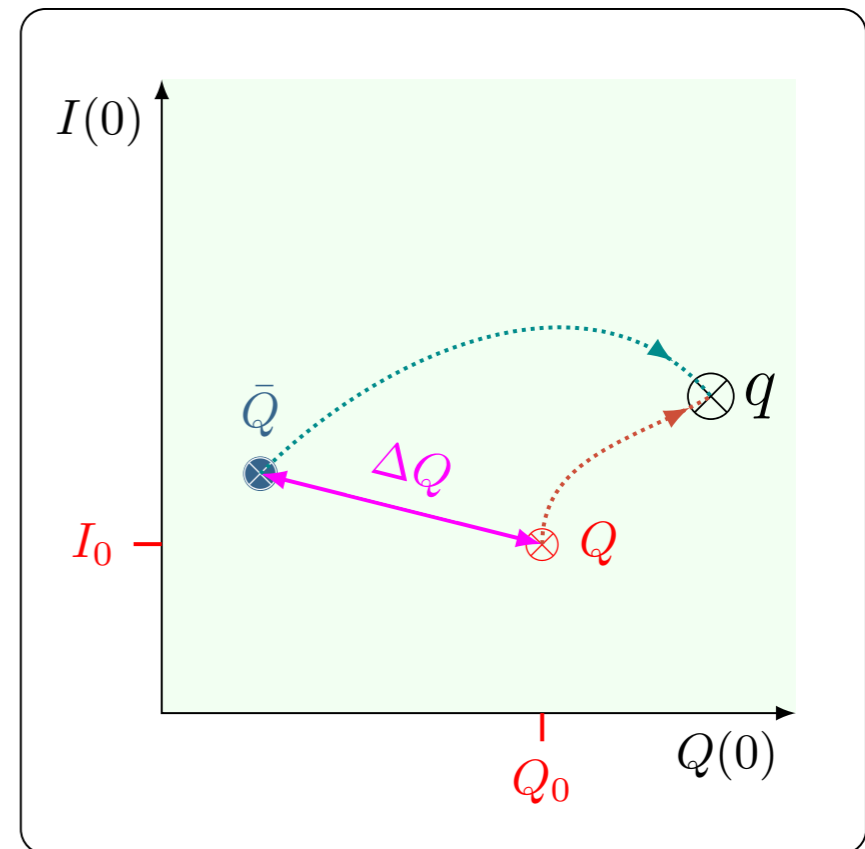
$$L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d\Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$

$$\Delta Q = e^{st}$$

$$\frac{dQ}{dt} = se^{st} = sQ$$

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} = s^2 e^{st} = s^2 Q$$

$$Ls^2 + Rs + \frac{1}{C} = 0$$



$$\Rightarrow s = \frac{-R}{2L} \pm \frac{\sqrt{R^2 - 4\frac{L}{C}}}{2L}$$

de corrente alternada
Equação homogênea

$$\Delta Q = e^{st}$$

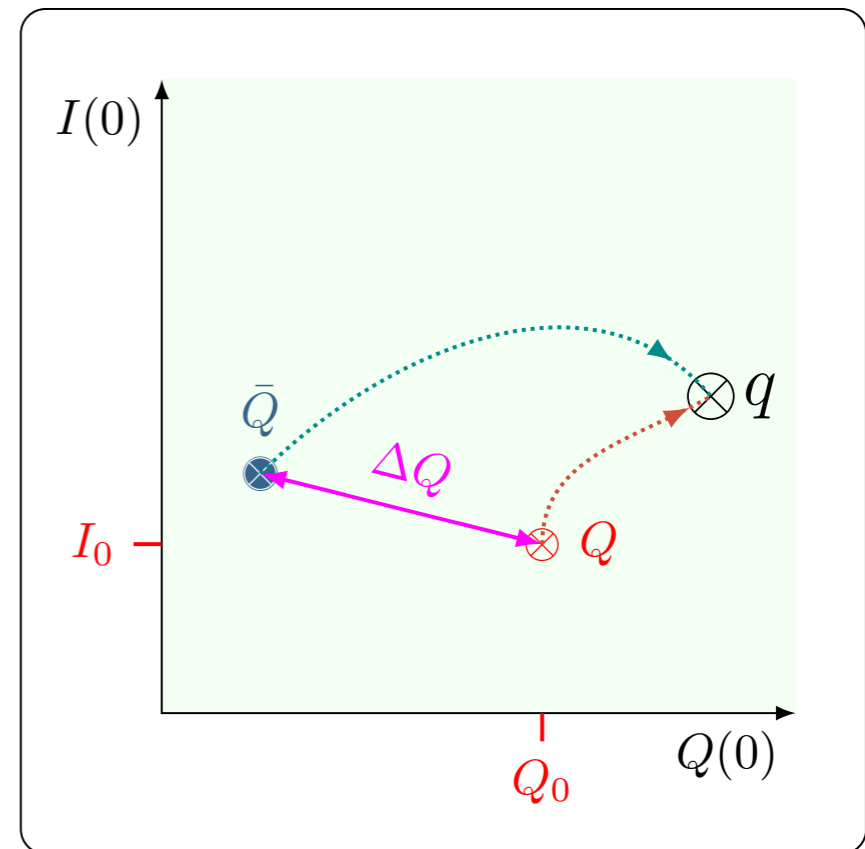
$$s = \frac{-R}{2L} \pm \frac{\sqrt{R^2 - 4\frac{L}{C}}}{2L}$$

$$\Delta Q = e^{st}$$

$$\frac{dQ}{dt} = se^{st} = sQ$$

$$\frac{d^2Q}{dt^2} = s^2e^{st} = s^2Q$$

$$Ls^2 + Rs + \frac{1}{C} = 0$$



$$\Rightarrow s = \frac{-R}{2L} \pm \frac{\sqrt{R^2 - 4\frac{L}{C}}}{2L}$$

$$\Delta Q = e^{st}$$

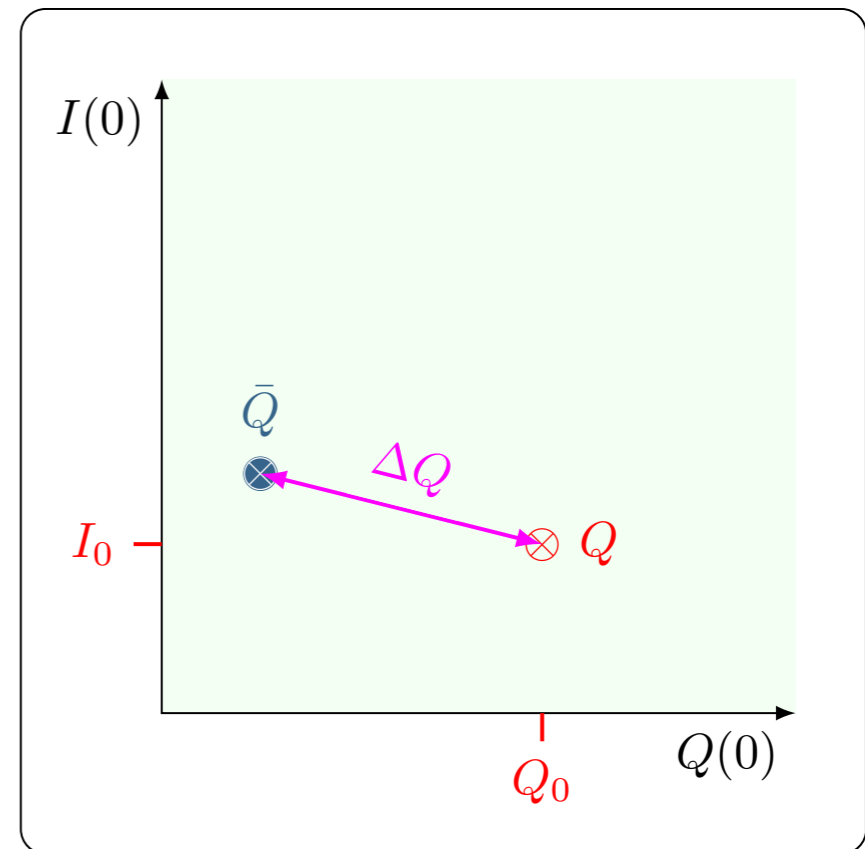
$$s = \frac{-R}{2L} \pm \frac{\sqrt{R^2 - 4\frac{L}{C}}}{2L}$$

Escalas de tempo

$$\tau_{LC} = \sqrt{LC}$$

$$\tau_{RL} = \frac{2L}{R}$$

$$s = -\frac{1}{\tau_{RL}} \left(1 \mp \sqrt{1 - \frac{\tau_{RL}^2}{\tau_{LC}^2}} \right)$$



Circuitos

de corrente alternada Equação homogênea

$$\Delta Q = e^{st}$$

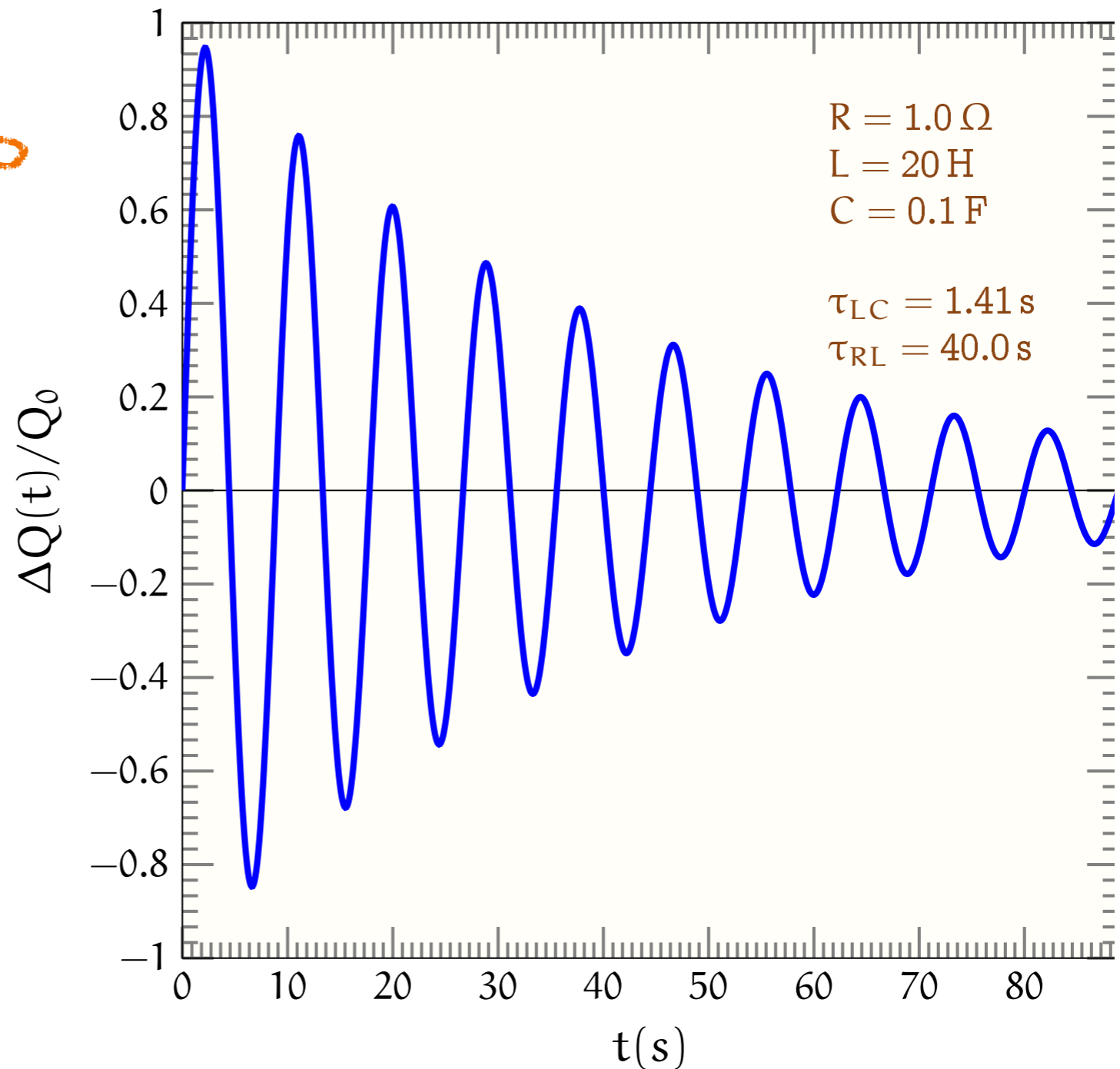
$$s = \frac{-R}{2L} \pm \frac{\sqrt{R^2 - 4\frac{L}{C}}}{2L}$$

Escalas de tempo

$$\tau_{LC} = \sqrt{LC}$$

$$\tau_{RL} = \frac{2L}{R}$$

$$\tau_{LC} < \tau_{RL}$$



Circuitos

de corrente alternada Equação homogênea

$$\Delta Q = e^{st}$$

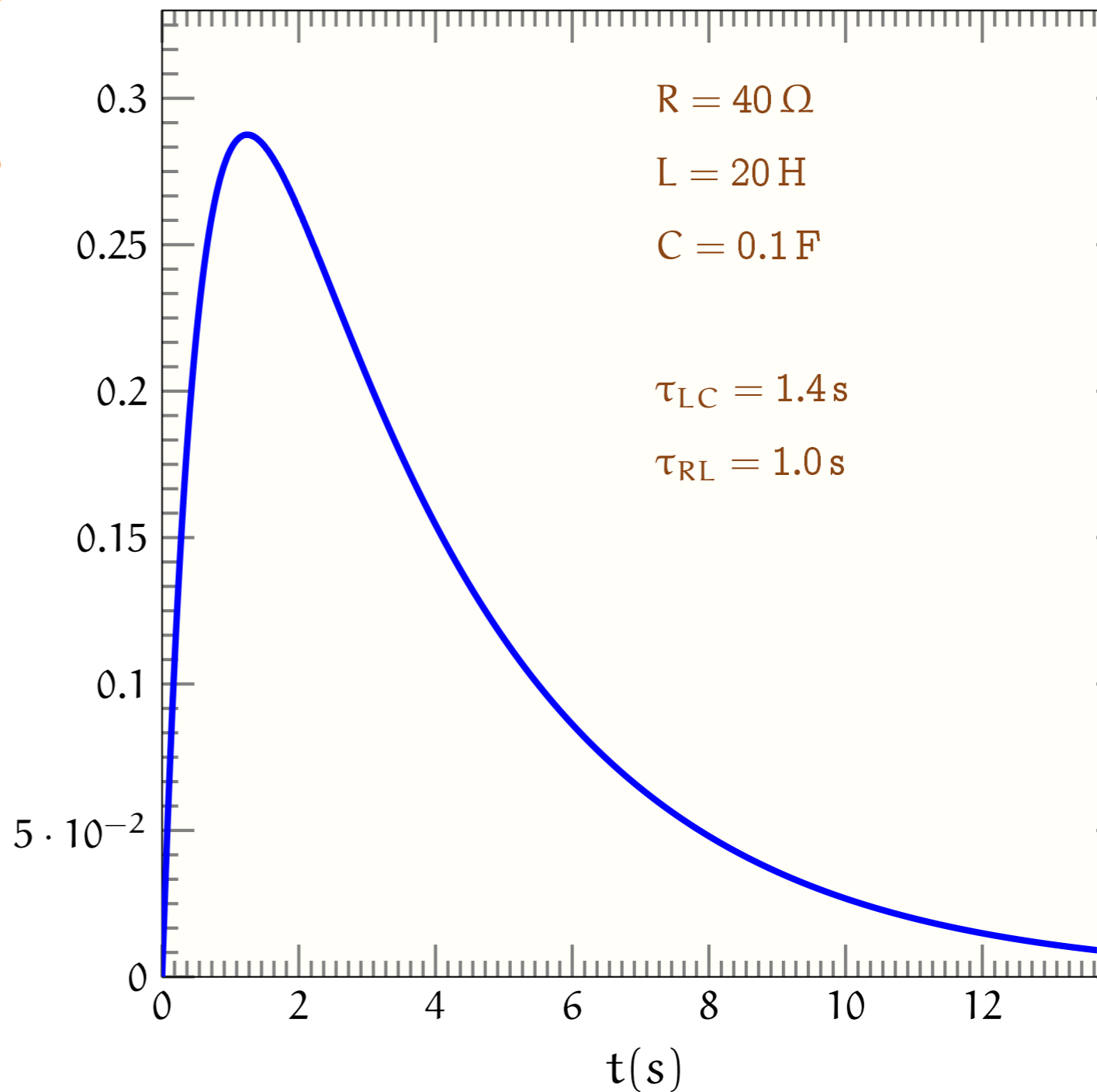
$$s = \frac{-R}{2L} \pm \frac{\sqrt{R^2 - 4\frac{L}{C}}}{2L}$$

Escalas de tempo

$$\tau_{LC} = \sqrt{LC}$$

$$\tau_{RL} = \frac{2L}{R}$$

$$\tau_{RL} < \tau_{LC}$$



Circuitos de corrente alternada Solução estacionária

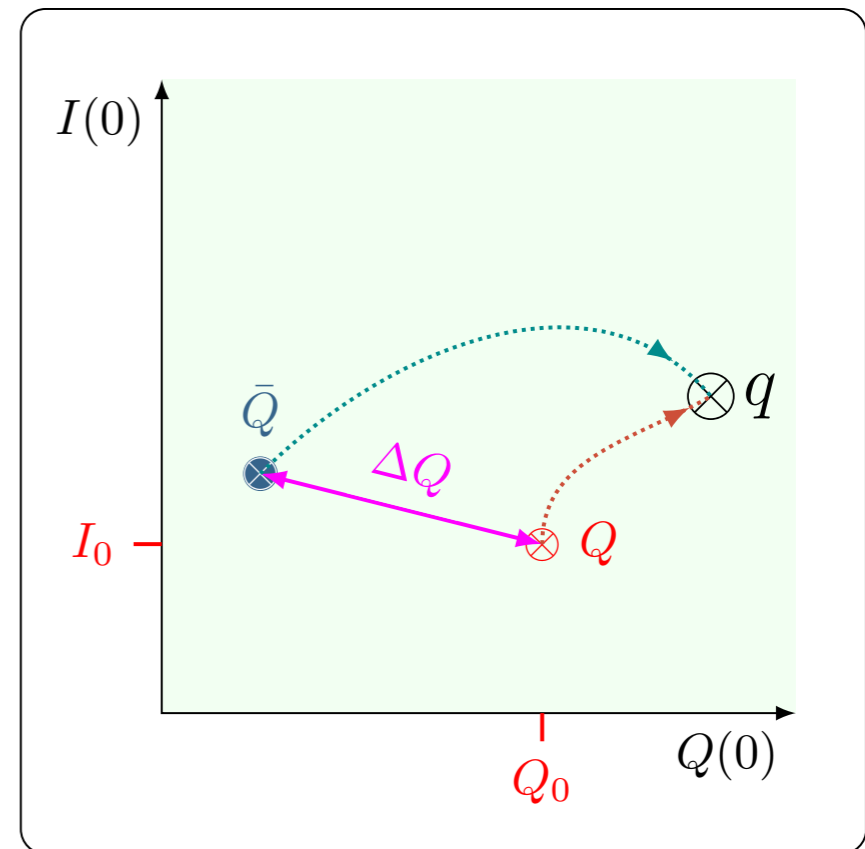
$$L \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + R \frac{d\Delta Q}{dt} + \frac{\Delta Q}{C} = 0$$

$$\Delta Q = e^{st}$$

$$\frac{dQ}{dt} = se^{st} = sQ$$

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} = s^2 e^{st} = s^2 Q$$

$$Ls^2 + Rs + \frac{1}{C} = 0$$



$$\Rightarrow s = \frac{-R}{2L} \pm \frac{\sqrt{R^2 - 4\frac{L}{C}}}{2L}$$

Circuitos de corrente alternada Solução estacionária

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \mathcal{E}_0 \cos(\omega t)$$

