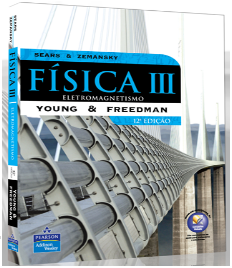
Capítulo 31 - Corrente Alternada

RODRIGO ALVES DIAS

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Livro texto: Física 3 - Eletromagnetismo
Autores: Sears e Zemansky - Edição: 12ª
Editora: Pearson - Addisson and Wesley

25 de julho de 2011



Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- Como os fasores facilitam a descrição senoidal das grandezas variantes.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- Como os fasores facilitam a descrição senoidal das grandezas variantes.
- Como usar a reatância para descrever a voltagem através de um elemento de circuito que transporta uma corrente alternada.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- Como os fasores facilitam a descrição senoidal das grandezas variantes.
- Como usar a reatância para descrever a voltagem através de um elemento de circuito que transporta uma corrente alternada.
- Como analisar um circuito R-L-C em série com uma fem senoidal.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- Como os fasores facilitam a descrição senoidal das grandezas variantes.
- Como usar a reatância para descrever a voltagem através de um elemento de circuito que transporta uma corrente alternada.
- Como analisar um circuito R-L-C em série com uma fem senoidal.
- O que determina a quantidade de potência que entra ou sai de um circuito de corrente alternada.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- Como os fasores facilitam a descrição senoidal das grandezas variantes.
- Como usar a reatância para descrever a voltagem através de um elemento de circuito que transporta uma corrente alternada.
- Como analisar um circuito R-L-C em série com uma fem senoidal.
- O que determina a quantidade de potência que entra ou sai de um circuito de corrente alternada.
- Como um circuito R-L-C em série responde a fems senoidais de freqüências diferentes.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- Como os fasores facilitam a descrição senoidal das grandezas variantes.
- Como usar a reatância para descrever a voltagem através de um elemento de circuito que transporta uma corrente alternada.
- Como analisar um circuito R-L-C em série com uma fem senoidal.
- O que determina a quantidade de potência que entra ou sai de um circuito de corrente alternada.
- Como um circuito R-L-C em série responde a fems senoidais de freqüências diferentes.
- Por que os transformadores são úteis e como eles funcionam.

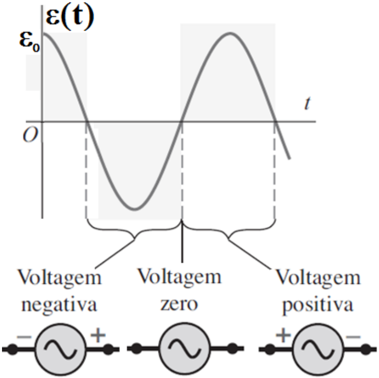
Introdução.

Números complexos e fasores.

Fonte AC e Resistor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

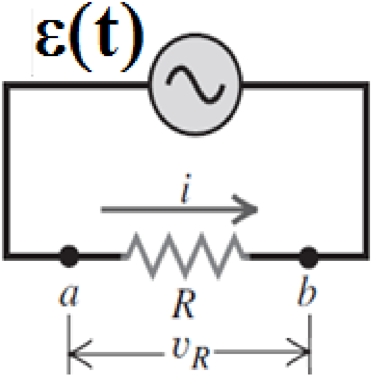
$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t))$$
$$\widetilde{\varepsilon}(t) = \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0$$



Fonte AC e Resistor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

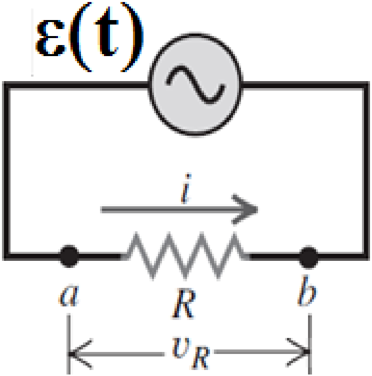
$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_R(t)
\end{aligned}
$$



Fonte AC e Resistor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

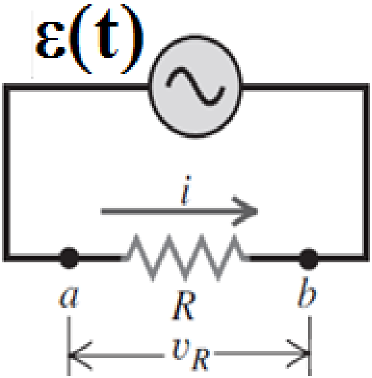
$$\begin{aligned} \varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\ \widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\ 0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_R(t) \\ \widetilde{v}_R(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = R\widetilde{\mathrm{I}}(t) \end{aligned}$$



Fonte AC e Resistor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

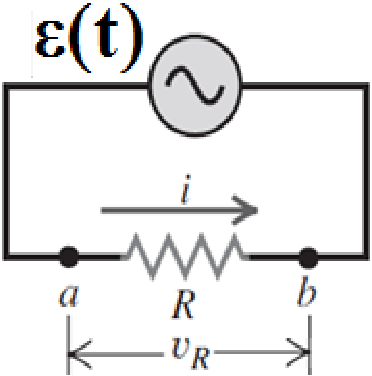
$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_R(t) \\
\widetilde{v}_R(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = R\widetilde{\mathrm{I}}(t) \\
\widetilde{\mathrm{I}}(t) &= \frac{\widetilde{\varepsilon}(t)}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R} e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$



Fonte AC e Resistor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

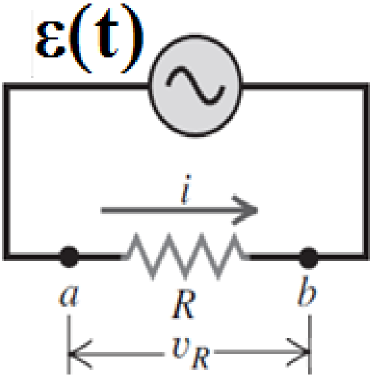
$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_R(t) \\
\widetilde{v}_R(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = R\widetilde{\mathtt{I}}(t) \\
\widetilde{\mathtt{I}}(t) &= \frac{\widetilde{\varepsilon}(t)}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R} e^{i\omega t} \\
\widetilde{\mathtt{I}}(t) &= \overline{\mathtt{I}} e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$



Fonte AC e Resistor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

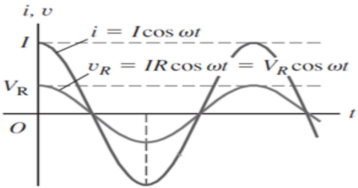
$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_R(t) \\
\widetilde{v}_R(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = R\widetilde{\mathrm{I}}(t) \\
\widetilde{\mathrm{I}}(t) &= \frac{\widetilde{\varepsilon}(t)}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R} e^{i\omega t} \\
\widetilde{\mathrm{I}}(t) &= \overline{\mathrm{I}} e^{i\omega t} \\
\overline{\mathrm{I}} &= \frac{\varepsilon_0}{R} = \mathrm{I}_0 e^{i\phi}
\end{aligned}
$$

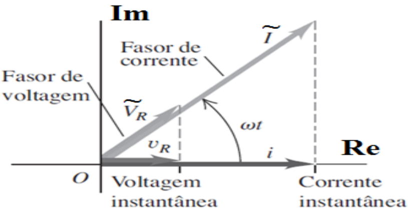


Fonte AC e Resistor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \Re\mathfrak{e}(\tilde{\varepsilon}(t)) \\
\tilde{\varepsilon}(t) &= \bar{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \tilde{\varepsilon}(t) - \tilde{v}_R(t) \\
\tilde{v}_R(t) &= \tilde{\varepsilon}(t) = R\tilde{\mathrm{I}}(t) \\
\tilde{\mathrm{I}}(t) &= \frac{\tilde{\varepsilon}(t)}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R} e^{i\omega t} \\
\tilde{\mathrm{I}}(t) &= \bar{\mathrm{I}} e^{i\omega t} \\
\bar{\mathrm{I}} &= \frac{\varepsilon_0}{R} = \mathrm{I}_0 e^{i\phi} \\
X_R &= R \ ; \ \phi = 0 \ ; \ \varepsilon_0 = X_R \mathrm{I}_0 \\
\mathrm{I}(t) &= \Re\mathfrak{e}(\tilde{\mathrm{I}}(t)) = \frac{\varepsilon_0}{R} \cos(\omega t)
\end{aligned}
$$

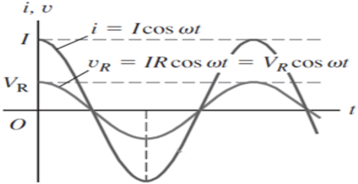


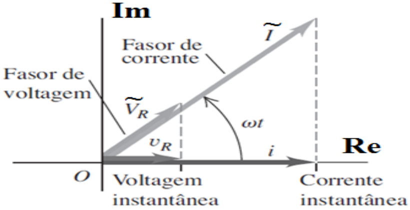


Fonte AC e Resistor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_R(t) \\
\widetilde{v}_R(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = R\widetilde{\mathtt{I}}(t) \\
\widetilde{\mathtt{I}}(t) &= \frac{\widetilde{\varepsilon}(t)}{R} = \frac{\varepsilon_0}{R} e^{i\omega t} \\
\widetilde{\mathtt{I}}(t) &= \overline{\mathtt{I}} e^{i\omega t} \\
\overline{\mathtt{I}} &= \frac{\varepsilon_0}{R} = \mathtt{I}_0 e^{i\phi} \\
X_R &= R \quad ; \quad \phi = 0 \quad ; \quad \varepsilon_0 = X_R \mathtt{I}_0 \\
\mathtt{I}(t) &= \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\mathtt{I}}(t)) = \frac{\varepsilon_0}{R} \cos(\omega t)
\end{aligned}
$$



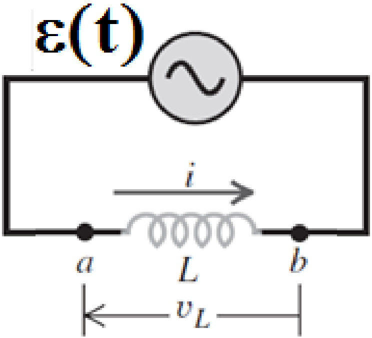


- **A voltagem AC e a corrente AC em um resistor estão em fase.**
- X_R **é chamada de reatância resistiva.**

Fonte AC e Indutor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

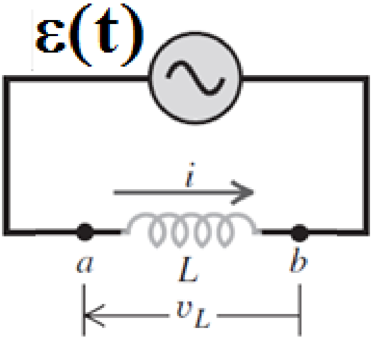
$$\begin{aligned} \varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\ \widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \end{aligned}$$



Fonte AC e Indutor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

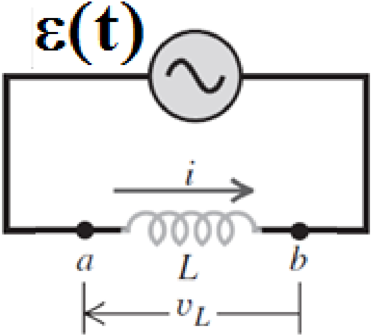
$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_L(t)
\end{aligned}
$$



Fonte AC e Indutor.

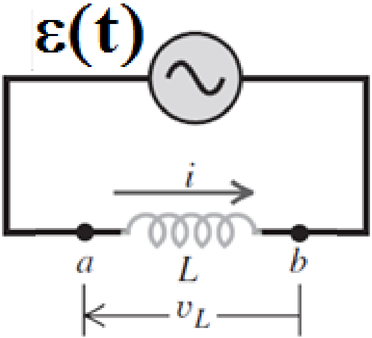
- **Seja uma fonte fem alternada,**

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \Re\mathfrak{e}(\tilde{\varepsilon}(t)) \\
\tilde{\varepsilon}(t) &= \bar{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \tilde{\varepsilon}(t) - \tilde{v}_L(t) \\
\tilde{v}_L(t) &= \tilde{\varepsilon}(t) = L\frac{d\tilde{\mathrm{I}}(t)}{dt} = \varepsilon_0 e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$



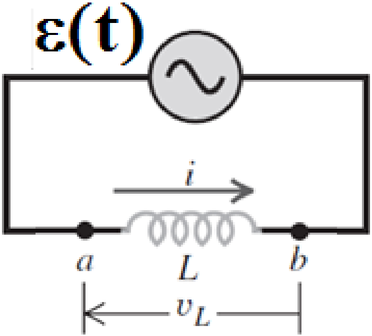
Fonte AC e Indutor.

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_L(t) \\
\widetilde{v}_L(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = L \frac{d\widetilde{\mathrm{I}}(t)}{dt} = \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\int d\widetilde{\mathrm{I}}(t) &= \frac{\varepsilon_0}{L} \int e^{i\omega t} dt = \frac{\varepsilon_0}{i\omega L} e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$



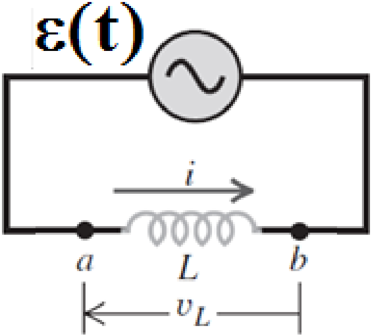
Fonte AC e Indutor.

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_L(t) \\
\widetilde{v}_L(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = L \frac{d\widetilde{\mathtt{I}}(t)}{dt} = \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\int d\widetilde{\mathtt{I}}(t) &= \frac{\varepsilon_0}{L} \int e^{i\omega t} dt = \frac{\varepsilon_0}{i\omega L} e^{i\omega t} \\
\widetilde{\mathtt{I}}(t) &= \overline{\mathtt{I}} e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$



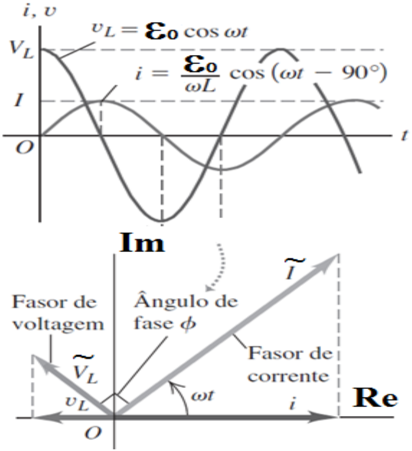
Fonte AC e Indutor.

$$\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \bar{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_L(t) \\
\widetilde{v}_L(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = L \frac{d\widetilde{\mathtt{I}}(t)}{dt} = \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\int d\widetilde{\mathtt{I}}(t) &= \frac{\varepsilon_0}{L} \int e^{i\omega t} dt = \frac{\varepsilon_0}{i\omega L} e^{i\omega t} \\
\widetilde{\mathtt{I}}(t) &= \bar{\mathtt{I}} e^{i\omega t} \\
\bar{\mathtt{I}} &= \frac{\varepsilon_0}{i\omega L} = \frac{\varepsilon_0}{X_L} e^{-i\frac{\pi}{2}} = \mathtt{I}_0 e^{i\phi}
\end{aligned}$$



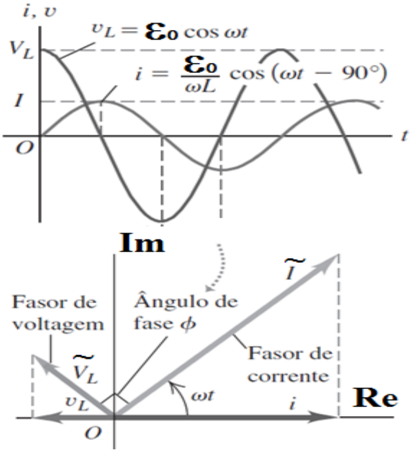
Fonte AC e Indutor.

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \bar{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_L(t) \\
\widetilde{v}_L(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = L\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}(t)}{dt} = \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\int d\widetilde{\mathrm{I}}(t) &= \frac{\varepsilon_0}{L}\int e^{i\omega t} dt = \frac{\varepsilon_0}{i\omega L} e^{i\omega t} \\
\widetilde{\mathrm{I}}(t) &= \bar{\mathrm{I}} e^{i\omega t} \\
\bar{\mathrm{I}} &= \frac{\varepsilon_0}{i\omega L} = \frac{\varepsilon_0}{X_L} e^{-i\frac{\pi}{2}} = \mathrm{I}_0 e^{i\phi} \\
X_L &= \omega L \;\; ; \;\; \phi = -\frac{\pi}{2} \;\; ; \;\; \varepsilon_0 = X_L \mathrm{I}_0 \\
\mathrm{I}(t) &= \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\mathrm{I}}(t)) = \frac{\varepsilon_0}{X_L}\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})
\end{aligned}
$$



Fonte AC e Indutor.

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \bar{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_L(t) \\
\widetilde{v}_L(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = L\frac{d\widetilde{\mathtt{I}}(t)}{dt} = \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\int d\widetilde{\mathtt{I}}(t) &= \frac{\varepsilon_0}{L}\int e^{i\omega t} dt = \frac{\varepsilon_0}{i\omega L} e^{i\omega t} \\
\widetilde{\mathtt{I}}(t) &= \bar{\mathtt{I}} e^{i\omega t} \\
\bar{\mathtt{I}} &= \frac{\varepsilon_0}{i\omega L} = \frac{\varepsilon_0}{X_L} e^{-i\frac{\pi}{2}} = \mathtt{I}_0 e^{i\phi} \\
X_L &= \omega L \;\; ; \;\; \phi = -\frac{\pi}{2} \;\; ; \;\; \varepsilon_0 = X_L \mathtt{I}_0 \\
\mathtt{I}(t) &= \mathfrak{Re}(\widetilde{\mathtt{I}}(t)) = \frac{\varepsilon_0}{X_L}\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})
\end{aligned}
$$

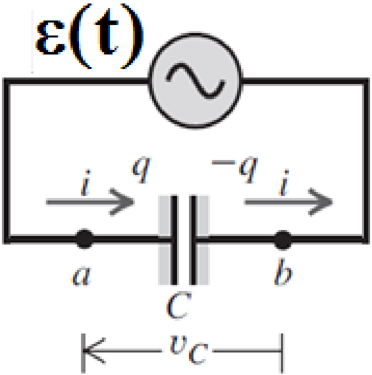


- **A corrente AC em um indutor está com atraso de fase de $\frac{\pi}{2}$ em relação à voltagem AC.**
- **X_L é chamada de reatância indutiva.**

Fonte AC e Capacitor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

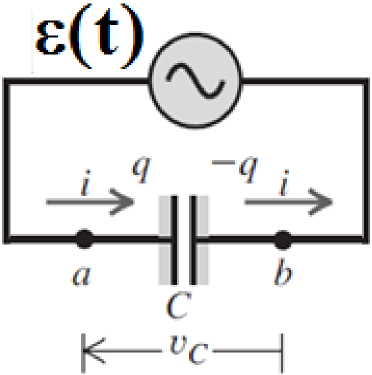
$$\begin{aligned} \varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\ \widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \end{aligned}$$



Fonte AC e Capacitor.

- **Seja uma fonte fem alternada,**

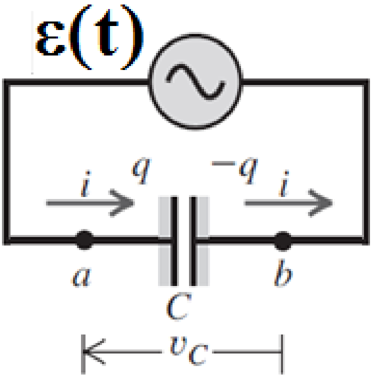
$$\begin{aligned} \varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\ \widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\ 0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_c(t) \end{aligned}$$



Fonte AC e Capacitor.

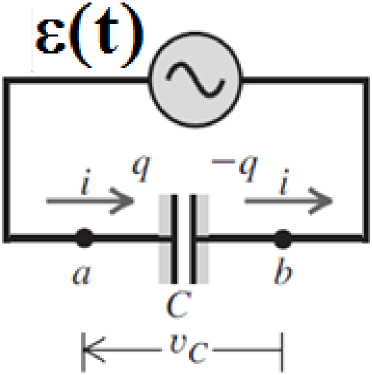
- **Seja uma fonte fem alternada,**

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_c(t) \\
\widetilde{v}_c(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = \frac{\widetilde{q}(t)}{C} \\
\frac{d\widetilde{\varepsilon}(t)}{dt} &= \frac{1}{C}\frac{d\widetilde{q}(t)}{dt} = \frac{\widetilde{I}(t)}{C}
\end{aligned}
$$



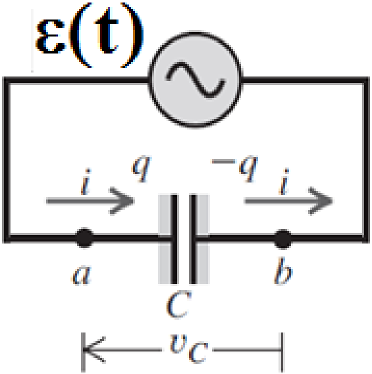
Fonte AC e Capacitor.

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \mathfrak{Re}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_c(t) \\
\widetilde{v}_c(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = \frac{\widetilde{q}(t)}{C} \\
\frac{d\widetilde{\varepsilon}(t)}{dt} &= \frac{1}{C}\frac{d\widetilde{q}(t)}{dt} = \frac{\widetilde{\mathrm{I}}(t)}{C} \\
\widetilde{\mathrm{I}}(t) &= \varepsilon_0 i\omega C e^{i\omega t} = \overline{\mathrm{I}} e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$



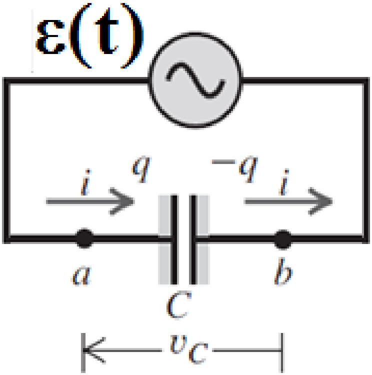
Fonte AC e Capacitor.

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_c(t) \\
\widetilde{v}_c(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = \frac{\widetilde{q}(t)}{C} \\
\frac{d\widetilde{\varepsilon}(t)}{dt} &= \frac{1}{C}\frac{d\widetilde{q}(t)}{dt} = \frac{\widetilde{\mathrm{I}}(t)}{C} \\
\widetilde{\mathrm{I}}(t) &= \varepsilon_0 i\omega C e^{i\omega t} = \overline{\mathrm{I}} e^{i\omega t} \\
\overline{\mathrm{I}} &= \frac{\varepsilon_0}{X_c} e^{i\frac{\pi}{2}} = \mathrm{I}_0 e^{i\phi}
\end{aligned}
$$



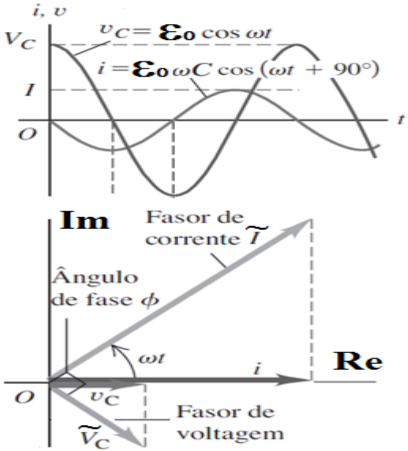
Fonte AC e Capacitor.

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \bar{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_c(t) \\
\widetilde{v}_c(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = \frac{\widetilde{q}(t)}{C} \\
\frac{d\widetilde{\varepsilon}(t)}{dt} &= \frac{1}{C}\frac{d\widetilde{q}(t)}{dt} = \frac{\widetilde{\mathrm{I}}(t)}{C} \\
\widetilde{\mathrm{I}}(t) &= \varepsilon_0 i\omega C e^{i\omega t} = \bar{\mathrm{I}} e^{i\omega t} \\
\bar{\mathrm{I}} &= \frac{\varepsilon_0}{X_c} e^{i\frac{\pi}{2}} = \mathrm{I}_0 e^{i\phi} \\
X_c &= \frac{1}{\omega C} \quad ; \quad \phi = \frac{\pi}{2} \quad ; \quad \varepsilon_0 = X_c \mathrm{I}_0 \\
\mathrm{I}(t) &= \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\mathrm{I}}(t)) = \frac{\varepsilon_0}{X_c}\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})
\end{aligned}
$$



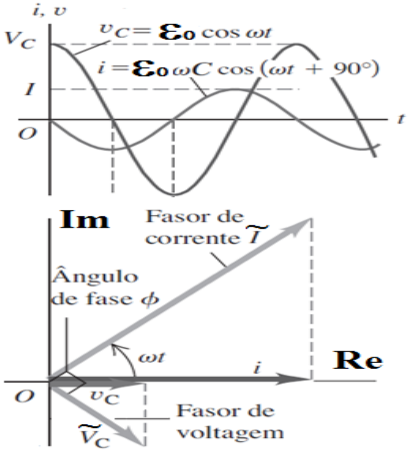
Fonte AC e Capacitor.

$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \bar{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_c(t) \\
\widetilde{v}_c(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = \frac{\widetilde{q}(t)}{C} \\
\frac{d\widetilde{\varepsilon}(t)}{dt} &= \frac{1}{C}\frac{d\widetilde{q}(t)}{dt} = \frac{\widetilde{\mathtt{I}}(t)}{C} \\
\widetilde{\mathtt{I}}(t) &= \varepsilon_0 i\omega C e^{i\omega t} = \bar{\mathtt{I}} e^{i\omega t} \\
\bar{\mathtt{I}} &= \frac{\varepsilon_0}{X_c} e^{i\frac{\pi}{2}} = \mathtt{I}_0 e^{i\phi} \\
X_c &= \frac{1}{\omega C} \quad ; \quad \phi = \frac{\pi}{2} \quad ; \quad \varepsilon_0 = X_c \mathtt{I}_0 \\
\mathtt{I}(t) &= \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\mathtt{I}}(t)) = \frac{\varepsilon_0}{X_c}\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})
\end{aligned}
$$



Fonte AC e Capacitor.

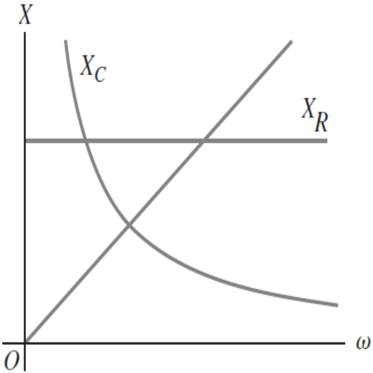
$$
\begin{aligned}
\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t) = \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\varepsilon}(t)) \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \overline{\varepsilon} e^{i\omega t} \quad , \quad \overline{\varepsilon} = \varepsilon_0 \\
0 &= \widetilde{\varepsilon}(t) - \widetilde{v}_c(t) \\
\widetilde{v}_c(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) = \frac{\widetilde{q}(t)}{C} \\
\frac{d\widetilde{\varepsilon}(t)}{dt} &= \frac{1}{C}\frac{d\widetilde{q}(t)}{dt} = \frac{\widetilde{\mathrm{I}}(t)}{C} \\
\widetilde{\mathrm{I}}(t) &= \varepsilon_0 i\omega C e^{i\omega t} = \overline{\mathrm{I}} e^{i\omega t} \\
\overline{\mathrm{I}} &= \frac{\varepsilon_0}{X_c} e^{i\frac{\pi}{2}} = \mathrm{I}_0 e^{i\phi} \\
X_c &= \frac{1}{\omega C} \quad ; \quad \phi = \frac{\pi}{2} \quad ; \quad \varepsilon_0 = X_c \mathrm{I}_0 \\
\mathrm{I}(t) &= \Re\mathfrak{e}(\widetilde{\mathrm{I}}(t)) = \frac{\varepsilon_0}{X_c}\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})
\end{aligned}
$$



- **A corrente AC em um capacitor está com avanço de fase de $\frac{\pi}{2}$ em relação à voltagem AC.**
- **X_c é chamada de reatância capacitiva.**

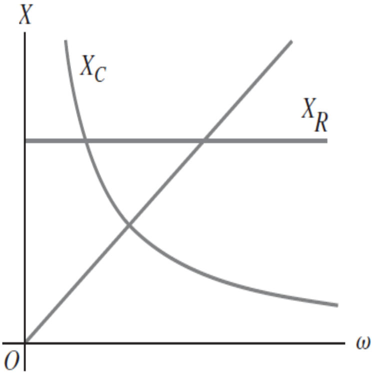
Reatância capacitiva, Indutiva e Resistiva.

- **Vimos que,**
- $X_R = R$.
- $X_c = \frac{1}{\omega C}$.
- $X_L = \omega L$.



Reatância capacitiva, Indutiva e Resistiva.

- **Vimos que,**
- $X_R = R.$
- $X_c = \frac{1}{\omega C}.$
- $X_L = \omega L.$
- Se, $\omega \rightarrow 0$(Corrente Continua),
- $X_R = R$
- $X_c =\rightarrow \infty$
- $X_L =\rightarrow 0$
- Se, $\omega \rightarrow \infty$,
- $X_R = R$
- $X_c =\rightarrow 0$
- $X_L =\rightarrow \infty$

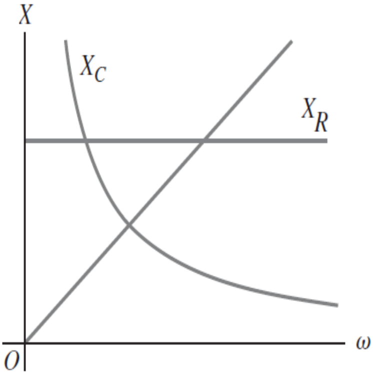


Reatância capacitiva, Indutiva e Resistiva.

- **Vimos que,**
- $X_R = R$.
- $X_c = \frac{1}{\omega C}$.
- $X_L = \omega L$.

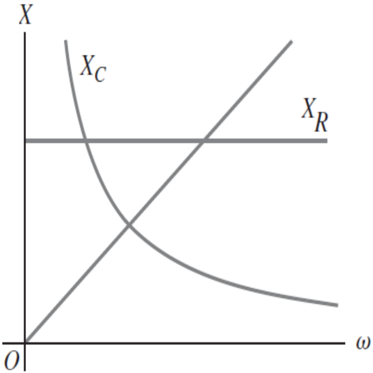
- Se, $\omega \to 0$(Corrente Continua),
- $X_R = R$
- $X_c = \to \infty$
- $X_L = \to 0$

- Se, $\omega \to \infty$,
- $X_R = R$
- $X_c = \to 0$
- $X_L = \to \infty$



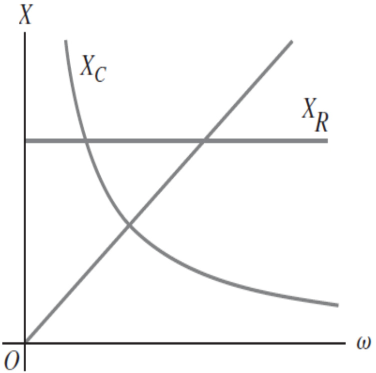
Reatância capacitiva, Indutiva e Resistiva.

- **Vimos que,**
- $X_R = R.$
- $X_c = \frac{1}{\omega C}.$
- $X_L = \omega L.$
- Se, $\omega \rightarrow 0$(Corrente Continua),
- $X_R = R$
- $X_c = \rightarrow \infty$
- $X_L = \rightarrow 0$
- Se, $\omega \rightarrow \infty$,
- $X_R = R$
- $X_c = \rightarrow 0$
- $X_L = \rightarrow \infty$



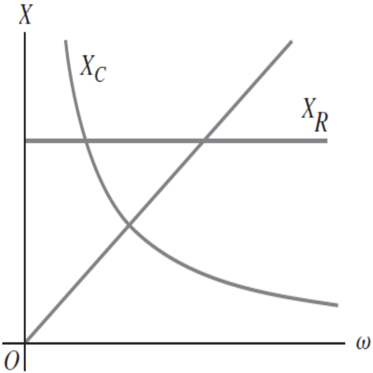
Reatância capacitiva, Indutiva e Resistiva.

- **Vimos que,**
- $X_R = R$.
- $X_c = \frac{1}{\omega C}$.
- $X_L = \omega L$.
- Se, $\omega \to 0$(Corrente Continua),
- $X_R = R$
- $X_c = \to \infty$
- $X_L = \to 0$
- Se, $\omega \to \infty$,
- $X_R = R$
- $X_c = \to 0$
- $X_L = \to \infty$



Reatância capacitiva, Indutiva e Resistiva.

- **Vimos que,**
- $X_R = R$.
- $X_c = \frac{1}{\omega C}$.
- $X_L = \omega L$.
- Se, $\omega \rightarrow 0$(Corrente Continua),
- $X_R = R$
- $X_c = \rightarrow \infty$
- $X_L = \rightarrow 0$
- Se, $\omega \rightarrow \infty$,
- $X_R = R$
- $X_c = \rightarrow 0$
- $X_L = \rightarrow \infty$



Fonte AC e circuito R-L.

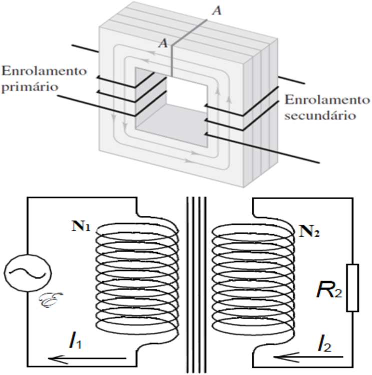
Fonte AC e circuito R-C.

Fonte AC e circuito R-L-C.

Ressonância.

Transformadores

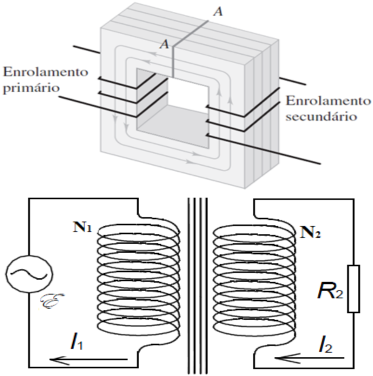
- R_2 **é a resistência do fio do secundário + resistência extra.**



Transformadores

- R_2 é a resistência do fio do secundário + resistência extra.
- Teremos duas malhas dadas por,

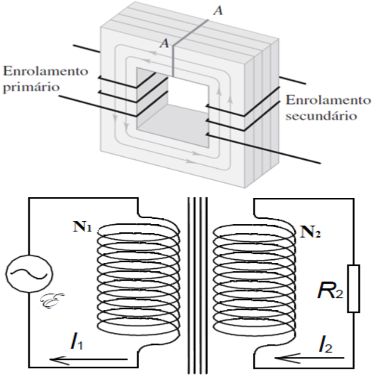
$$\begin{aligned}\tilde{\varepsilon}(t) &= L_{11}\frac{d\tilde{I}_1(t)}{dt} + L_{12}\frac{d\tilde{I}_2(t)}{dt} \\ -R_2\tilde{I}_2(t) &= L_{21}\frac{d\tilde{I}_1(t)}{dt} + L_{22}\frac{d\tilde{I}_2(t)}{dt}\end{aligned}$$



Transformadores

- **R_2 é a resistência do fio do secundário + resistência extra.**
- **Teremos duas malhas dadas por,**

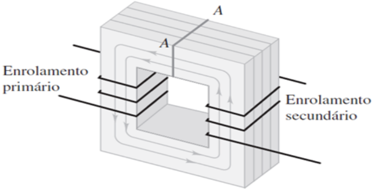
$$
\begin{aligned}
\widetilde{\varepsilon}(t) &= L_{11}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_1(t)}{dt} + L_{12}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_2(t)}{dt} \\
-R_2\widetilde{\mathrm{I}}_2(t) &= L_{21}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_1(t)}{dt} + L_{22}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_2(t)}{dt} \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\widetilde{\mathrm{I}}_1(t) &= \overline{\mathrm{I}}_1 e^{i\omega t} \quad ; \quad \widetilde{\mathrm{I}}_2(t) = \overline{\mathrm{I}}_2 e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$

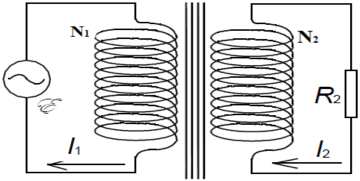


Transformadores

- **R_2 é a resistência do fio do secundário + resistência extra.**
- **Teremos duas malhas dadas por,**

$$
\begin{aligned}
\widetilde{\varepsilon}(t) &= L_{11}\frac{d\widetilde{I}_1(t)}{dt} + L_{12}\frac{d\widetilde{I}_2(t)}{dt} \\
-R_2\widetilde{I}_2(t) &= L_{21}\frac{d\widetilde{I}_1(t)}{dt} + L_{22}\frac{d\widetilde{I}_2(t)}{dt} \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\widetilde{I}_1(t) &= \bar{I}_1 e^{i\omega t} \quad ; \quad \widetilde{I}_2(t) = \bar{I}_2 e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$

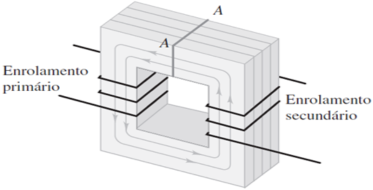


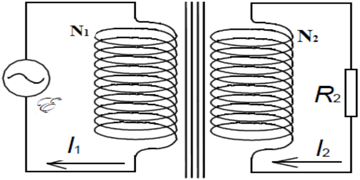


Transformadores

$$
\begin{aligned}
\widetilde{\varepsilon}(t) &= L_{11}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_1(t)}{dt} + L_{12}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_2(t)}{dt} \\
-R_2\widetilde{\mathrm{I}}_2(t) &= L_{21}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_1(t)}{dt} + L_{22}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_2(t)}{dt} \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\widetilde{\mathrm{I}}_1(t) &= \overline{\mathrm{I}}_1 e^{i\omega t} \quad ; \quad \widetilde{\mathrm{I}}_2(t) = \overline{\mathrm{I}}_2 e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$

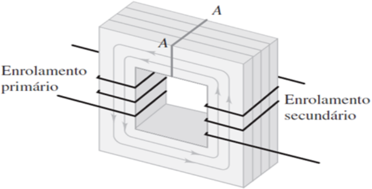
$$
\begin{aligned}
\varepsilon_0 e^{i\omega t} &= i\omega(L_{11}\overline{\mathrm{I}}_1 + L_{12}\overline{\mathrm{I}}_2)e^{i\omega t} \\
-\overline{\mathrm{V}}_2 = -R_2\overline{\mathrm{I}}_2 e^{i\omega t} &= i\omega(L_{21}\overline{\mathrm{I}}_1 + L_{22}\overline{\mathrm{I}}_2)e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$

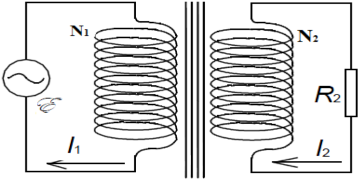




Transformadores

$$
\begin{aligned}
\tilde{\varepsilon}(t) &= L_{11}\frac{d\tilde{\mathrm{I}}_1(t)}{dt} + L_{12}\frac{d\tilde{\mathrm{I}}_2(t)}{dt}\\
-R_2\tilde{\mathrm{I}}_2(t) &= L_{21}\frac{d\tilde{\mathrm{I}}_1(t)}{dt} + L_{22}\frac{d\tilde{\mathrm{I}}_2(t)}{dt}\\
\tilde{\varepsilon}(t) &= \varepsilon_0 e^{i\omega t}\\
\tilde{\mathrm{I}}_1(t) &= \bar{\mathrm{I}}_1 e^{i\omega t} \quad ; \quad \tilde{\mathrm{I}}_2(t) = \bar{\mathrm{I}}_2 e^{i\omega t}\\
\\
\varepsilon_0 e^{i\omega t} &= i\omega(L_{11}\bar{\mathrm{I}}_1 + L_{12}\bar{\mathrm{I}}_2)e^{i\omega t}\\
-\bar{\mathrm{V}}_2 = -R_2\bar{\mathrm{I}}_2 e^{i\omega t} &= i\omega(L_{21}\bar{\mathrm{I}}_1 + L_{22}\bar{\mathrm{I}}_2)e^{i\omega t}\\
\frac{\bar{\mathrm{V}}_2}{\varepsilon_0} &= -\frac{(L_{11}\bar{\mathrm{I}}_1 + L_{12}\bar{\mathrm{I}}_2)}{(L_{21}\bar{\mathrm{I}}_1 + L_{22}\bar{\mathrm{I}}_2)}\\
L_{12} &= L_{12} = k\sqrt{L_{11}L_{22}}
\end{aligned}
$$

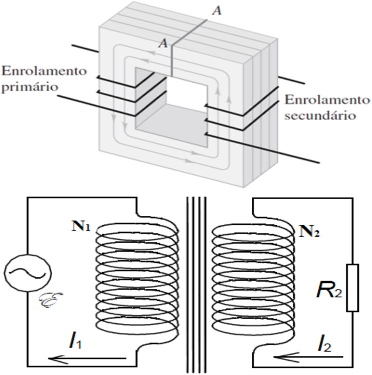




Transformadores

$$L_{12} = L_{12} = k\sqrt{L_{11}L_{22}}$$

$$\frac{\overline{\mathtt{V}}_2}{\varepsilon_0} = -\sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}}\left(\frac{k\sqrt{L_{11}}\ \overline{\mathtt{I}}_1 + \sqrt{L_{22}}\ \overline{\mathtt{I}}_2}{\sqrt{L_{11}}\ \overline{\mathtt{I}}_1 + k\sqrt{L_{22}}\ \overline{\mathtt{I}}_2}\right)$$



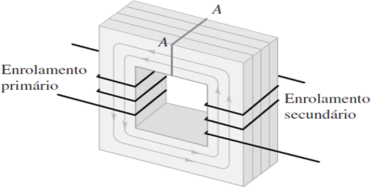
Transformadores

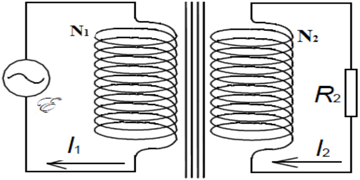
$$L_{12} = L_{12} = k\sqrt{L_{11}L_{22}}$$

$$\frac{\overline{\mathtt{V}}_2}{\varepsilon_0} = -\sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}}\left(\frac{k\sqrt{L_{11}}\ \overline{\mathtt{I}}_1 + \sqrt{L_{22}}\ \overline{\mathtt{I}}_2}{\sqrt{L_{11}}\ \overline{\mathtt{I}}_1 + k\sqrt{L_{22}}\ \overline{\mathtt{I}}_2}\right)$$

$$Se,\ k = 1$$

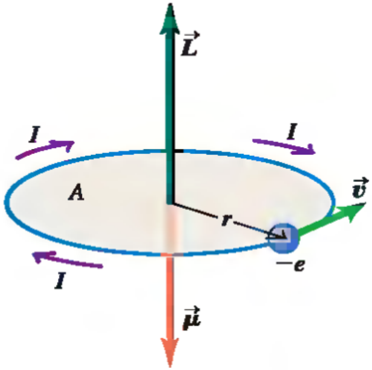
$$\frac{\overline{\mathtt{V}}_2}{\varepsilon_0} = -\sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}} = -\frac{N_2}{N_1}$$





O magneton de Bohr

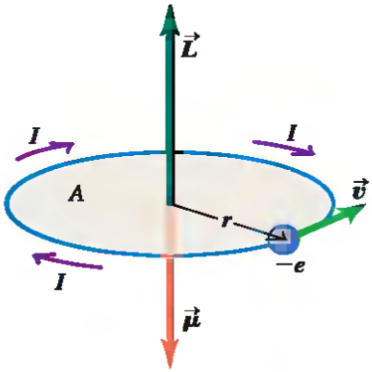
$$\mathrm{I} = \frac{e}{\mathrm{T}}$$



O magneton de Bohr

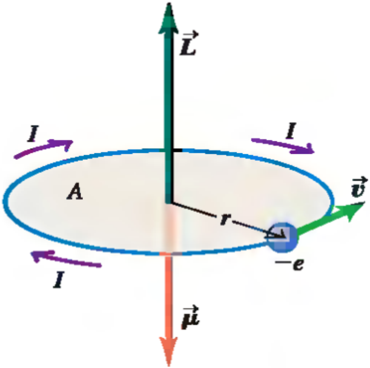
$$\mathrm{I} = \frac{e}{\mathrm{T}}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$



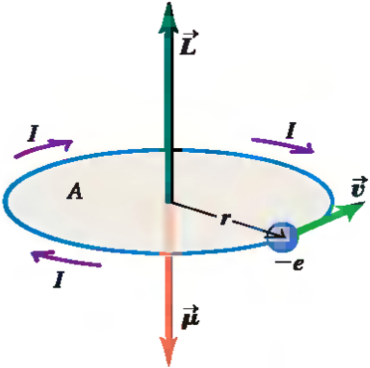
O magneton de Bohr

$$
\begin{aligned}
\mathrm{I} &= \frac{e}{\mathrm{T}} \\
T &= \frac{2\pi r}{v} \\
\mathrm{I} &= \frac{ev}{2\pi r}
\end{aligned}
$$



O magneton de Bohr

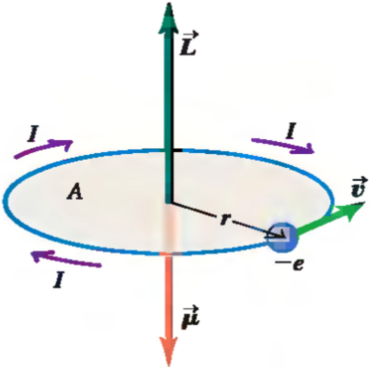
$$
\begin{aligned}
\mathrm{I} &= \frac{e}{\mathrm{T}} \\
T &= \frac{2\pi r}{v} \\
\mathrm{I} &= \frac{ev}{2\pi r} \\
\mu &= \mathrm{I}A \\
\mu &= \frac{ev}{2\pi r}(\pi r^2) = \frac{evr}{2}
\end{aligned}
$$



O magneton de Bohr

$$
\begin{aligned}
I &= \frac{e}{T} \\
T &= \frac{2\pi r}{v} \\
I &= \frac{ev}{2\pi r} \\
\mu &= IA \\
\mu &= \frac{ev}{2\pi r}(\pi r^2) = \frac{evr}{2} \\
L &= mvr = \frac{h}{2\pi}
\end{aligned}
$$

$h = 6,626 \times 10^{-34} Js$

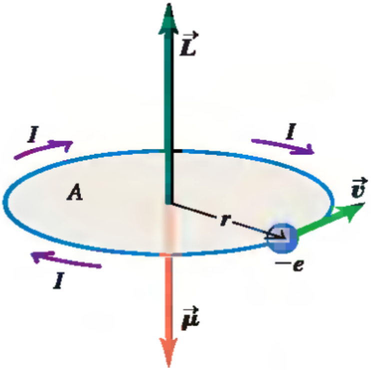


O magneton de Bohr

$$
\begin{aligned}
\mathrm{I} &= \frac{e}{\mathrm{T}} \\
T &= \frac{2\pi r}{v} \\
\mathrm{I} &= \frac{ev}{2\pi r} \\
\mu &= \mathrm{I}A \\
\mu &= \frac{ev}{2\pi r}(\pi r^2) = \frac{evr}{2} \\
L &= mvr = \frac{h}{2\pi}
\end{aligned}
$$

$$h = 6,626 \times 10^{-34} Js$$

$$
\begin{aligned}
\mu &= \frac{e}{2m}L = \frac{eh}{4\pi m} \\
\mu &= 9,274 \times 10^{-24} Am^2 \\
\mu &= 9,274 \times 10^{-24} J/T
\end{aligned}
$$



Magnetismo Microscópico

- **Vimos que efeitos magnéticos são gerados por correntes elétricas.**

Magnetismo Microscópico

- **Vimos que efeitos magnéticos são gerados por correntes elétricas.**
- Ampère propôs que a magnetização espontânea dos meios magnéticos deveriam ser geradas por correntes microscópicas.

Magnetismo Microscópico

- **Vimos que efeitos magnéticos são gerados por correntes elétricas.**
- Ampère propôs que a magnetização espontânea dos meios magnéticos deveriam ser geradas por correntes microscópicas.
- **A magnetização será definida pela soma dos momentos magnéticos por unidade de volume:** $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$

Magnetismo Microscópico

- **Vimos que efeitos magnéticos são gerados por correntes elétricas.**
- Ampère propôs que a magnetização espontânea dos meios magnéticos deveriam ser geradas por correntes microscópicas.
- **A magnetização será definida pela soma dos momentos magnéticos por unidade de volume:** $\vec{M} = \frac{1}{V} \sum_i \vec{\mu}_i$
- **Da lei de Ampère temos,**

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \mathrm{I}_{liq} \quad = \quad \mu_0(\mathrm{I}_c + \mathrm{I}_m)$$

Magnetismo Microscópico

- **Vimos que efeitos magnéticos são gerados por correntes elétricas.**
- Ampère propôs que a magnetização espontânea dos meios magnéticos deveriam ser geradas por correntes microscópicas.
- **A magnetização será definida pela soma dos momentos magnéticos por unidade de volume:** $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$
- **Da lei de Ampère temos,**

$$\begin{aligned}
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \mathrm{I}_{liq} &= \mu_0(\mathrm{I}_c + \mathrm{I}_m) \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \mathrm{I}_m &= \mu_0 \mathrm{I}_c
\end{aligned}$$

Magnetismo Microscópico

- **Vimos que efeitos magnéticos são gerados por correntes elétricas.**
- Ampère propôs que a magnetização espontânea dos meios magnéticos deveriam ser geradas por correntes microscópicas.
- **A magnetização será definida pela soma dos momentos magnéticos por unidade de volume:** $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$
- **Da lei de Ampère temos,**

$$\begin{aligned} \oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \mathtt{I}_{liq} &= \mu_0(\mathtt{I}_c + \mathtt{I}_m) \\ \oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \mathtt{I}_m &= \mu_0 \mathtt{I}_c \\ \oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int \vec{J}_m \cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathtt{I}_c \end{aligned}$$

Magnetismo Microscópico

- **Vimos que efeitos magnéticos são gerados por correntes elétricas.**
- Ampère propôs que a magnetização espontânea dos meios magnéticos deveriam ser geradas por correntes microscópicas.
- **A magnetização será definida pela soma dos momentos magnéticos por unidade de volume:** $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$
- **Da lei de Ampère temos,**

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \mathrm{I}_{liq} = \mu_0(\mathrm{I}_c + \mathrm{I}_m)$$

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \mathrm{I}_m = \mu_0 \mathrm{I}_c$$

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int \vec{J}_m \cdot d\vec{A} = \mu_0 \mathrm{I}_c$$

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int (\nabla \times \vec{M}) \cdot d\vec{A} = \mu_0 \mathrm{I}_c$$

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int (\nabla \times \vec{M}) \cdot d\vec{A} = \mu_0 \mathrm{I}_c$$

Magnetismo Microscópico

- **Vimos que efeitos magnéticos são gerados por correntes elétricas.**
- Ampère propôs que a magnetização espontânea dos meios magnéticos deveriam ser geradas por correntes microscópicas.
- **A magnetização será definida pela soma dos momentos magnéticos por unidade de volume:** $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$
- **Da lei de Ampère temos,**

$$\begin{aligned}
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \mathrm{I}_{liq} &= \mu_0(\mathrm{I}_c + \mathrm{I}_m) \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \mathrm{I}_m &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int \vec{J}_m \cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int (\nabla \times \vec{M}) \cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int (\nabla \times \vec{M}) \cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \oint \vec{M} \cdot d\vec{l} &= \mu_0 \mathrm{I}_c
\end{aligned}$$

Magnetismo Microscópico

- **Vimos que efeitos magnéticos são gerados por correntes elétricas.**
- Ampère propôs que a magnetização espontânea dos meios magnéticos deveriam ser geradas por correntes microscópicas.
- **A magnetização será definida pela soma dos momentos magnéticos por unidade de volume:** $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$
- **Da lei de Ampère temos,**

$$\begin{aligned}
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \mathrm{I}_{liq} &= \mu_0(\mathrm{I}_c + \mathrm{I}_m) \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \mathrm{I}_m &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int \vec{J}_m \cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int (\nabla \times \vec{M})\cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int (\nabla \times \vec{M})\cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \oint \vec{M}\cdot d\vec{l} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint (\vec{B} - \mu_0 \vec{M})\cdot d\vec{l} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint (\mu_0 \vec{H})\cdot d\vec{l} &= \mu_0 \mathrm{I}_c
\end{aligned}$$

Magnetismo Microscópico

- **Vimos que efeitos magnéticos são gerados por correntes elétricas.**
- Ampère propôs que a magnetização espontânea dos meios magnéticos deveriam ser geradas por correntes microscópicas.
- **A magnetização será definida pela soma dos momentos magnéticos por unidade de volume:** $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$
- **Da lei de Ampère temos,**

$$\begin{aligned}
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \mathrm{I}_{liq} &= \mu_0(\mathrm{I}_c + \mathrm{I}_m) \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \mathrm{I}_m &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int \vec{J}_m \cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int (\nabla \times \vec{M})\cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int (\nabla \times \vec{M})\cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \oint \vec{M}\cdot d\vec{l} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint (\vec{B} - \mu_0\vec{M})\cdot d\vec{l} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint (\mu_0\vec{H})\cdot d\vec{l} &= \mu_0 \mathrm{I}_c
\end{aligned}$$

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}),\ ou,\ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

Magnetismo Microscópico

$$\begin{aligned}
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 \mathrm{I}_{liq} &= \mu_0(\mathrm{I}_c + \mathrm{I}_m) \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \mathrm{I}_m &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int \vec{J}_m \cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int (\nabla \times \vec{M})\cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c
\end{aligned}$$

- **O campo $\vec{H}$ é o campo gerado por correntes de condução ou um campos externo.**

$$\begin{aligned}
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \int (\nabla \times \vec{M})\cdot d\vec{A} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint \vec{B}\cdot d\vec{l} - \mu_0 \oint \vec{M}\cdot d\vec{l} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint (\vec{B} - \mu_0 \vec{M})\cdot d\vec{l} &= \mu_0 \mathrm{I}_c \\
\oint (\mu_0 \vec{H})\cdot d\vec{l} &= \mu_0 \mathrm{I}_c
\end{aligned}$$

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}),\ ou,\ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

Magnetismo Microscópico

- **O campo $\vec{H}$ é o campo gerado por correntes de condução ou um campos externo.**
- **O campo $\vec{B}$ é o campo efetivo incluindo os campos gerados pelo próprio material magnético.**

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H}+\vec{M}), \; ou, \; \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

Magnetismo Microscópico

- **O campo $\vec{H}$ é o campo gerado por correntes de condução ou um campos externo.**
- **O campo $\vec{B}$ é o campo efetivo incluindo os campos gerados pelo próprio material magnético.**
- **De forma geral temos que, $\vec{M} = \vec{M}(\vec{H})$, ou seja a magnetização é uma função do campo externo.** $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}), \; ou, \; \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

Magnetismo Microscópico

- **O campo $\vec{H}$ é o campo gerado por correntes de condução ou um campos externo.**
- **O campo $\vec{B}$ é o campo efetivo incluindo os campos gerados pelo próprio material magnético.**
- **De forma geral temos que, $\vec{M} = \vec{M}(\vec{H})$, ou seja a magnetização é uma função do campo externo.** $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$
- **Quando o um material magnético for linear, homogêneo e isotrópico teremos:** $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$.
- χ_m **é chamado de susceptibilidade magnética.**
- $K_m = (1 + \chi_m)$ **é chamado de**

  pemeabilidade magnética.

$$\vec{B} \quad = \quad \mu_0(\vec{H} + \vec{M}), \; ou, \; \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

Magnetismo Microscópico

- **O campo $\vec{H}$ é o campo gerado por correntes de condução ou um campos externo.**
- **O campo $\vec{B}$ é o campo efetivo incluindo os campos gerados pelo próprio material magnético.**
- **De forma geral temos que, $\vec{M} = \vec{M}(\vec{H})$, ou seja a magnetização é uma função do campo externo. $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$**
- **Quando o um material magnético for linear, homogêneo e isotrópico teremos: $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$.**
- **χ_m é chamado de susceptibilidade magnética.**
- **$K_m = (1 + \chi_m)$ é chamado de pemeabilidade magnética.**

$$\begin{aligned} \vec{B} &= \mu_0(\vec{H} + \vec{M}), \ ou, \ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \\ \vec{B} &= \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H} \end{aligned}$$

Magnetismo Microscópico

- **O campo $\vec{H}$ é o campo gerado por correntes de condução ou um campos externo.**
- **O campo $\vec{B}$ é o campo efetivo incluindo os campos gerados pelo próprio material magnético.**
- **De forma geral temos que, $\vec{M} = \vec{M}(\vec{H})$, ou seja a magnetização é uma função do campo externo. $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$**
- **Quando o um material magnético for linear, homogêneo e isotrópico teremos: $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$.**
- **χ_m é chamado de susceptibilidade magnética.**
- **$K_m = (1 + \chi_m)$ é chamado de pemeabilidade magnética.**

$$\begin{aligned}
\vec{B} &= \mu_0(\vec{H} + \vec{M}),\ ou,\ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \\
\vec{B} &= \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H} \\
\mu &= \mu_0(1 + \chi_m) = \mu_0 K_m
\end{aligned}$$

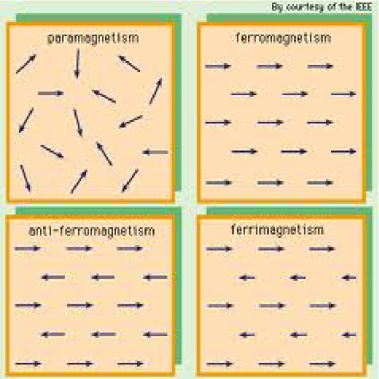
Magnetismo Microscópico

- **O campo $\vec{H}$ é o campo gerado por correntes de condução ou um campos externo.**
- **O campo $\vec{B}$ é o campo efetivo incluindo os campos gerados pelo próprio material magnético.**
- **De forma geral temos que, $\vec{M} = \vec{M}(\vec{H})$, ou seja a magnetização é uma função do campo externo. $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$**
- **Quando o um material magnético for linear, homogêneo e isotrópico teremos: $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$.**
- **χ_m é chamado de susceptibilidade magnética.**
- **$K_m = (1 + \chi_m)$ é chamado de pemeabilidade magnética.**

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}), \; ou, \; \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H}$$

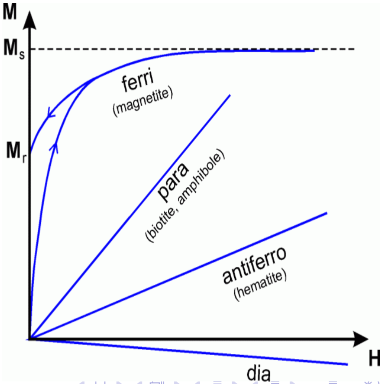
$$\mu = \mu_0(1 + \chi_m) = \mu_0 K_m$$



Magnetismo Microscópico

- **O campo $\vec{H}$ é o campo gerado por correntes de condução ou um campos externo.**
- **O campo $\vec{B}$ é o campo efetivo incluindo os campos gerados pelo próprio material magnético.**
- **De forma geral temos que, $\vec{M} = \vec{M}(\vec{H})$, ou seja a magnetização é uma função do campo externo. $\vec{M} = \frac{1}{V}\sum_i \vec{\mu}_i$**
- **Quando o um material magnético for linear, homogêneo e isotrópico teremos: $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$.**
- **χ_m é chamado de susceptibilidade magnética.**
- **$K_m = (1 + \chi_m)$ é chamado de pemeabilidade magnética.**

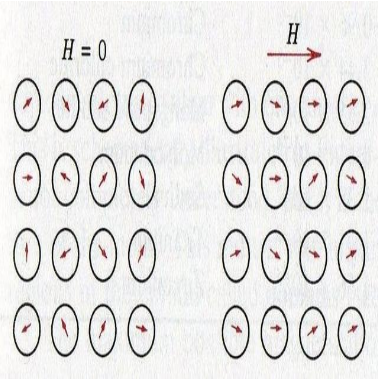
$$
\begin{aligned}
\vec{B} &= \mu_0(\vec{H} + \vec{M}),\ ou,\ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \\
\vec{B} &= \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H} \\
\mu &= \mu_0(1 + \chi_m) = \mu_0 K_m
\end{aligned}
$$



Paramagnetismo

$$\begin{aligned} \vec{B} &= \mu_0(\vec{H}+\vec{M}),\ ou,\ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \\ \vec{B} &= \mu_0(1+\chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H} \\ \mu &= \mu_0(1+\chi_m) = \mu_0 K_m \end{aligned}$$

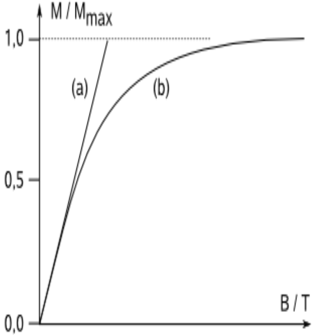
- $0 < \chi_m < 10^{+2}$



Paramagnetismo

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H}+\vec{M}),\ ou,\ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$
$$\vec{B} = \mu_0(1+\chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H}$$
$$\mu = \mu_0(1+\chi_m) = \mu_0 K_m$$

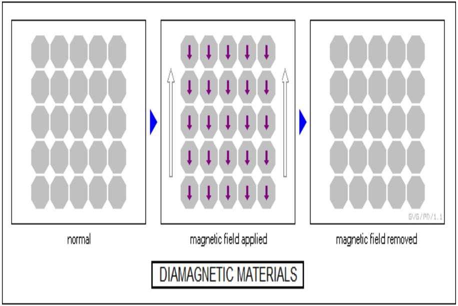
- $0 < \chi_m < 10^{+2}$



Diamagnetismo

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H}+\vec{M}), \ ou, \ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$
$$\vec{B} = \mu_0(1+\chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H}$$
$$\mu = \mu_0(1+\chi_m) = \mu_0 K_m$$

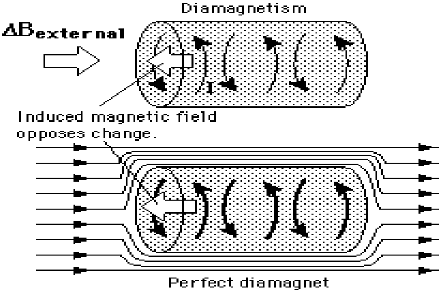
- $-10^{+2} < \chi_m < 0$



Diamagnetismo

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}), \ ou, \ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$
$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H}$$
$$\mu = \mu_0(1 + \chi_m) = \mu_0 K_m$$

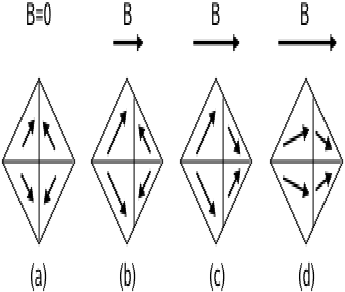
- $-10^{+2} < \chi_m < 0$



Ferromagnetismo

$$\begin{aligned}
\vec{B} &= \mu_0(\vec{H}+\vec{M}),\ ou,\ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \\
\vec{B} &= \mu_0(1+\chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H} \\
\mu &= \mu_0(1+\chi_m) = \mu_0 K_m
\end{aligned}$$

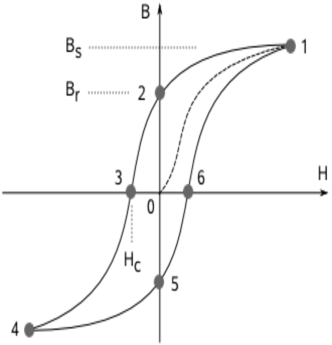
- $\chi_m > 10^{+3}$



Ferromagnetismo

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}), \; ou, \; \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$
$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H}$$
$$\mu = \mu_0(1 + \chi_m) = \mu_0 K_m$$

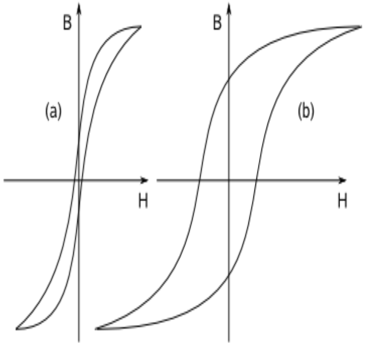
- $\chi_m > 10^{+3}$



Ferromagnetismo

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}), \ ou, \ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$
$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H}$$
$$\mu = \mu_0(1 + \chi_m) = \mu_0 K_m$$

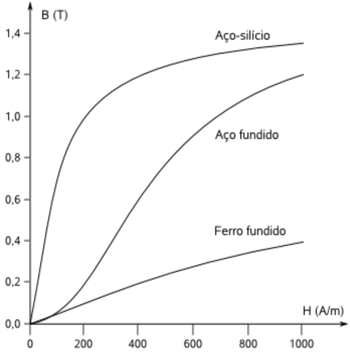
- $\chi_m > 10^{+3}$



Ferromagnetismo

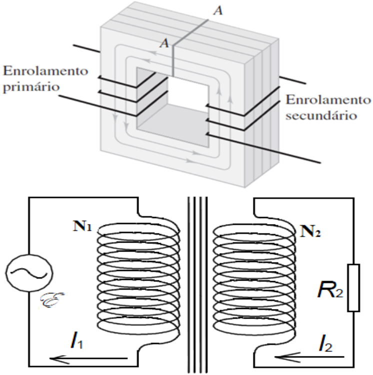
$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}), \ \ ou, \ \ \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$
$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} = \mu\vec{H}$$
$$\mu = \mu_0(1 + \chi_m) = \mu_0 K_m$$

- $\chi_m > 10^{+3}$



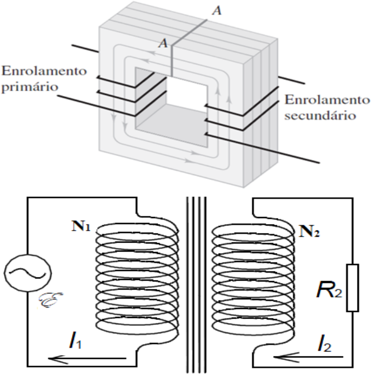
Transformadores

- R_1 **é a resistência do fio do primário.**



Transformadores

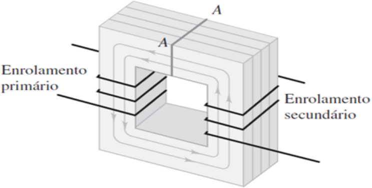
- R_1 **é a resistência do fio do primário.**
- R_2 **é a resistência do fio do secundário** $+$ **resistência extra.**

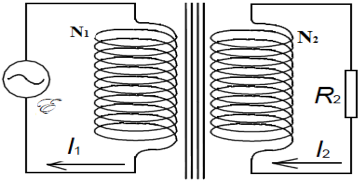


Transformadores

- R_1 **é a resistência do fio do primário.**
- R_2 **é a resistência do fio do secundário** $+$ **resistência extra.**
- **Teremos duas malhas dadas por,**

$$
\begin{aligned}
R_1\widetilde{\mathtt{I}}_1(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) - L_{11}\frac{d\widetilde{\mathtt{I}}_1(t)}{dt} - L_{12}\frac{d\widetilde{\mathtt{I}}_2(t)}{dt} \\
R_2\widetilde{\mathtt{I}}_2(t) &= 0 - L_{21}\frac{d\widetilde{\mathtt{I}}_1(t)}{dt} - L_{22}\frac{d\widetilde{\mathtt{I}}_2(t)}{dt}
\end{aligned}
$$

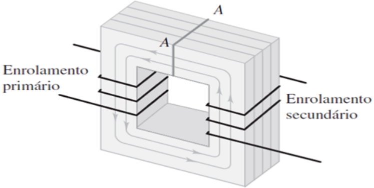


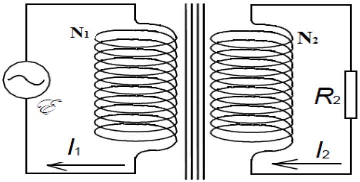


Transformadores

- R_1 **é a resistência do fio do primário.**
- R_2 **é a resistência do fio do secundário** $+$ **resistência extra.**
- **Teremos duas malhas dadas por,**

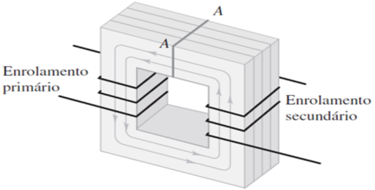
$$
\begin{aligned}
R_1\tilde{I}_1(t) &= \tilde{\varepsilon}(t) - L_{11}\frac{d\tilde{I}_1(t)}{dt} - L_{12}\frac{d\tilde{I}_2(t)}{dt} \\
R_2\tilde{I}_2(t) &= 0 - L_{21}\frac{d\tilde{I}_1(t)}{dt} - L_{22}\frac{d\tilde{I}_2(t)}{dt} \\
\tilde{\varepsilon}(t) &= \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\tilde{I}_1(t) &= \bar{I}_1 e^{i\omega t} \quad ; \quad \tilde{I}_2(t) = \bar{I}_2 e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$

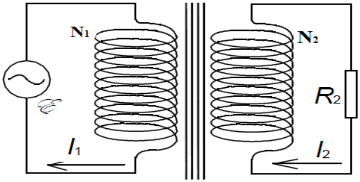




Transformadores

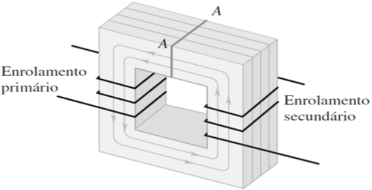
$$
\begin{aligned}
R_1\widetilde{I}_1(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) - L_{11}\frac{d\widetilde{I}_1(t)}{dt} - L_{12}\frac{d\widetilde{I}_2(t)}{dt} \\
R_2\widetilde{I}_2(t) &= 0 - L_{21}\frac{d\widetilde{I}_1(t)}{dt} - L_{22}\frac{d\widetilde{I}_2(t)}{dt} \\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\widetilde{I}_1(t) &= \overline{I}_1 e^{i\omega t} \quad ; \quad \widetilde{I}_2(t) = \overline{I}_2 e^{i\omega t} \\
R_1\overline{I}_1 e^{i\omega t} &= \varepsilon_0 e^{i\omega t} - i\omega(L_{11}\overline{I}_1 + L_{12}\overline{I}_2)e^{i\omega t} \\
R_2\overline{I}_2 e^{i\omega t} &= 0 - i\omega(L_{21}\overline{I}_1 - L_{22}\overline{I}_2)e^{i\omega t}
\end{aligned}
$$

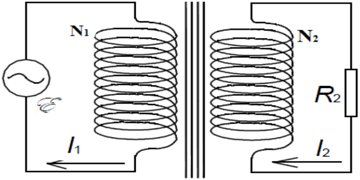




Transformadores

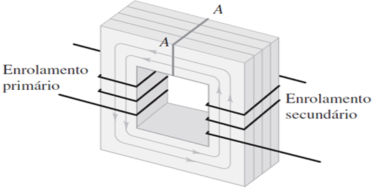
$$
\begin{aligned}
R_1 \tilde{I}_1(t) &= \tilde{\varepsilon}(t) - L_{11}\frac{d\tilde{I}_1(t)}{dt} - L_{12}\frac{d\tilde{I}_2(t)}{dt} \\
R_2 \tilde{I}_2(t) &= 0 - L_{21}\frac{d\tilde{I}_1(t)}{dt} - L_{22}\frac{d\tilde{I}_2(t)}{dt} \\
\tilde{\varepsilon}(t) &= \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\tilde{I}_1(t) &= \bar{I}_1 e^{i\omega t} \quad ; \quad \tilde{I}_2(t) = \bar{I}_2 e^{i\omega t} \\
R_1 \bar{I}_1 e^{i\omega t} &= \varepsilon_0 e^{i\omega t} - i\omega(L_{11}\bar{I}_1 + L_{12}\bar{I}_2)e^{i\omega t} \\
R_2 \bar{I}_2 e^{i\omega t} &= 0 - i\omega(L_{21}\bar{I}_1 - L_{22}\bar{I}_2)e^{i\omega t} \\
\varepsilon_0 &= (R_1 + i\omega L_{11})\bar{I}_1 + i\omega L_{12}\bar{I}_2 \\
0 &= i\omega L_{21}\bar{I}_1 + (R_2 + i\omega L_{22})\bar{I}_2
\end{aligned}
$$

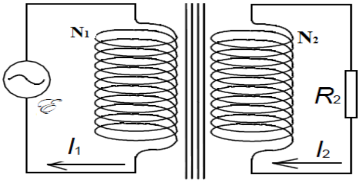




Transformadores

$$
\begin{aligned}
R_1\tilde{I}_1(t) &= \tilde{\varepsilon}(t) - L_{11}\frac{d\tilde{I}_1(t)}{dt} - L_{12}\frac{d\tilde{I}_2(t)}{dt} \\
R_2\tilde{I}_2(t) &= 0 - L_{21}\frac{d\tilde{I}_1(t)}{dt} - L_{22}\frac{d\tilde{I}_2(t)}{dt} \\
\tilde{\varepsilon}(t) &= \varepsilon_0 e^{i\omega t} \\
\tilde{I}_1(t) &= \bar{I}_1 e^{i\omega t} \quad ; \quad \tilde{I}_2(t) = \bar{I}_2 e^{i\omega t} \\
R_1\bar{I}_1 e^{i\omega t} &= \varepsilon_0 e^{i\omega t} - i\omega(L_{11}\bar{I}_1 + L_{12}\bar{I}_2)e^{i\omega t} \\
R_2\bar{I}_2 e^{i\omega t} &= 0 - i\omega(L_{21}\bar{I}_1 - L_{22}\bar{I}_2)e^{i\omega t} \\
\varepsilon_0 &= (R_1 + i\omega L_{11})\bar{I}_1 + i\omega L_{12}\bar{I}_2 \\
0 &= i\omega L_{21}\bar{I}_1 + (R_2 + i\omega L_{22})\bar{I}_2 \\
\begin{pmatrix} \varepsilon_0 \\ 0 \end{pmatrix} &= \begin{bmatrix} R_1 + i\omega L_{11} & i\omega L_{12} \\ i\omega L_{21} & R_2 + i\omega L_{22} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{pmatrix}
\end{aligned}
$$





Transformadores

$$
\begin{aligned}
R_1\widetilde{\mathrm{I}}_1(t) &= \widetilde{\varepsilon}(t) - L_{11}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_1(t)}{dt} - L_{12}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_2(t)}{dt}\\
R_2\widetilde{\mathrm{I}}_2(t) &= 0 - L_{21}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_1(t)}{dt} - L_{22}\frac{d\widetilde{\mathrm{I}}_2(t)}{dt}\\
\widetilde{\varepsilon}(t) &= \varepsilon_0 e^{i\omega t}\\
\widetilde{\mathrm{I}}_1(t) &= \bar{\mathrm{I}}_1 e^{i\omega t} \ ; \ \widetilde{\mathrm{I}}_2(t) = \bar{\mathrm{I}}_2 e^{i\omega t}\\
R_1\bar{\mathrm{I}}_1 e^{i\omega t} &= \varepsilon_0 e^{i\omega t} - i\omega(L_{11}\bar{\mathrm{I}}_1 + L_{12}\bar{\mathrm{I}}_2)e^{i\omega t}\\
R_2\bar{\mathrm{I}}_2 e^{i\omega t} &= 0 - i\omega(L_{21}\bar{\mathrm{I}}_1 - L_{22}\bar{\mathrm{I}}_2)e^{i\omega t}\\
\varepsilon_0 &= (R_1 + i\omega L_{11})\bar{\mathrm{I}}_1 + i\omega L_{12}\bar{\mathrm{I}}_2\\
0 &= i\omega L_{21}\bar{\mathrm{I}}_1 + (R_2 + i\omega L_{22})\bar{\mathrm{I}}_2\\
\begin{pmatrix}\varepsilon_0\\ 0\end{pmatrix} &= \begin{bmatrix} R_1 + i\omega L_{11} & i\omega L_{12}\\ i\omega L_{21} & R_2 + i\omega L_{22}\end{bmatrix}\begin{pmatrix}\bar{\mathrm{I}}_1\\ \bar{\mathrm{I}}_2\end{pmatrix}\\
\bar{\mathrm{I}}_1 &= \frac{\varepsilon_0(R_2 + i\omega L_{22})}{(R_1 + i\omega L_{11})(R_2 + i\omega L_{22}) + \omega^2 L_{12}L_{21}}\\
\bar{\mathrm{I}}_2 &= -\frac{\varepsilon_0 i\omega L_{21}}{(R_1 + i\omega L_{11})(R_2 + i\omega L_{22}) + \omega^2 L_{12}L_{21}}
\end{aligned}
$$