

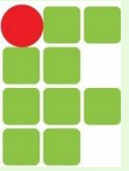


Eletrônica Básica

Professor: Neilor Colombo Dal Pont

Sistemas Embarcados

TÓPICOS DA AULA

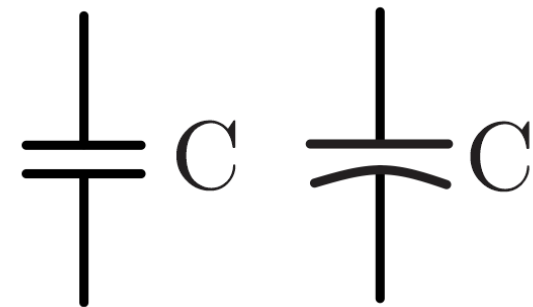
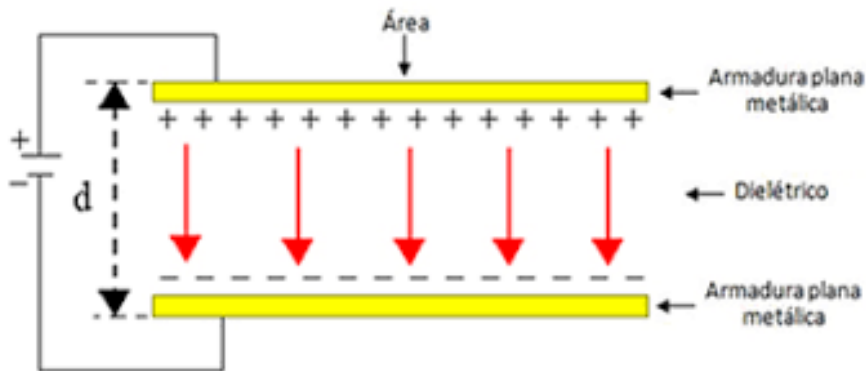


- Revisão
- Reatância.
- Filtros.
- Associação de indutores e capacitores.

Capacitores



- Um capacitor é um componente formado por duas placas metálicas, separadas por um material isolante chamado de dielétrico.
- Eles são capazes de armazenar cargas em seus terminais, e energia no campo elétrico em seu dielétrico.
- A simbologia dos capacitores em circuitos é apresentada a seguir:



Capacitores



- Existem diversos tipos de capacitores.
- Alguns tipos, como os cerâmicos e os de filme não possuem polaridade.
- Já os eletrolíticos possuem polaridade (positivo e negativo), e podem se danificar se ligados invertidos.
- As principais aplicações dos capacitores são: Filtros e circuitos osciladores.



Capacitores



- A unidade de medida de um capacitor é a capacitância, dada em Farads [F].
- A equação da capacitância é descrita pela divisão da carga pela tensão.
- Assim, as principais grandezas de um capacitor são a tensão, a carga e a capacitância.

$$C = \frac{Q}{V}$$

Capacitores



- Já a energia em um capacitor pode ser dada em função da tensão, da capacitância e da carga.
- As seguintes equações podem ser usadas:
- Lembrando que a unidade de medida de energia é o Joule [J]

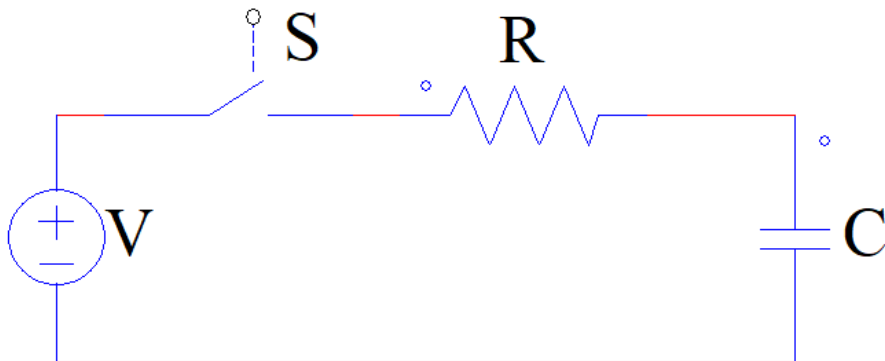
$$E = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot V$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$$

Capacitores



- Ao se fechar o interruptor S no circuito, o capacitor começa a se **carregar**.
- A equação da tensão no capacitor em função do tempo é dada pela equação abaixo.
- τ é a constante de tempo do circuito, que representa o tempo que o capacitor leva para atingir 63% da sua carga.
- O capacitor é considerado **totalmente carregado** ao atingir entre 3 e 5 vezes o valor de τ (95% ou 99% da tensão).



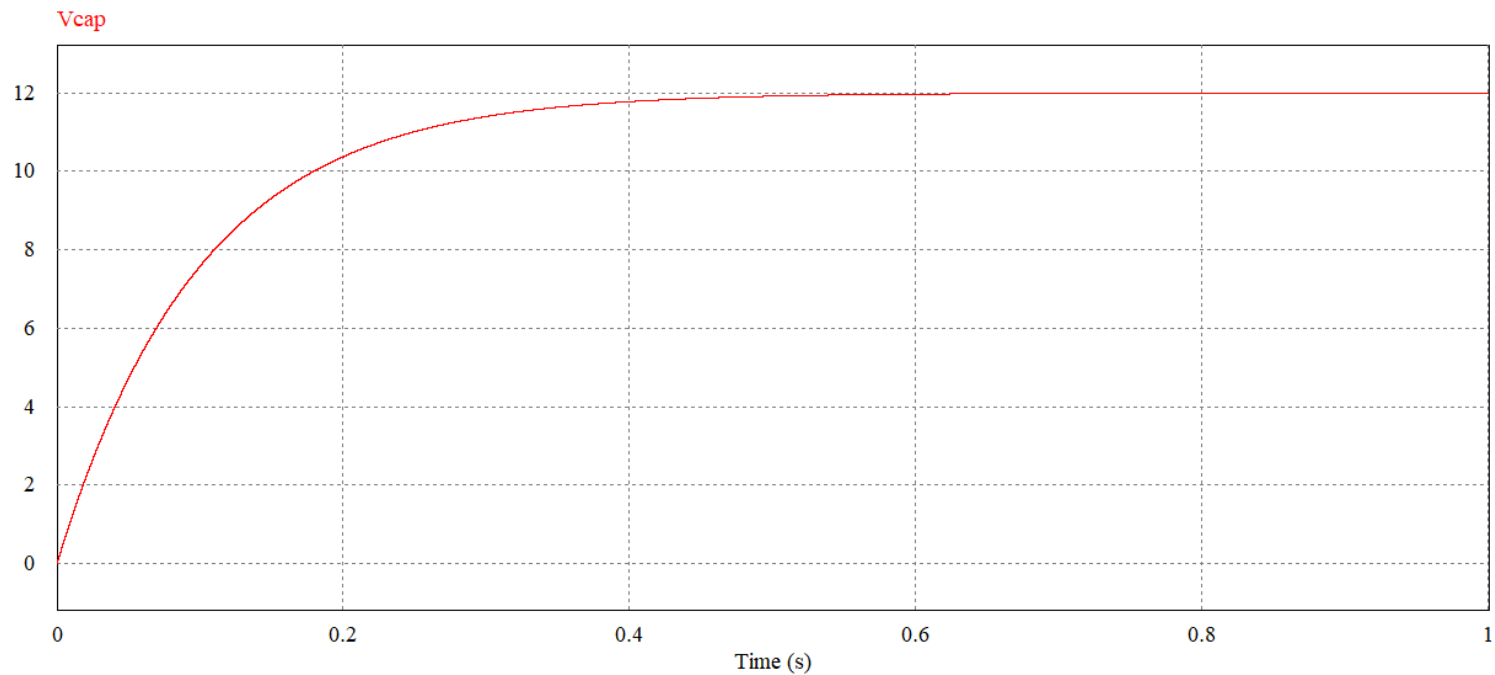
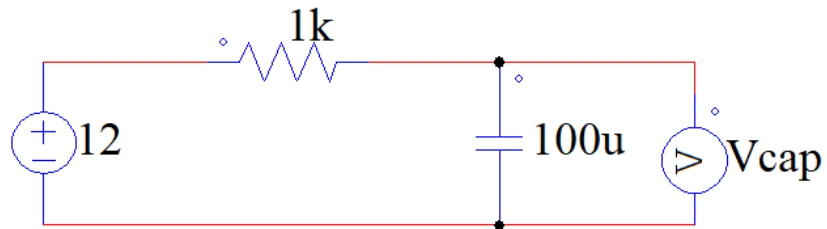
$$V_C(t) = V_{fonte} \left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}} \right)$$

$$\tau = R \cdot C$$

Capacitores



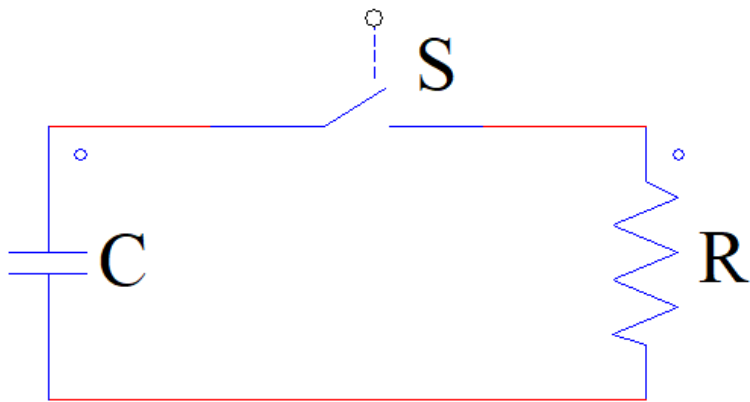
➤ Abaixo o exemplo da carga de um capacitor:



Capacitores



- **Carga e descarga do capacitor:**
- Na descarga do capacitor, τ representa o tempo que o capacitor leva para perder 37% da sua tensão.
- O capacitor é considerado **totalmente descarregado** ao atingir entre 3 e 5 vezes o valor de τ (5% ou 1% da tensão inicial).



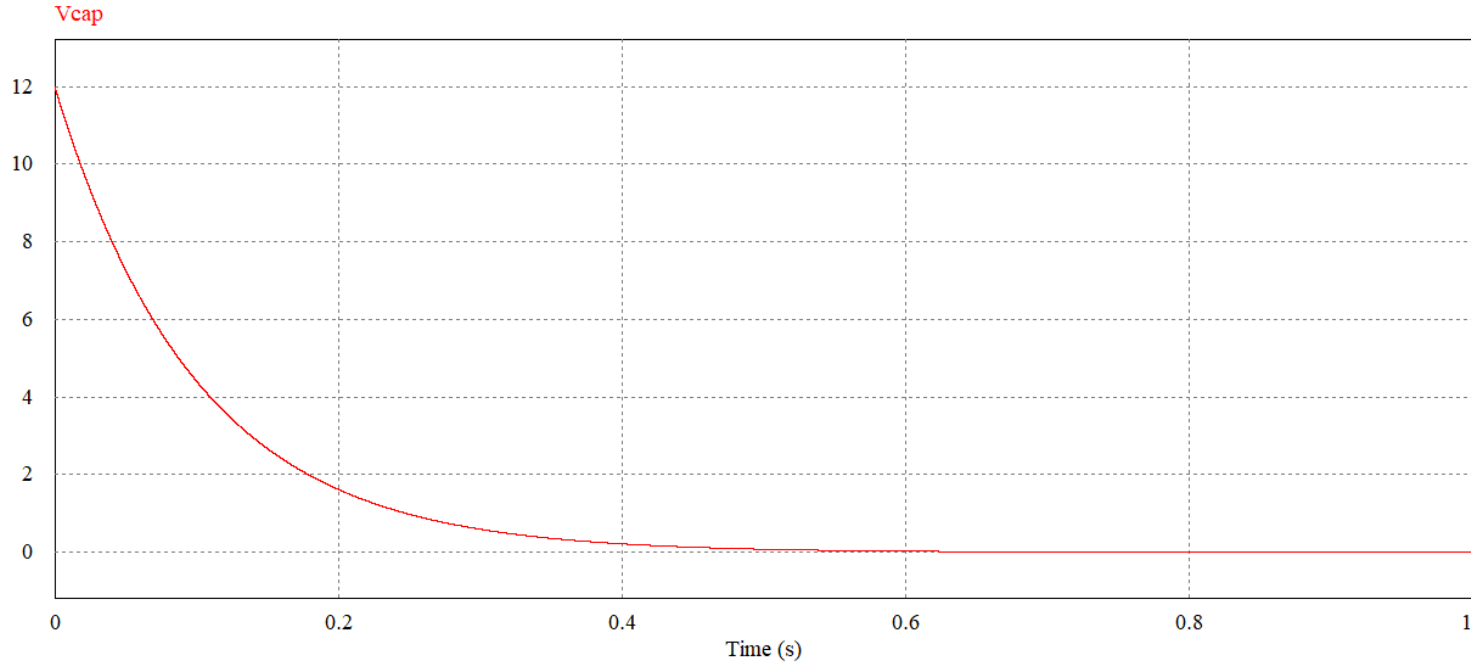
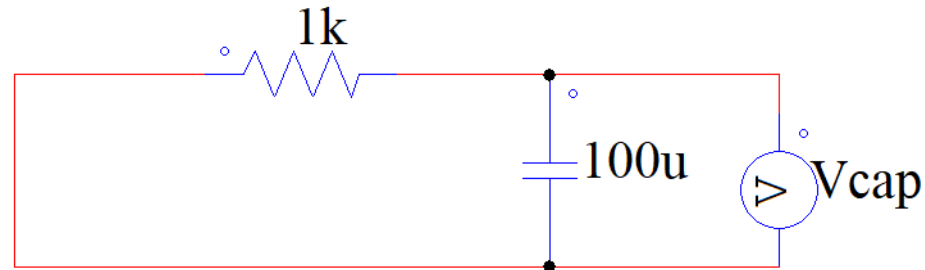
$$V_C(t) = V_{inicial} \cdot e^{\frac{-t}{\tau}}$$

$$\tau = R \cdot C$$

Capacitores



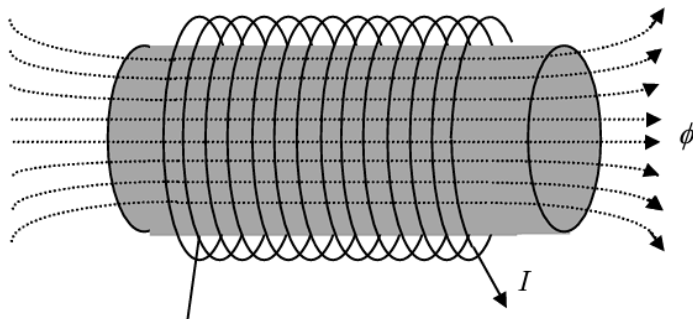
➤ Abaixo o exemplo da descarga de um capacitor:



Indutores



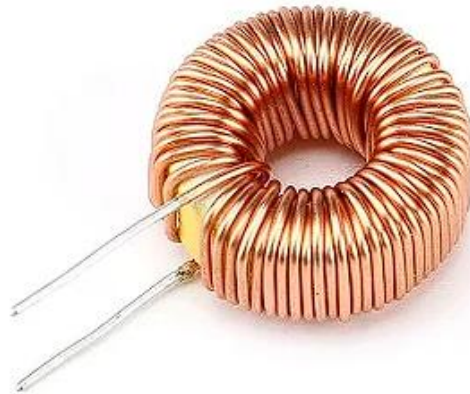
- O indutor é chamado de elemento dual ao capacitor.
- As equações de capacitores e indutores são semelhantes, só que enquanto os capacitores operam com tensão e campo elétrico, os indutores operam com corrente e campo magnético.
- Um indutor é um componente formado por fios enrolados no formato de bobina, com um material magnético em seu interior para concentrar o campo magnético, e assim armazenar energia.
- A simbologia dos indutores em circuitos é apresentada a seguir:



Indutores



- Existem diferentes formatos de indutores.
- Os mais comuns usam o núcleo E e o núcleo toroidal.
- As principais aplicações dos capacitores são: Filtros e componentes eletromecânicos, como relés.



Indutores



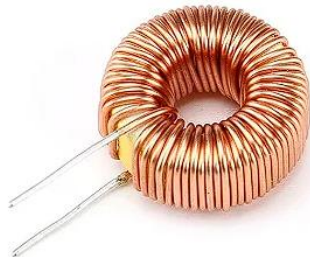
- A unidade de medida de um indutor é dada em Henry [H].
- Ela depende de aspectos construtivos do indutor, como o número de espiras e o material do núcleo magnético.
- Assim como no capacitor, o indutor pode armazenar energia.
- A equação da energia armazenada em um indutor é dada a seguir:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

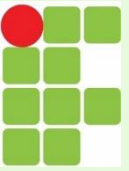
Reatância



- Os indutores e capacitores possuem uma característica de oposição a passagem de corrente quando há variações de tensão ou corrente no circuito (ou seja, uma frequência).
- Esse equivalente da resistência é chamado de **reatância**, e é dado em ohms [Ω].
- Já a **impedância** é um somatório das resistências e reatâncias do circuito.
- A reatância pode ser indutiva ou capacitiva.

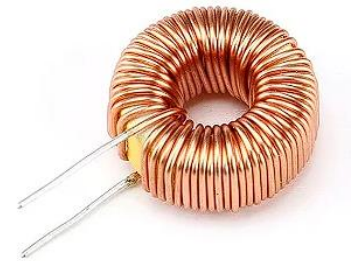


Reatância



- A **reatância indutiva** X_L é expressa pela equação abaixo:
- Observe que quanto maior a frequência, maior a reatância do indutor.

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$



Reatância



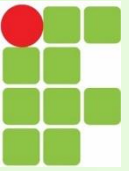
- **Exemplo:** Uma fonte com tensão eficaz de 10 V e frequência de oscilação de 100 Hz está conectada a um indutor de 10 mH. Calcule a reatância indutiva do circuito e a corrente elétrica.

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 0,01 = 6,28 \, \Omega$$

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{10}{6,28} = 1,6 \, \text{A}$$

Reatância



- **Exercício:** No circuito abaixo, calcule a reatância indutiva para uma fonte com frequência de 100 Hz, 10 kHz e 1 MHz.



$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

Reatância



- **Exercício:** No circuito abaixo, calcule a reatância indutiva para uma fonte com frequência de 100 Hz, 10 kHz e 1 MHz.

$$X_{L1} = 2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0,63 \, \Omega$$

$$X_{L2} = 2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 62,83 \, \Omega$$

$$X_{L3} = 2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 6,28 \, k\Omega$$

Reatância



- Já **reatância capacitiva X_C** é expressa pela equação abaixo:
- Observe que quanto maior a frequência, menor a reatância do capacitor.

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$



Reatância



- **Exemplo:** Uma fonte com tensão eficaz de 10 V e frequência de oscilação de 100 Hz está conectada a um capacitor de 100 μF . Calcule a reatância indutiva do circuito e a corrente elétrica.

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

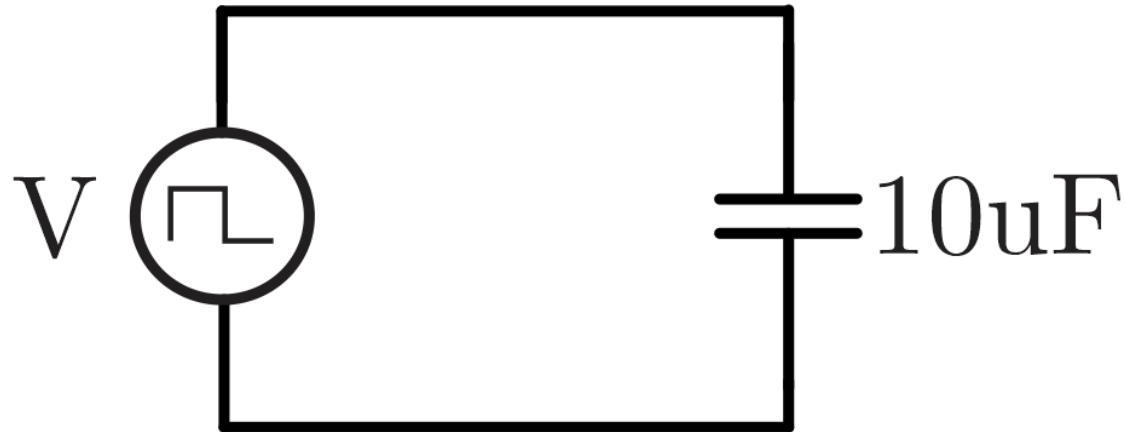
$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 0,0001} = 15,91 \, \Omega$$

$$I = \frac{V}{X_C} = \frac{10}{15,91} = 0,63 \, \text{A}$$

Reatância

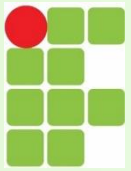


- **Exercício:** No circuito abaixo, calcule a reatância capacitiva para uma fonte com frequência de 100 Hz, 10 kHz e 1 MHz.



$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Reatância



- **Exercício:** No circuito abaixo, calcule a reatância indutiva para uma fonte com frequência de 100 Hz, 10 kHz e 1 MHz.

$$X_{C1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 159,15 \, \Omega$$

$$X_{C2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 1,59 \, \Omega$$

$$X_{C3} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 15,91 \, m\Omega$$

Filtros RC

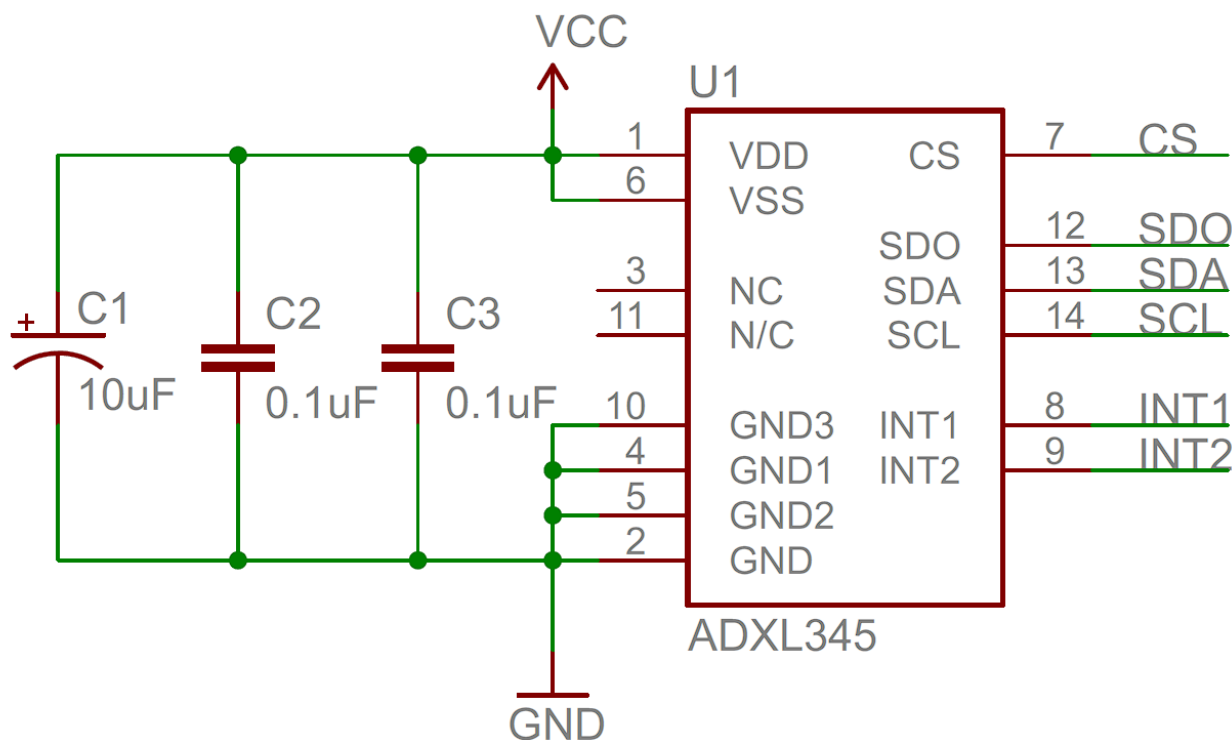


- Observe que quanto **maior** a frequência em um circuito com capacitor, **menor** a sua reatância.
- Ou seja, o capacitor apresenta uma **baixa** oposição a passagem de corrente para frequências **altas**.
- Assim, o capacitor é muito usado na filtragem de sinais de tensão.
- O tipo de filtro mais usado é chamado de **passa-baixa**.
- Ele tem esse nome porque frequências abaixo da **frequência de corte**.
- Além disso, os filtros usando indutores e capacitores são chamados de **filtros passivos**, pois eles não são capazes de dar ganho ao sinal.

Filtros RC



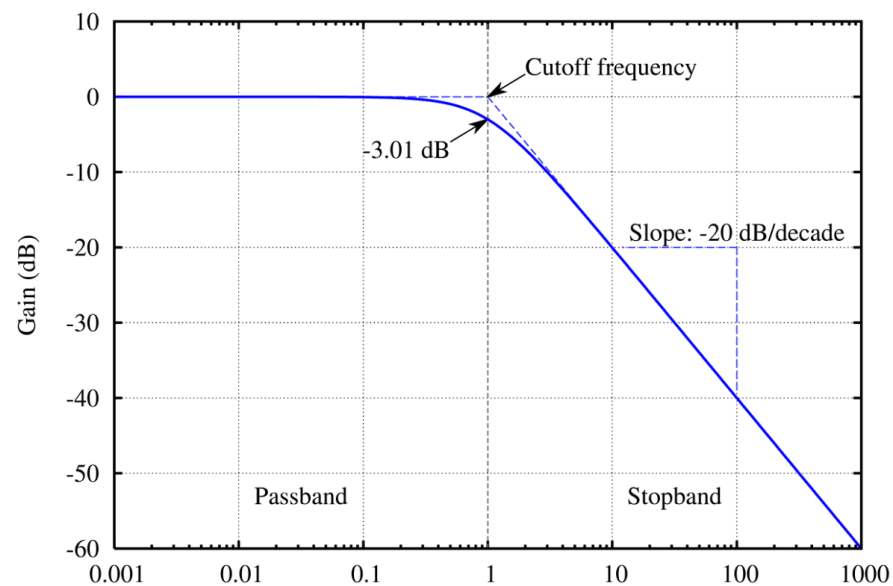
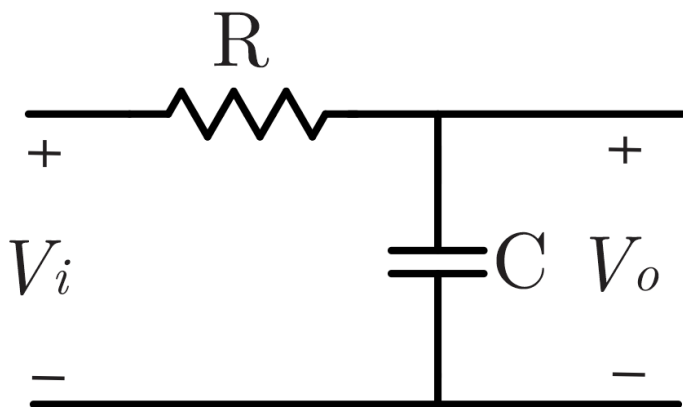
- Por esse motivo, é comum usar capacitores o mais próximo possível da tensão de alimentação dos circuitos integrados para evitar ruídos de alta frequência.
- É uma boa prática usar um capacitor de 10 μF eletrolítico em paralelo com um capacitor de 100 nF cerâmico.



Filtros RC



- Além disso, um capacitor e um resistor podem ser usado na filtragem de sinais.
- Esses filtros são chamados de **filtros RC**.
- O circuito de um filtro passa-baixas RC é apresentado a seguir:



Filtros RC



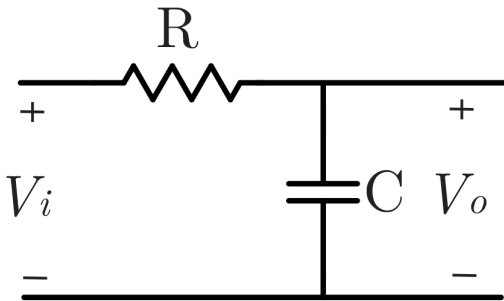
- A **frequência de corte** é definida como a frequência em que o sinal sofre uma atenuação de aproximadamente 30%, ou seja, o sinal de saída possui aproximadamente 70% da intensidade do sinal de entrada.
- Ela é dada pela equação abaixo:
- Para seu projeto, define-se a frequência a qual se quer filtrar, escolhe-se o capacitor ou o resistor e se calcula o outro componente.
- Além disso, escolhe-se a frequência de corte um pouco abaixo da frequência a ser filtrada.
- Uma boa prática é usar uma frequência de corte **10 vezes menor** do que a frequência a ser filtrada.

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Filtros RC



- **Exemplo:** Deseja-se filtrar um sinal de 100 kHz com amplitude de 10 V. O circuito usado será do tipo RC, com um resistor de 100 Ω . Calcule o capacitor para que em 100 kHz o sinal tenha atenuação de 30%. Qual será a amplitude da tensão após a filtragem?



$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f_c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 100k} = 15,91 \text{ nF}$$

$$V_{ampl} = 7 \text{ V}$$

Filtros RC



- **Exercício:** Deseja-se filtrar um sinal de um sensor de tensão que está apresentando ruídos de alta frequência em sua leitura. Para isso, foi escolhido o uso de um filtro RC, com um resistor de $10\ \Omega$. A frequência do ruído foi estimada em 1 MHz. Escolha uma frequência de corte adequada para o filtro, e calcule o capacitor para o filtro.

$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Filtros RC



- **Exercício:** Deseja-se filtrar um sinal de um sensor de tensão que está apresentando ruídos de alta frequência em sua leitura. Para isso, foi escolhido o uso de um filtro RC, com um resistor de $10\ \Omega$. A frequência do ruído foi estimada em 1 MHz. Escolha uma frequência de corte adequada para o filtro, e calcule o capacitor para o filtro.

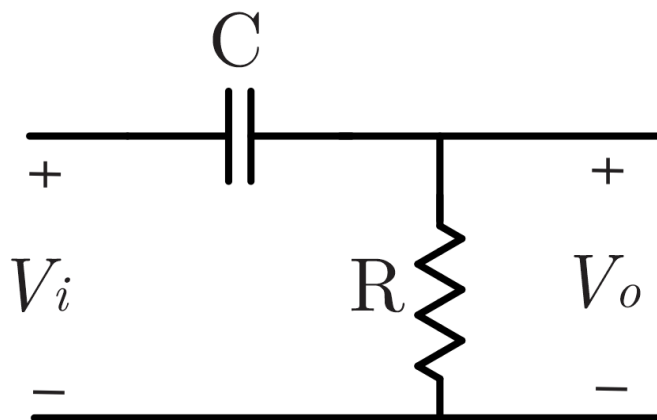
$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \qquad f_c = \frac{1M}{10} = 100\ \text{kHz}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f_c} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 100 \cdot 100k} = 159\ \text{nF}$$

Filtros RC



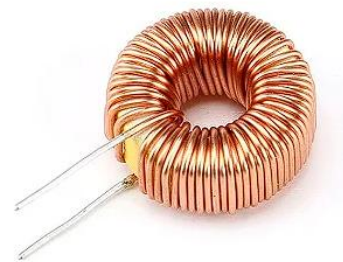
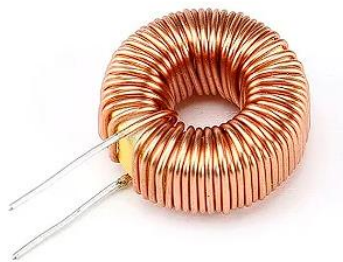
- Vale salientar que existem outros tipos de filtros passivos, que podem usar tanto capacitores quanto indutores.
- Filtros **passa-altas** deixam passar frequências acima da frequência de corte, conforme a figura abaixo.
- Filtros **passa-faixa** deixam passar apenas uma faixa de frequência, rejeitando as outras. São comuns em sistemas de rádio.
- Filtros **rejeita-faixa** filtram apenas uma faixa de frequência, deixando passar as outras.



Associação de Indutores



- Os indutores e capacitores, assim como os resistores, podem ser associados em série e em paralelo.
- Os **indutores** seguem a mesma regra dos resistores para a indutância equivalente.
- Ou seja, quando os indutores estão **em série**, a indutância equivalente é a soma das indutâncias.
- Já quando os indutores estão **em paralelo**, a indutância equivalente será a soma dos inversos das indutâncias.



Associação de Indutores

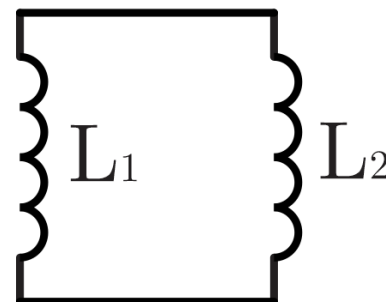


➤ Série:



$$L_{eq} = L_1 + L_2$$

➤ Paralelo:



$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

Associação de Capacitores



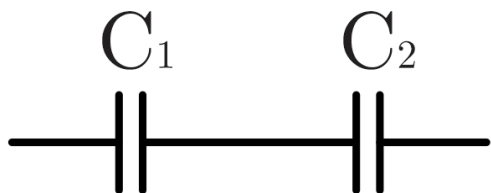
- Já para os **capacitores**, a regra é o contrário da resistência equivalente.
- Ou seja, quando os capacitores estão **em série**, a capacitância equivalente é a soma dos inversos da capacitância.
- Já quando os capacitores estão **em paralelo**, a capacitância equivalente será a soma das capacitâncias.



Associação de Capacitores

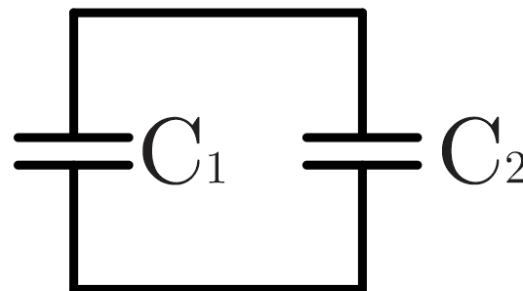


➤ Série:



$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

➤ Paralelo:

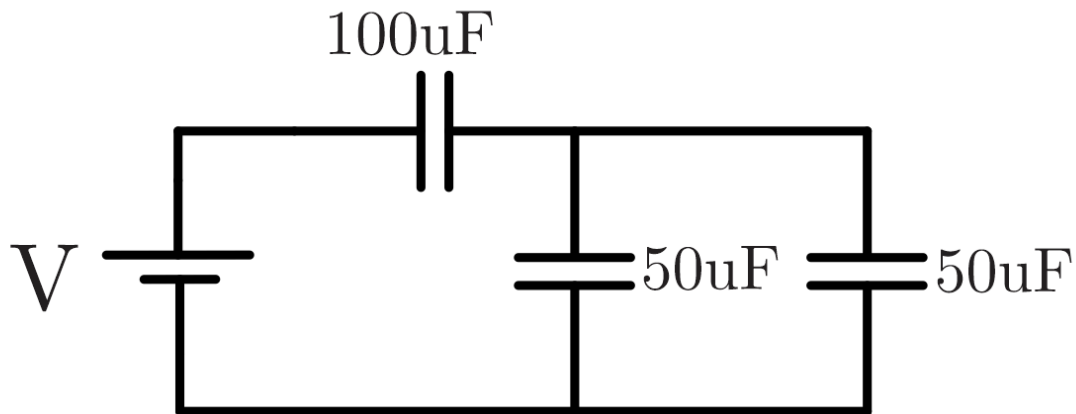


$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

Associação de Capacitores



- **Exemplo:** Calcule a Capacitância equivalente do seguinte circuito.



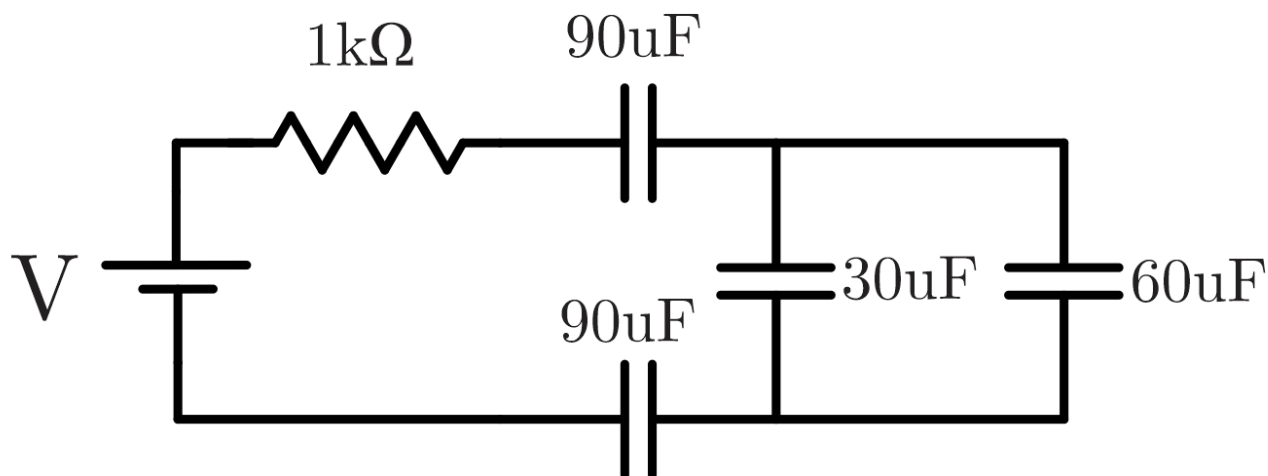
$$C_{eq1} = 50\mu + 50\mu = 100 \mu\text{F}$$

$$C_{eq} = \frac{100\mu}{2} = 50 \mu\text{F}$$

Associação de Capacitores



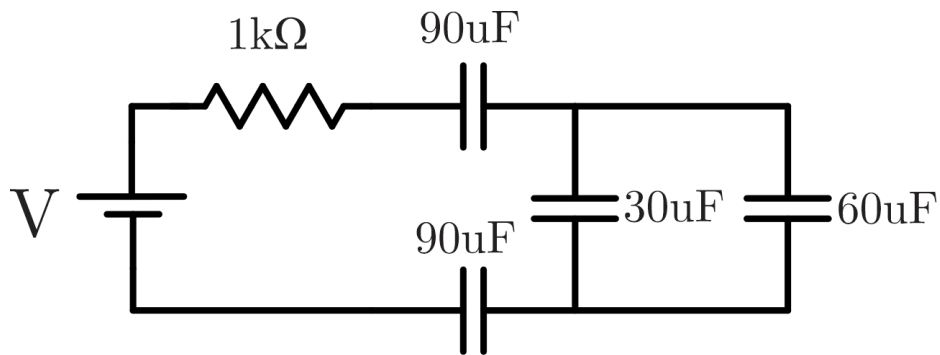
- **Exercício:** Calcule a capacitância equivalente e a constante de tempo do seguinte circuito:



Associação de Capacitores



- **Exercício:** Calcule a capacitância equivalente e a constante de tempo do seguinte circuito:



$$C_{eq1} = 30\mu + 60\mu = 90 \mu\text{F}$$

$$C_{eq} = \frac{90\mu}{3} = 30 \mu\text{F}$$

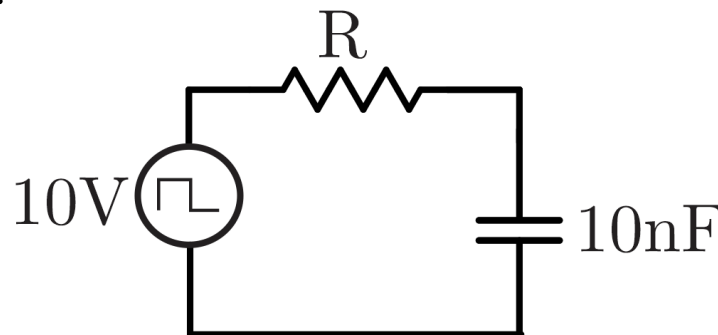
$$\tau = R \cdot C_{eq} = 1k \cdot 30\mu = 30 \text{ ms}$$

Capacitores



➤ Prática 1:

- Calcule o resistor do circuito abaixo para uma frequência de corte de 1kHz. Se necessário use associação de resistores.
- Monte o circuito no protoboard.
- Ajuste a frequência do gerador de função para a frequência de corte do circuito.
- Meça a tensão de entrada (gerador) e a tensão de saída (capacitor) com o osciloscópio e compare os resultados.
- Aumente a frequência do gerador e observe o comportamento da a tensão de saída de acordo com a frequência. Use diferentes formas de onda.



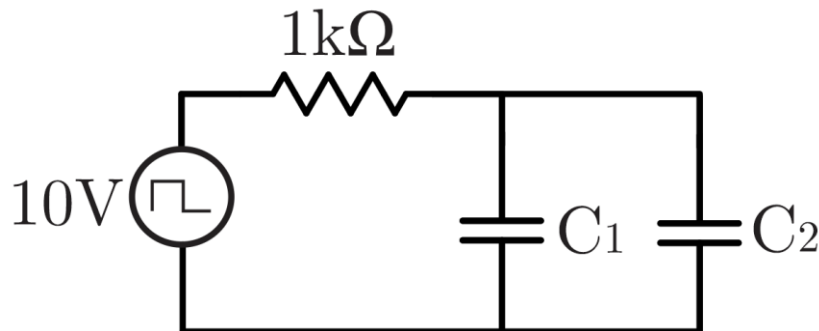
$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Capacitores



➤ Prática 2:

- No circuito abaixo, deseja-se uma capacitância de $10\ \mu\text{F}$, no entanto este capacitor não está disponível no laboratório. Obtenha uma capacitância próxima a essa usando associação de capacitores.
- Calcule a frequência de corte do circuito.
- Ajuste a frequência do gerador de função para a frequência de corte do circuito.
- Meça a tensão de entrada (gerador) e a tensão de saída (capacitor) com o osciloscópio e compare os resultados.



$$f_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$