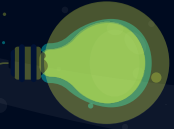


Eletricista de Sistemas de Energias Renováveis

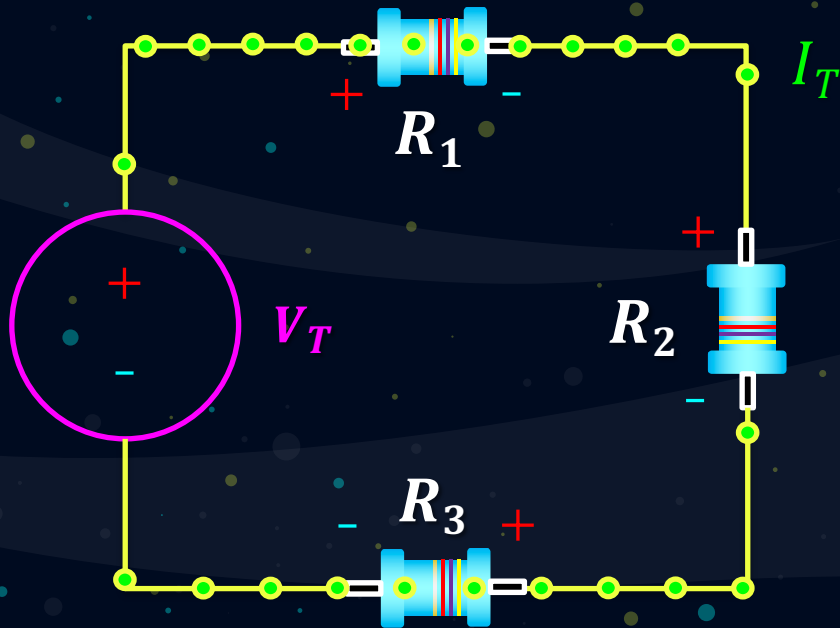
Módulo I

Na aula anterior vimos:

Divisor de Tensão



Divisor de Tensão:

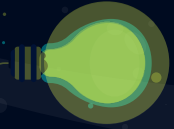


$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

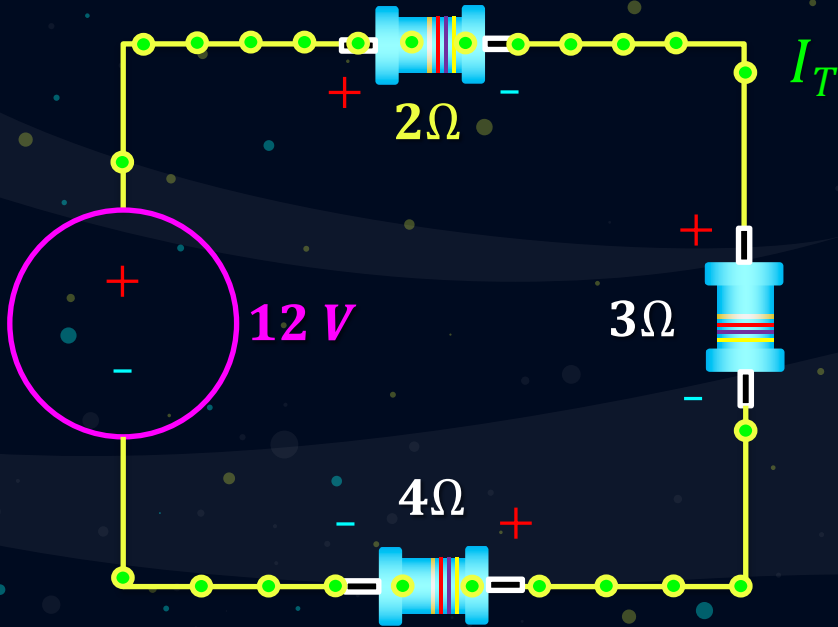
Utilizado em circuitos série, já que a tensão da fonte se distribui proporcionalmente às cargas

$$V_x = \frac{R_x}{R_T} \times V_T$$

No es necessário conhecer o valor da Corrente do Circuito!



Divisor de Tensão:



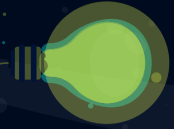
Substituímos o valor de R_x pelo valor da Resistência onde queremos calcular a tensão:

$$V_x = \frac{R_x}{R_T} \times V_T$$

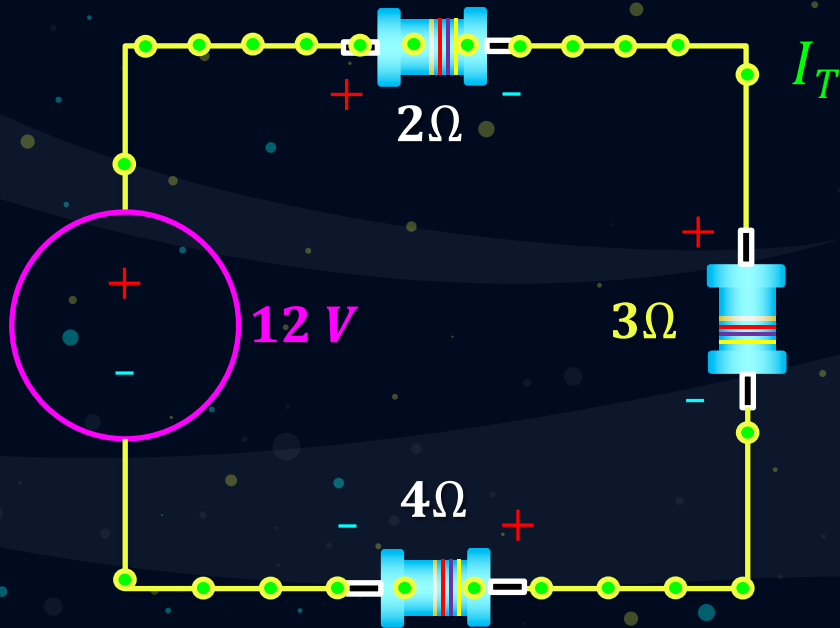
$$V_1 = \frac{R_1}{R_T} \times V_T$$

$$V_1 = \frac{2\Omega}{9\Omega} \times 12V = 2,67V$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 2\Omega + 3\Omega + 4\Omega = 9\Omega$$



Divisor de Tensão:

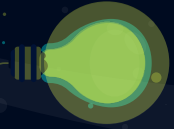


Substituímos o valor de R_x pelo valor da Resistência onde queremos calcular a tensão:

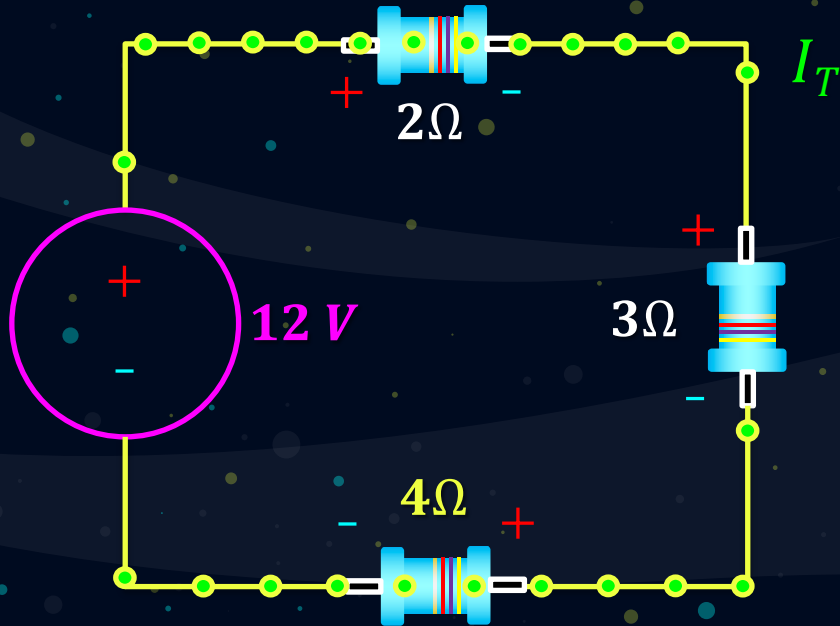
$$V_x = \frac{R_x}{R_T} \times V_T$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_T} \times V_T$$

$$V_2 = \frac{3\Omega}{9\Omega} \times 12V = 4,00V$$



Divisor de Tensão:



Substituímos o valor de R_x pelo valor da Resistência onde queremos calcular a tensão:

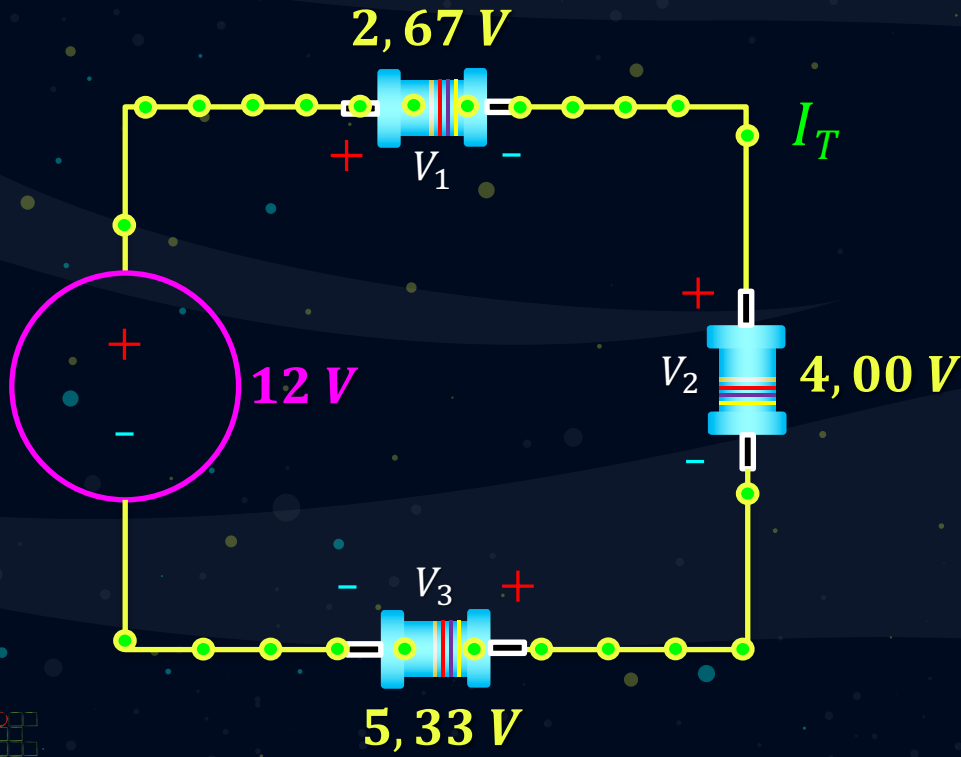
$$V_x = \frac{R_x}{R_T} \times V_T$$

$$V_3 = \frac{R_3}{R_T} \times V_T$$

$$V_3 = \frac{4\Omega}{9\Omega} \times 12V = 5,33V$$



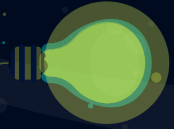
Divisor de Tensão:



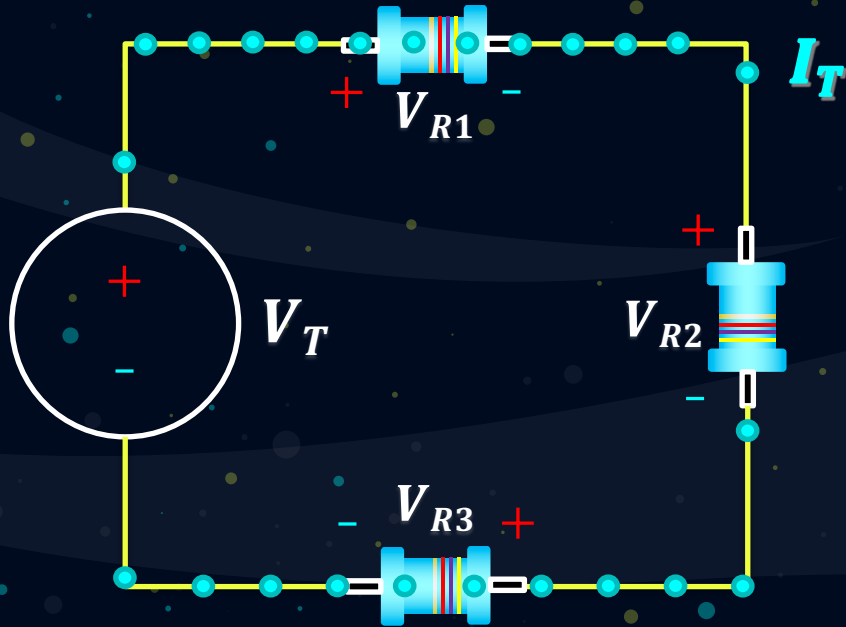
Somando todas as tensões temos que obter novamente o valor de tensão da Fonte de alimentação:

$$\begin{aligned}
 &V_1 = 2,67\text{ V} \\
 + &V_2 = 4,00\text{ V} \\
 &V_3 = 5,33\text{ V} \\
 \hline
 &V_T = 12,00\text{ V}
 \end{aligned}$$

Primeira Lei de Kirchhoff



1ª. Lei de Kirchhoff:

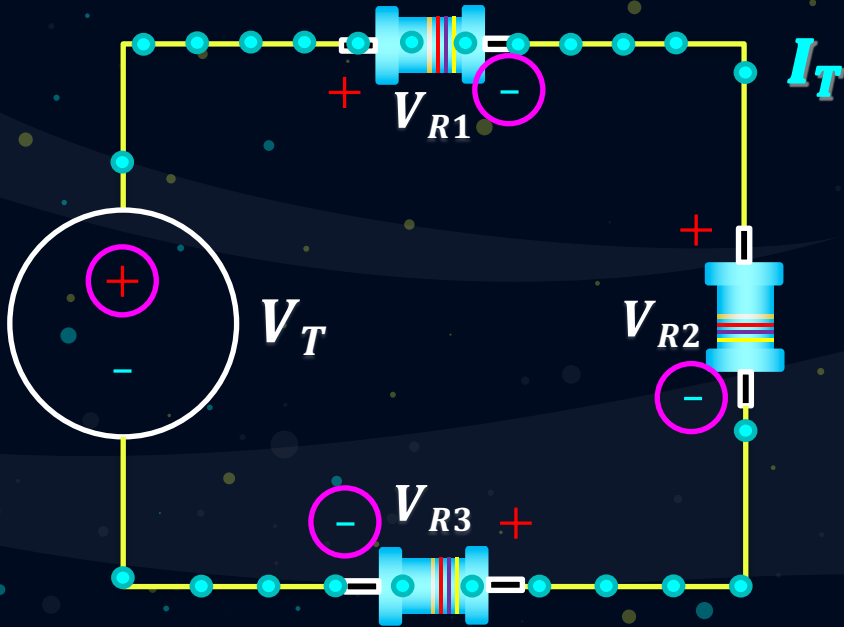


A soma algébrica de todas as tensões numa malha é igual a ZERO.

$$\sum_{i=1}^n V_i = 0.$$



1a. Lei de Kirchhoff:



$$+V_T - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} = 0$$

$$V_T = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3}$$



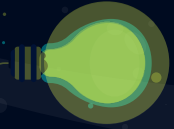
Aplicamos a
Lei de Ohm:

$$V_T = (I_T R_1) + (I_T R_2) + (I_T R_3)$$

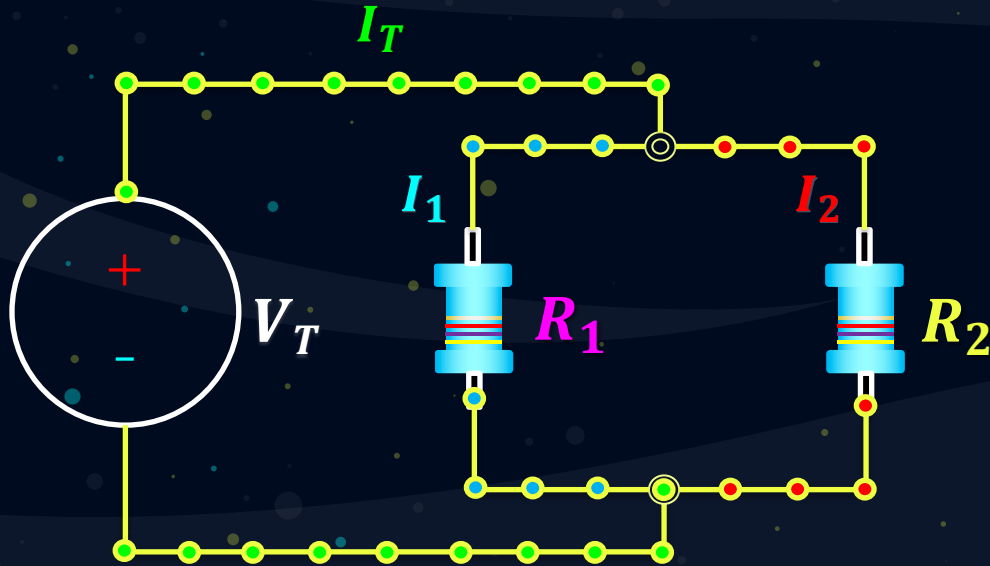
$$V_T = I_T (R_1 + R_2 + R_3)$$

$$V_T = I_T (R_T)$$

Divisor de Corrente



Divisor de Corrente:

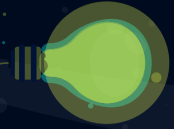


Utilizado em circuitos paralelos, onde a corrente se divide nos trechos:

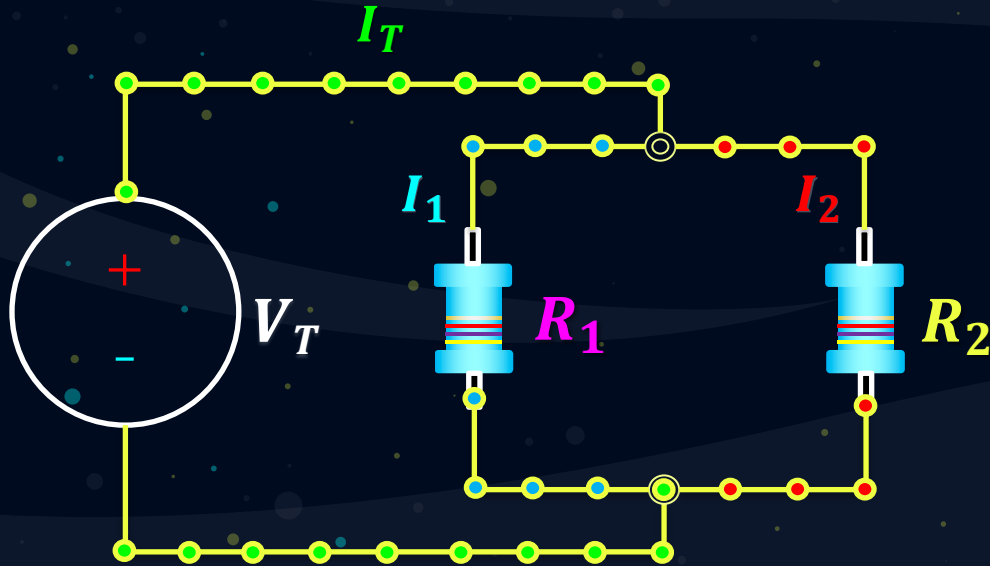
$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I_T$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I_T$$

O divisor de corrente só é valido em pares de resistores!



Divisor de Corrente:

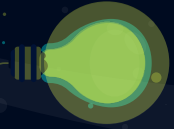


Utilizado em circuitos paralelos, onde a corrente se divide nos trechos:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I_T$$

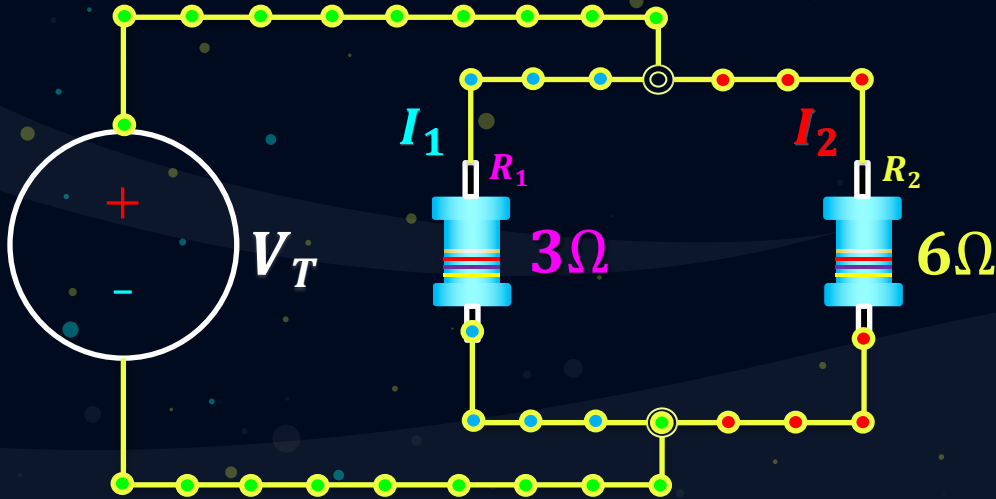
$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I_T$$

O divisor de corrente só é valido em pares de resistores!



Divisor de Corrente:

$$I_T = 10A$$

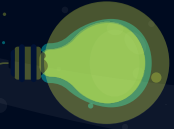


Calculamos a corrente I_1 , para isso utilizamos o valor do Resistor do trecho oposto!

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I_T$$

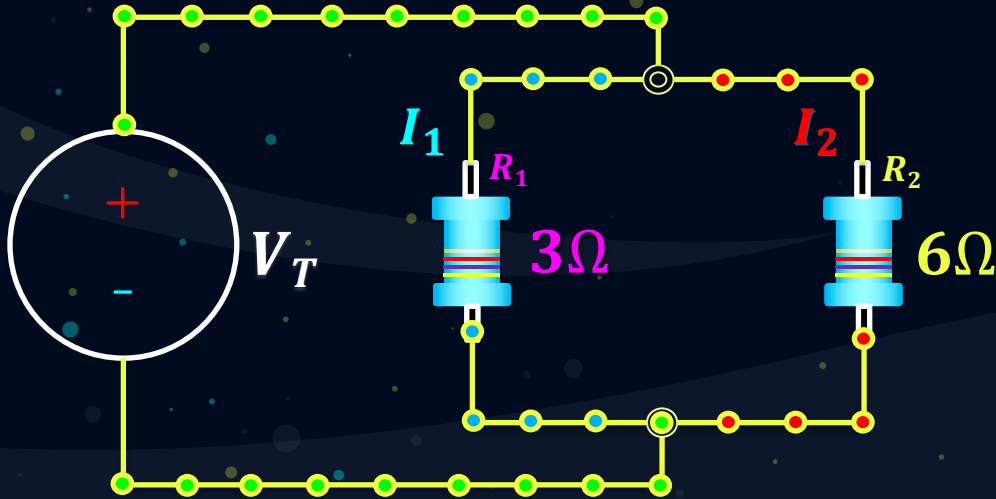
$$I_1 = \frac{6\Omega}{3\Omega + 6\Omega} \times 10A$$

$$I_1 = \frac{6\Omega}{9\Omega} \times 10A = 3,33A$$



Divisor de Corrente:

$$I_T = 10A$$

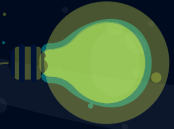


Calculamos a corrente I_1 , para isso utilizamos o valor do Resistor do trecho oposto!

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I_T$$

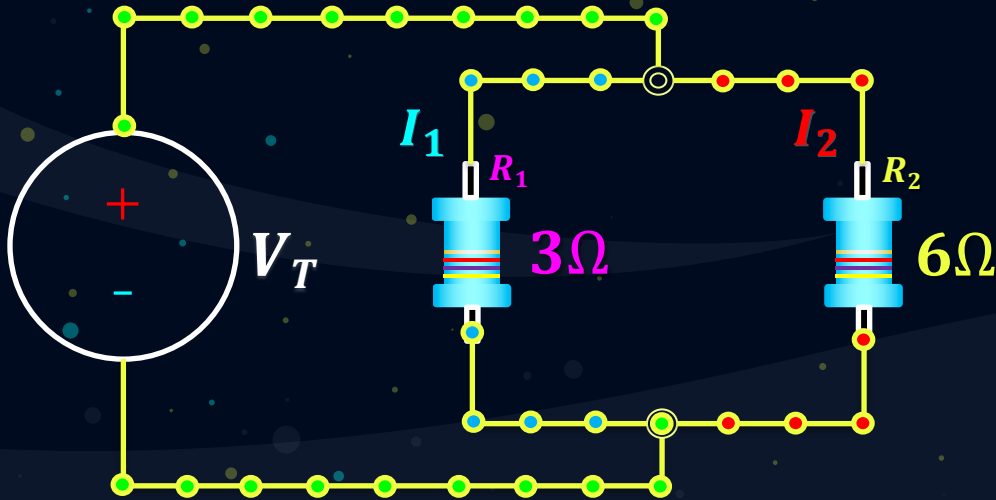
$$I_2 = \frac{3\Omega}{3\Omega + 6\Omega} \times 10A$$

$$I_2 = \frac{3\Omega}{9\Omega} \times 10A = 6,67A$$



Divisor de Corrente:

$$I_T = 10A$$



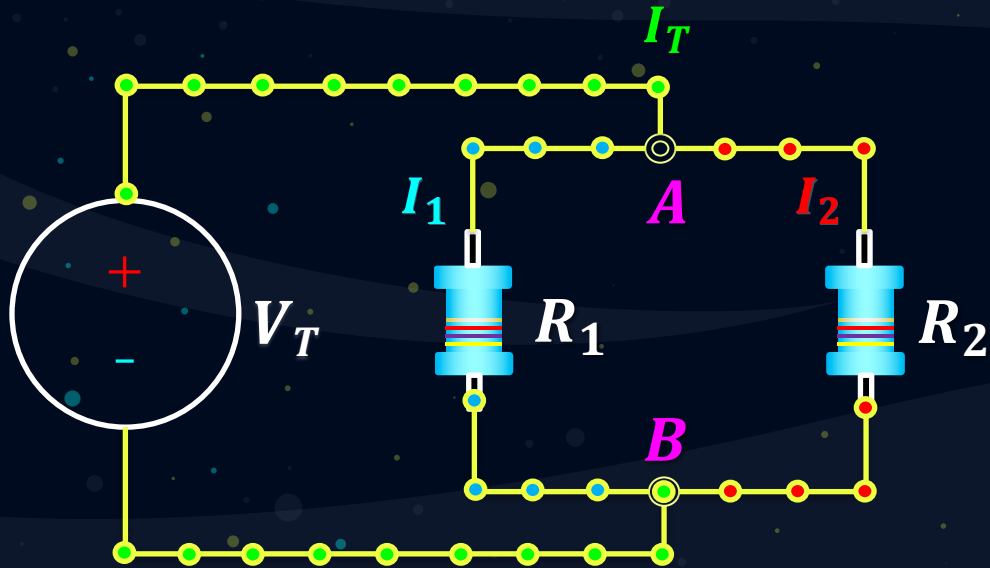
A soma de todas as correntes nos trechos deve ser igual à Corrente Total do circuito:

$$\begin{aligned} I_1 &= 6,67A \\ + \\ I_2 &= 3,33A \\ \hline I_T &= 10,00A \end{aligned}$$

Segunda Lei de Kirchhoff



2a. Lei de Kirchhoff:

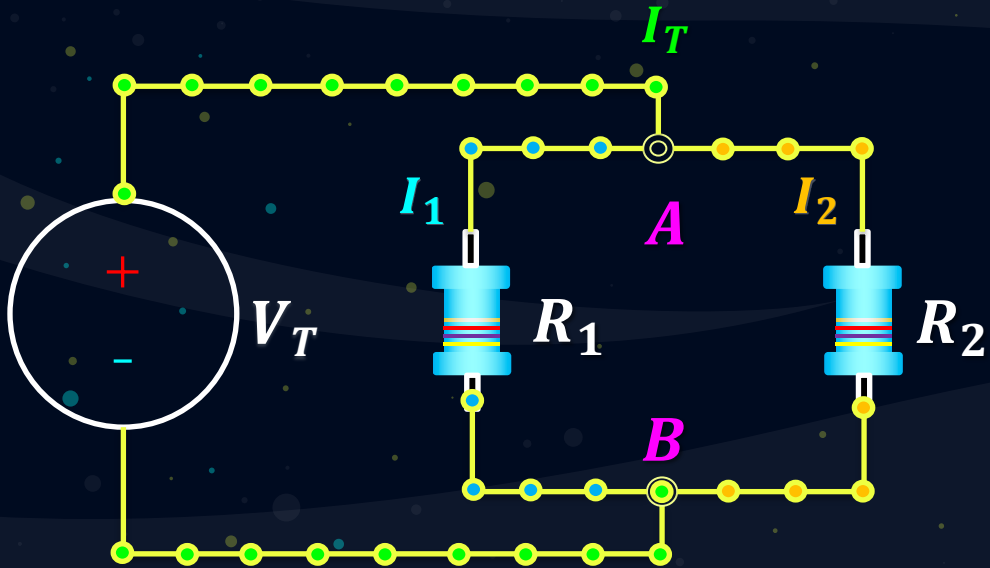


A soma de todas as correntes que entram e saem de um nó deve ser igual a zero!

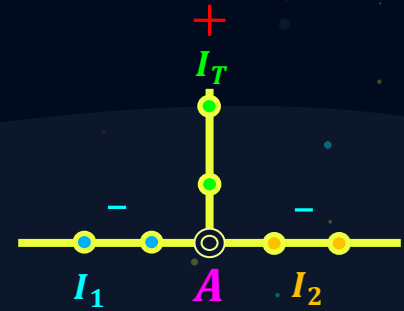
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$



2a. Lei de Kirchhoff:



$$+I_T - I_1 - I_2 = 0$$

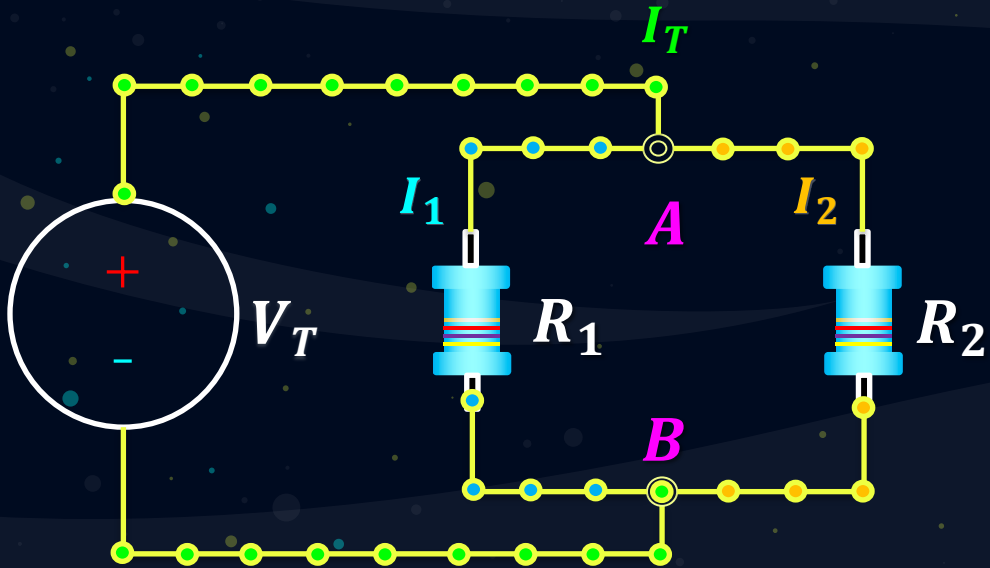


$$I_T = I_1 + I_2$$

As correntes que entram no nó são **Positivas** e as que saem são **Negativas**



2a. Lei de Kirchhoff:



$$+I_T - I_1 - I_2 = 0$$

$$I_T = I_1 + I_2$$

Aplicamos a Lei de Ohm:



$$I_T = \frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2}$$

As correntes que entram no nó são **Positivas** e as que saem são **Negativas**

Na aula de hoje:

Aula 5

Corrente Alternada

Onda Senoidal

Circuitos Monofásicos

Circuitos Trifásicos

Exemplos

Revisão

Quiz - Casa

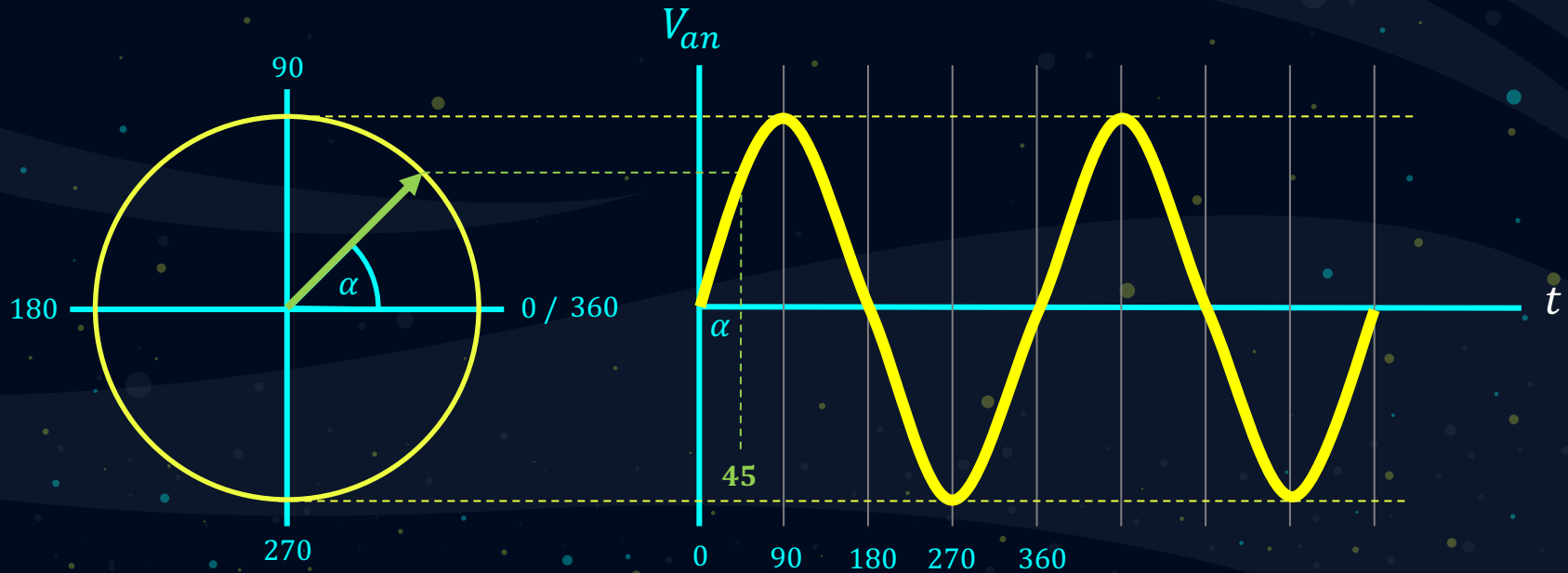
Exercícios - Casa

Corrente Alternada

Eletromagnetismo



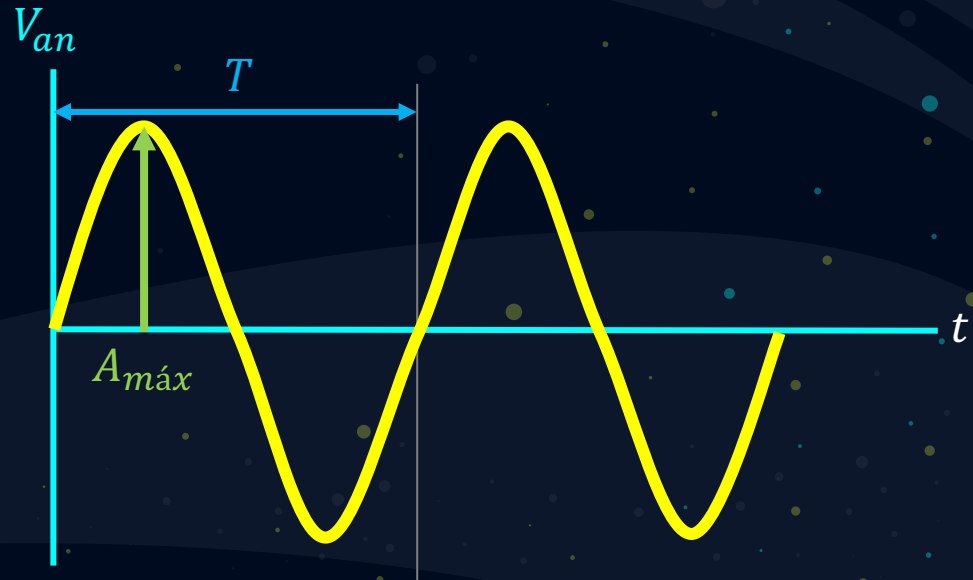
Um sistema balanceado de tensões trifásicas pode ser representado no domínio da frequência conforme a figura:



Toda forma de onda senoidal possui um **período** e uma **frequência**. As duas grandezas são inversamente proporcionais, isto é, quando a frequência aumenta, o período diminui, e vice-versa.

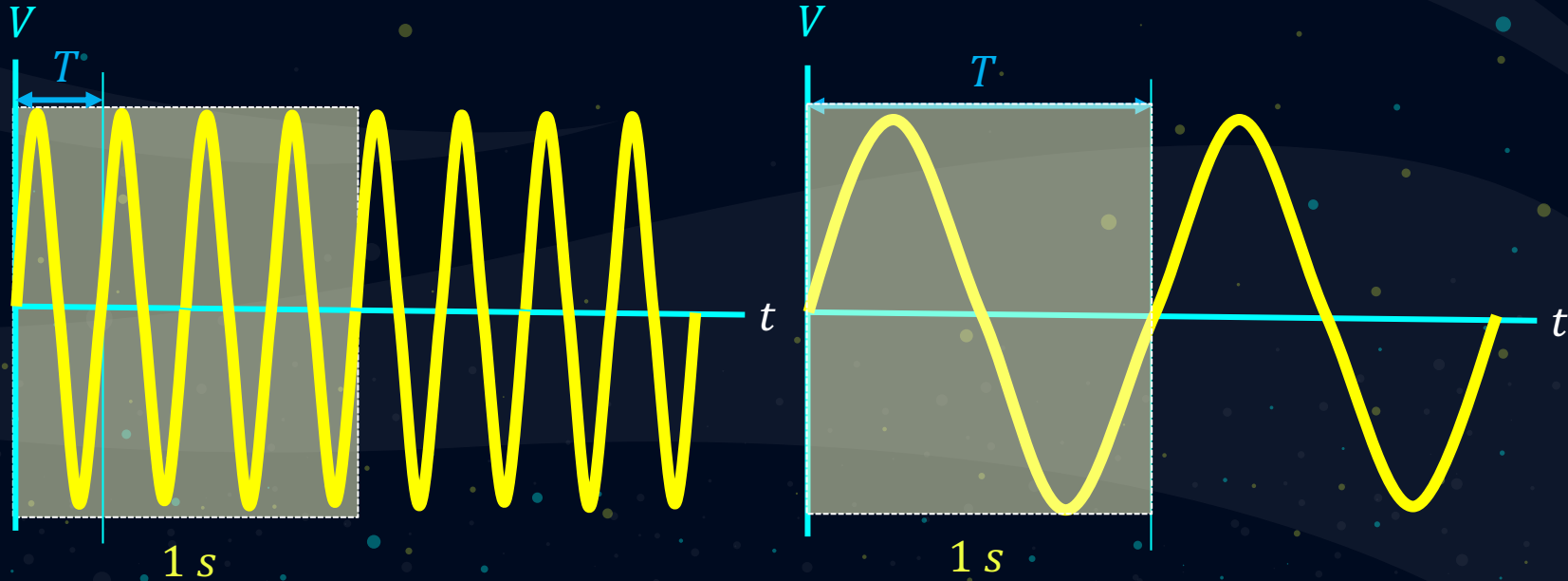
$$T(s) = \frac{1}{f(\text{Hz})}$$

$$f(\text{Hz}) = \frac{1}{T(s)}$$

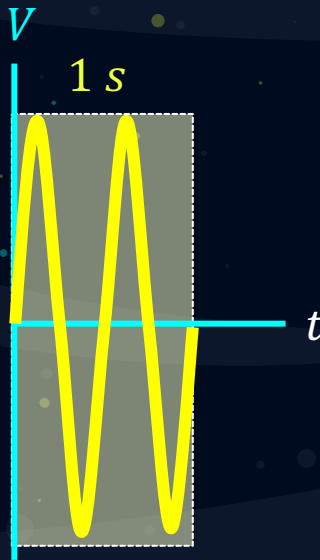


Período de uma onda senoidal é a duração (em segundos) da onda para completar um ciclo completo, isto é, dar uma volta inteira de 360 graus.

Frequência é a quantidade de ciclos completos em um segundo. A unidade de medida é Hertz (Hz).



Exemplo: Calcule a frequência e o período para cada uma das situações.

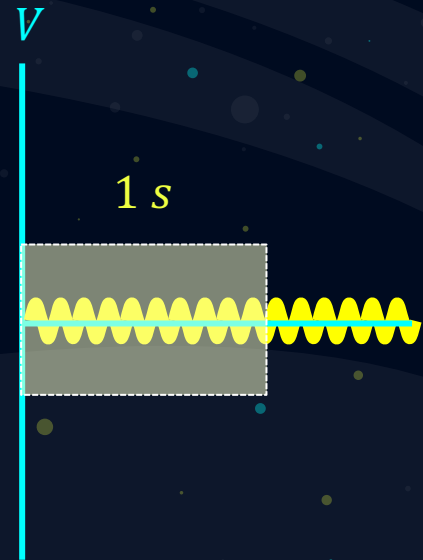


$$f = ? \text{ Hz}$$

$$T = ? \text{ s}$$



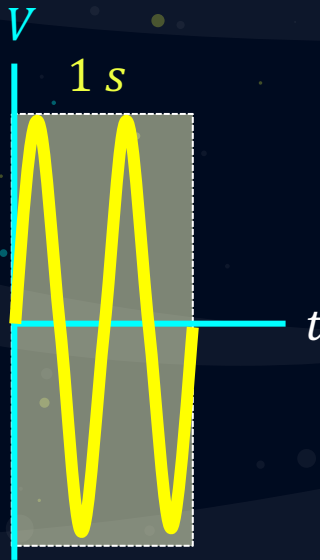
$$f = ? \text{ Hz}$$



$$f = ? \text{ Hz}$$

$$T = ? \text{ s}$$

Exemplo: Calcule a frequência e o período para cada uma das situações.



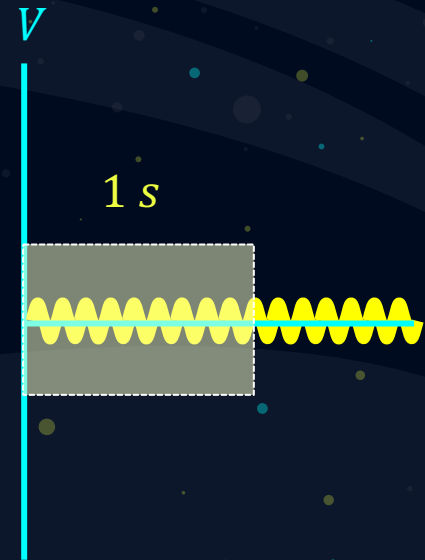
$$f = 2 \text{ Hz}$$

$$T = 0,5 \text{ s}$$



$$T = 5 \text{ s}$$

$$f = 0,2 \text{ Hz}$$

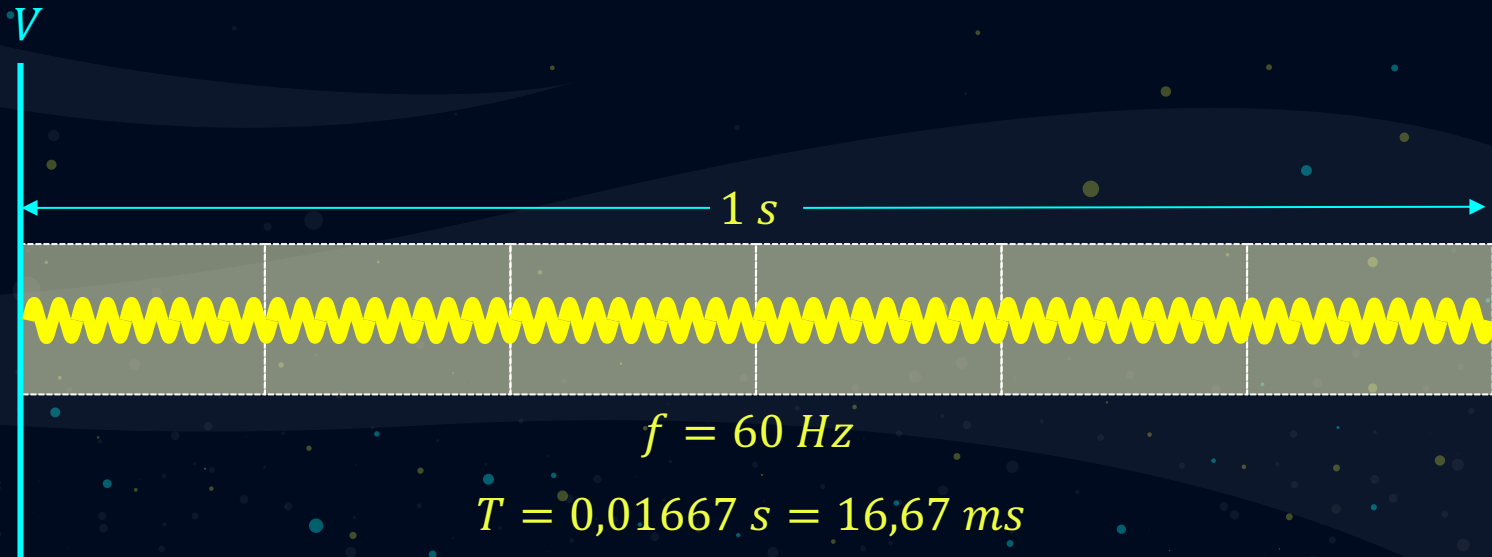


$$f = 10 \text{ Hz}$$

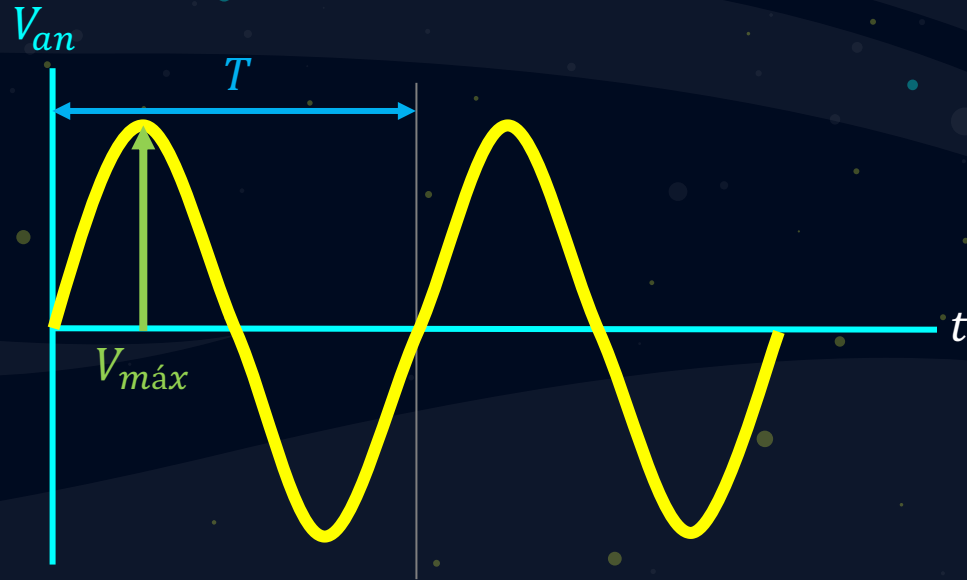
$$T = 0,1 \text{ s}$$

A frequência padronizada no Brasil é igual a $f = 60 \text{ Hz}$, ou seja, 60 ciclos em 1 segundo.

Neste sistema tem-se um fluxo e refluxo de energia, assim a corrente elétrica altera o seu sentido a cada meio ciclo. Para alguns equipamentos é importante essa variação do fluxo para o correto funcionamento dos mesmos, como por exemplo: transformadores, motores e etc.



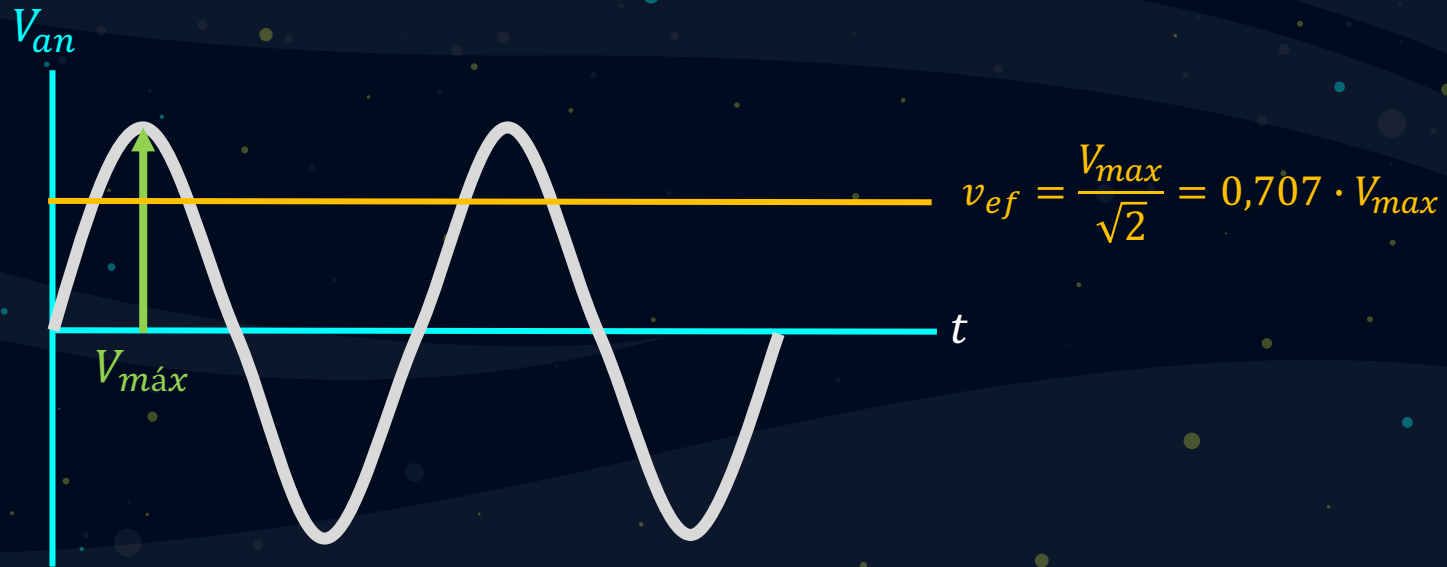
Outro elemento da onda senoidal é a amplitude, este valor também pode ser denominado Valor de Pico ou Valor máximo (V_{max}),



O valor instantâneo é o valor que a amplitude assume em um determinado instante (s). A equação da onda é apresentada a seguir:

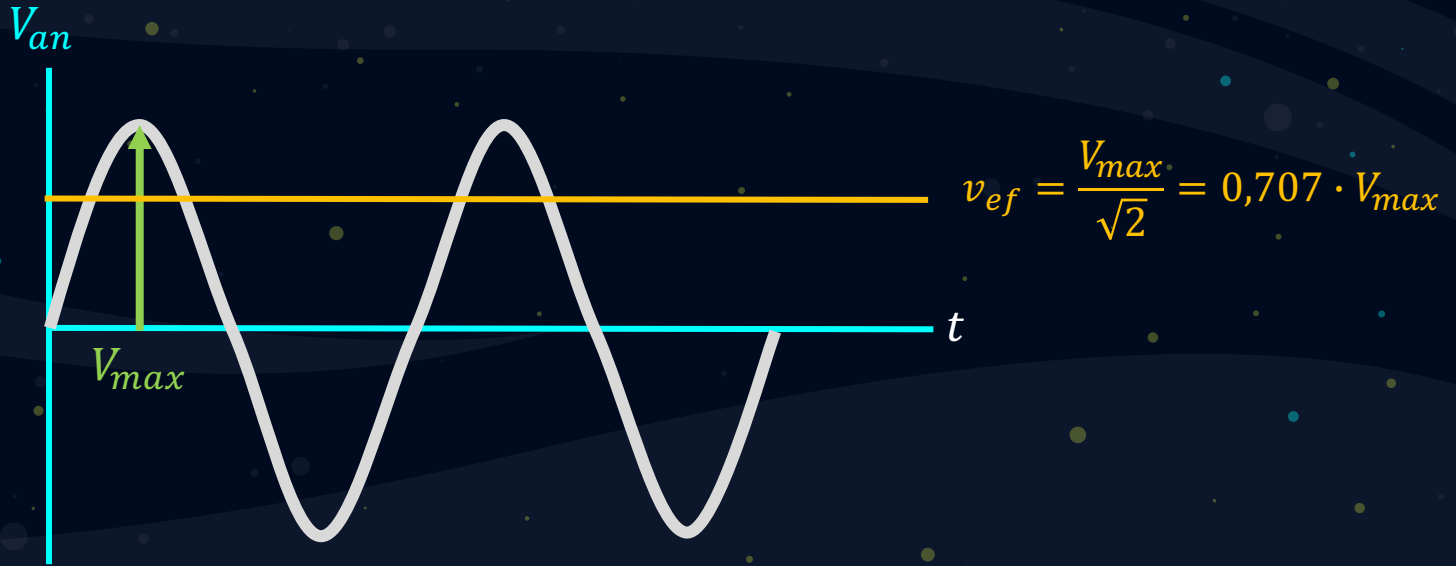
$$v(t) = V_m \text{sen}(\alpha + \theta) V$$

Um conceito importante é o Valor eficaz de uma forma de onda senoidal. O cálculo é realizado através da expressão:

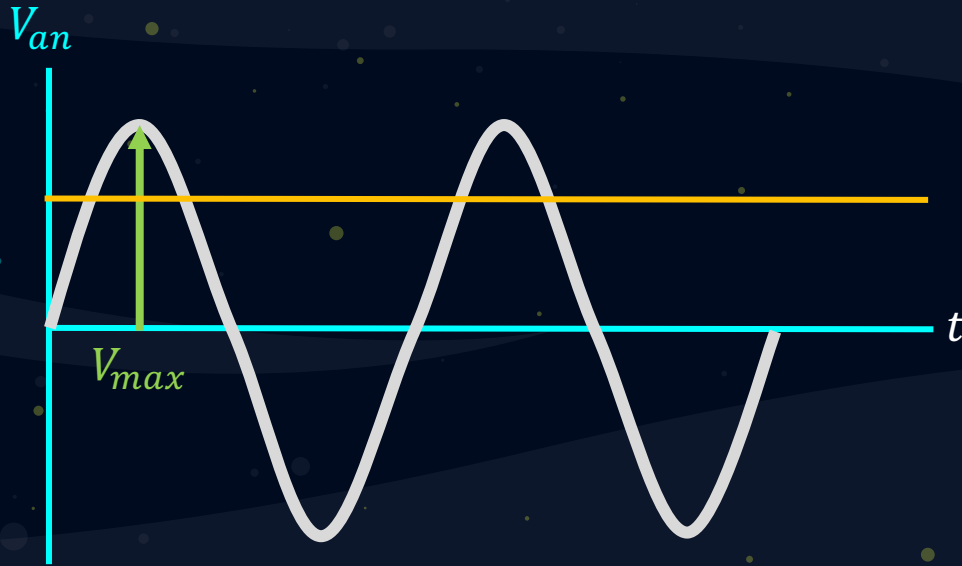


O valor RMS (Root mean Square) ou valor eficaz é o valor de tensão ou corrente alternada (CA) que produz o mesmo efeito de dissipação de calor que seu equivalente de tensão ou corrente, em corrente contínua (CC) sobre uma mesma resistência.

Exemplos: Considere as seguintes situações: $V_{max} = 100V$ e $V_{max} = 80V$



Exemplos: Considere as seguintes situações: $V_{max} = 100V$ e $V_{max} = 80V$

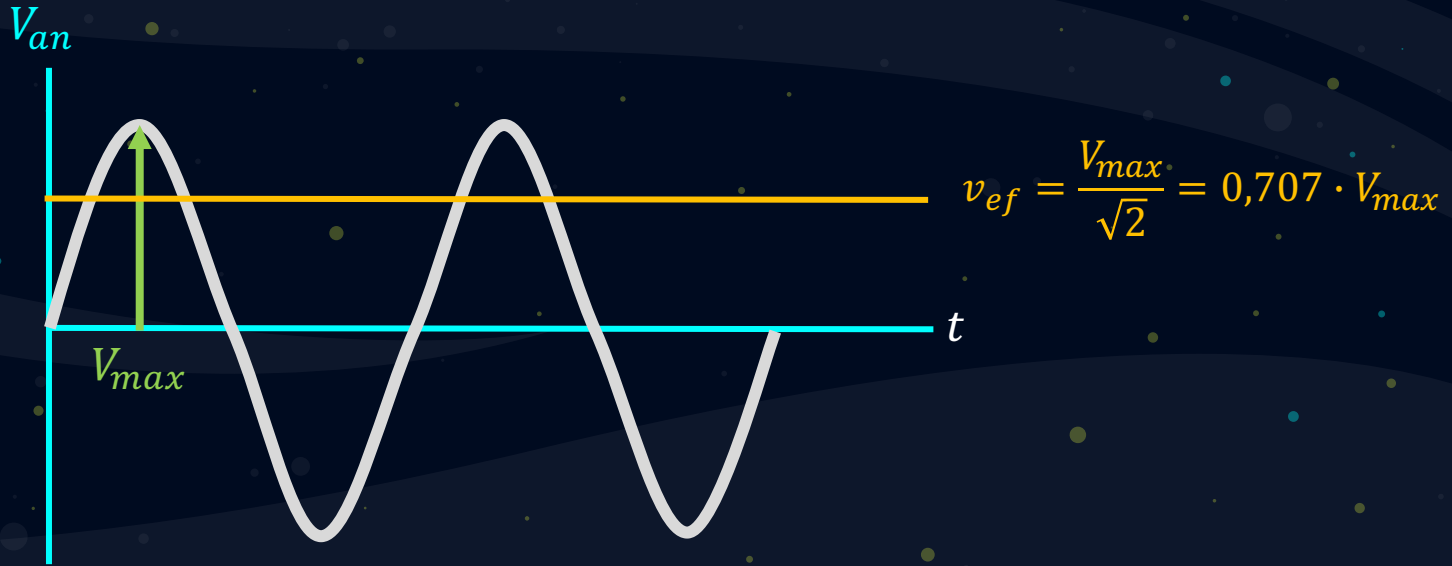


$$v_{ef} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot V_{max}$$

$$v_{ef} = \frac{100V}{\sqrt{2}} = 70,7 V_{RMS}$$

$$v_{ef} = \frac{80V}{\sqrt{2}} = 56,7 V_{RMS}$$

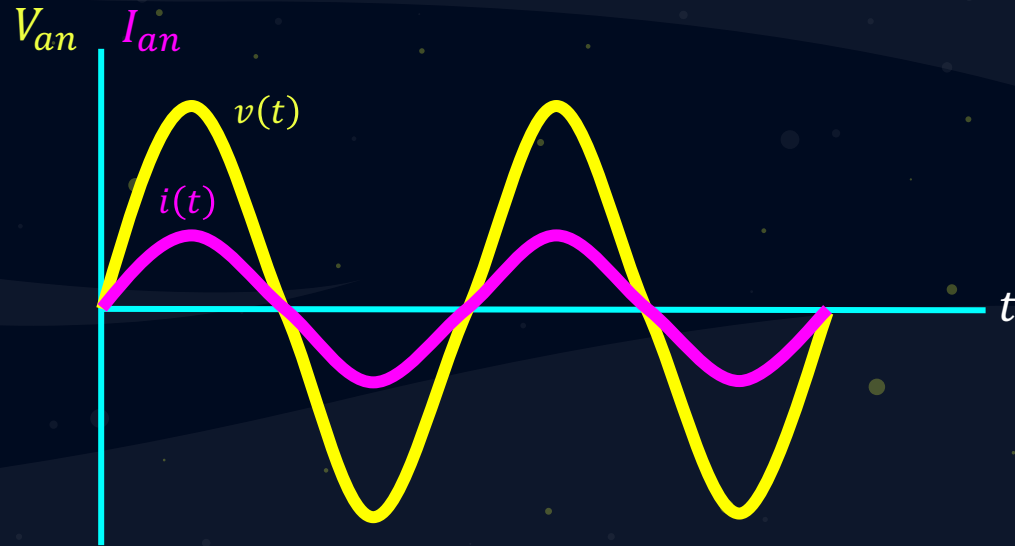
Exemplos: Considere as seguintes situações: $V_{ef} = 127\text{ V}$ e $V_{ef} = 220\text{ V}$



$$V_{max} = \sqrt{2} \cdot V_{ef} = \sqrt{2} \cdot 127 = 179,6\text{ V}$$

$$V_{max} = \sqrt{2} \cdot V_{ef} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311,12\text{ V}$$

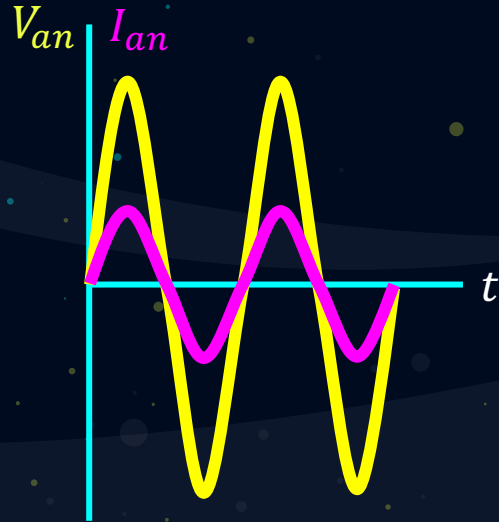
Se a forma de onda da tensão de é senoidal, e considerando uma carga puramente resistiva, a corrente também será uma senóide:



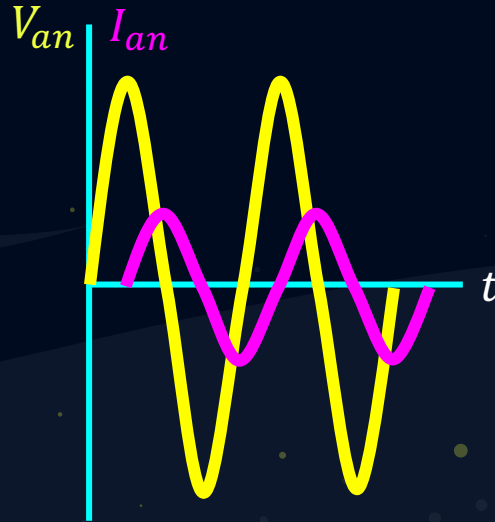
$$v(t) = V_{max} \text{sen}(\alpha + \theta) \text{ V}$$

$$i(t) = I_{max} \text{sen}(\alpha + \theta) \text{ A}$$

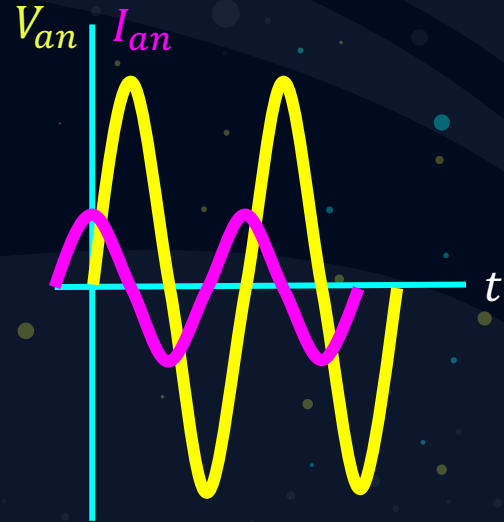
Dependendo das características de uma instalação elétrica, muitas vezes haverá uma defasagem entre a tensão e a corrente, isto se deve ao tipo de carga presente prioritariamente presente na instalação:



$$v(t) = V_{max} \text{sen}(\alpha + \theta) \text{ V}$$
$$i(t) = I_{max} \text{sen}(\alpha + \theta) \text{ A}$$



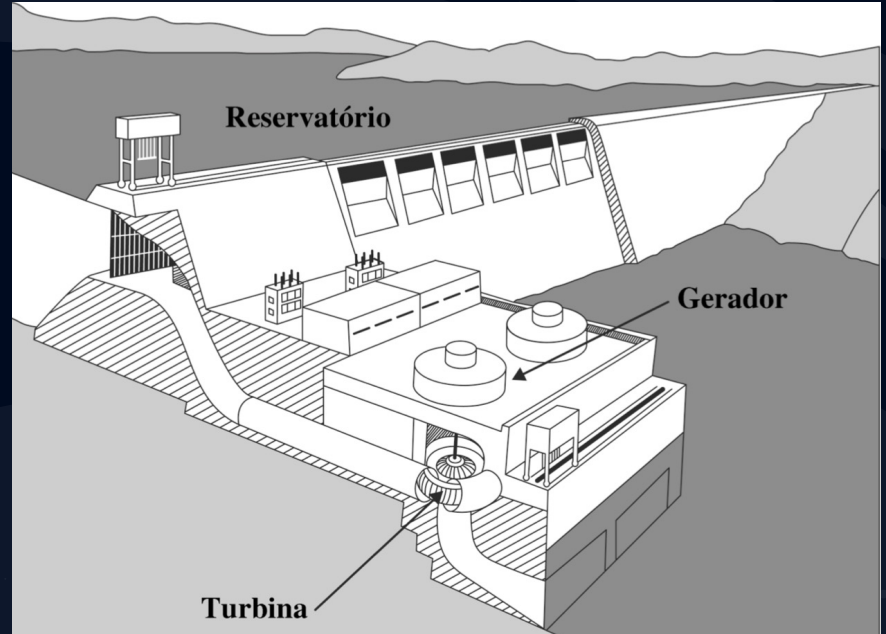
$$v(t) = V_{max} \text{sen}(\alpha + \theta) \text{ V}$$
$$i(t) = I_{max} \text{sen}(\alpha + 90) \text{ A}$$



$$v(t) = V_{max} \text{sen}(\alpha + \theta) \text{ V}$$
$$i(t) = I_{max} \text{sen}(\alpha - 90) \text{ A}$$

Geração Elétrica

A geração elétrica no modo polifásico é composta de um gerador elétrico, o qual transforma energia mecânica em energia elétrica. A água armazena energia potencial no reservatório, ao circular pelas pás da turbina, movimenta o eixo do rotor do gerador, onde em conjunto com o estator do gerador são obtidas as tensões trifásicas.



Geração Elétrica



A usina nuclear de geração também utiliza o vapor para acionar as turbinas. O calor neste processo é gerado pela energia liberada pela fissão nuclear de substâncias reativas no núcleo do reator.

Numa usina a combustível fóssil, a turbina é acionada por vapor. Na caldeira são misturados o combustível e o ar, transformando a água em vapor e este conduzido em dutos até as turbinas para gerar energia. Após isto, o vapor é resfriado no condensador mediante um circuito de água fria para transformar o vapor novamente em água e completar o ciclo.



Na grande maioria dos casos, as unidades de geração estão distantes dos grandes centros de consumo de energia, para tanto, se faz muito necessário realizar o transporte da energia produzida para o consumidor final.

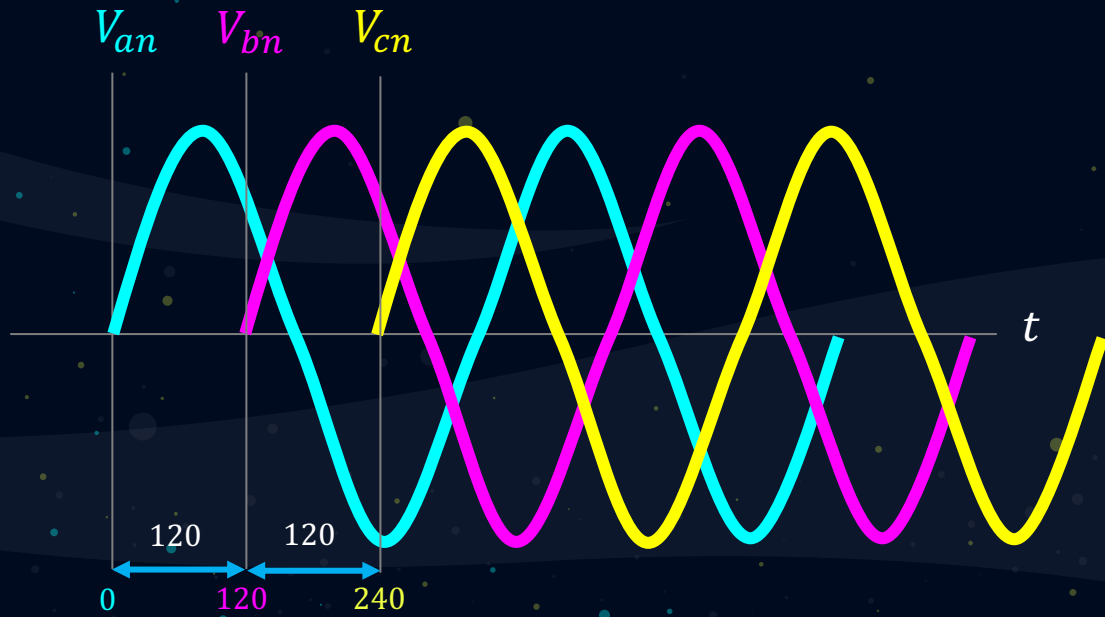
A transmissão da energia é realizada pelas linhas de transmissão. **As linhas de transmissão são mais eficientes quanto mais elevadas forem as tensões.** Este processo pode ser obtido com os transformadores de potência que podem tanto elevar como reduzir estes níveis de tensão, em locais específicos de manobra e seccionamento, denominadas subestações de energia.

Os circuitos trifásicos são aqueles nos quais a alimentação é formado por um sistema trifásico de tensões.

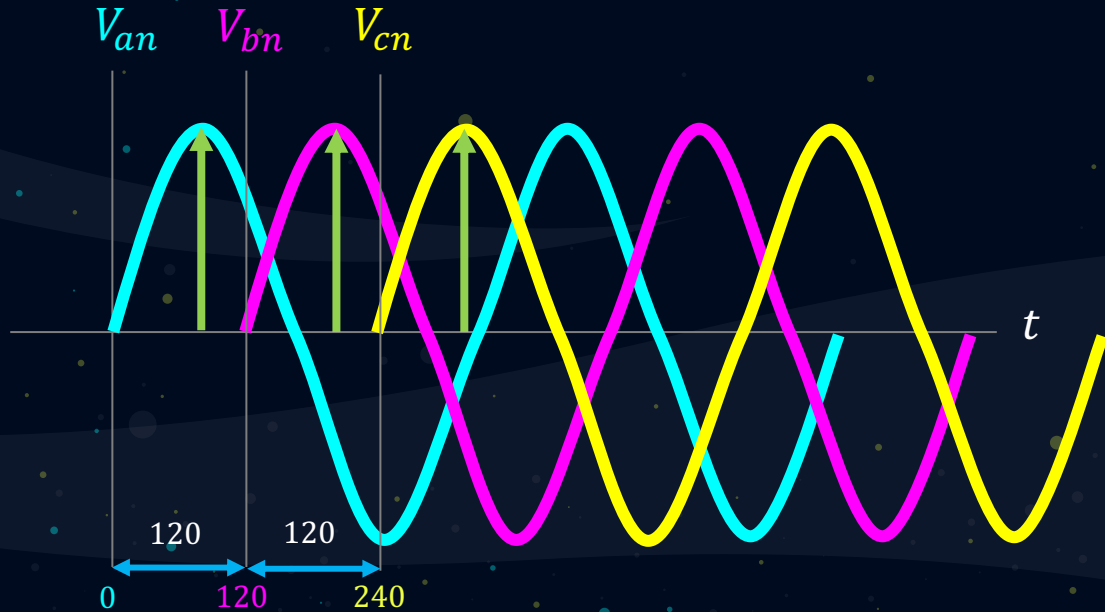
Se as três fontes de tensão senoidal possuírem a mesma magnitude e a mesma frequência, e as tensões estiverem defasadas em 120 graus entre si, as tensões estão balanceadas ou em equilíbrio.

Se as cargas alimentadas forem tais que as correntes produzidas pelas tensões também estiverem balanceadas, o circuito como um todo será chamado de circuito trifásico balanceado ou equilíbrio.

Um sistema balanceado de tensões trifásicas pode ser representado no domínio da frequência conforme a figura:



Um sistema balanceado de tensões trifásicas pode ser representado no domínio da frequência conforme a figura:

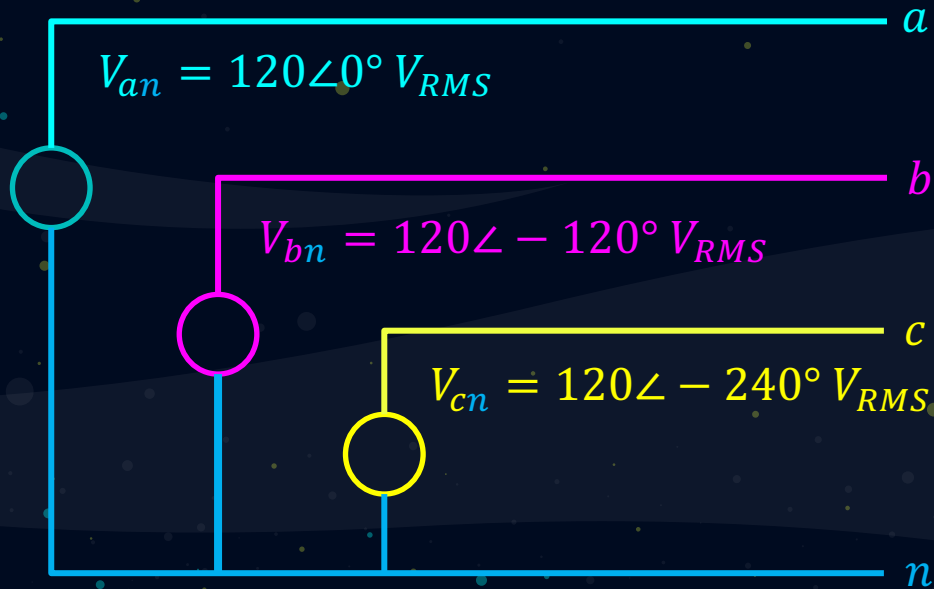


$$V_{an} = V \angle 0^\circ V_{RMS}$$

$$V_{bn} = V \angle -120^\circ V_{RMS}$$

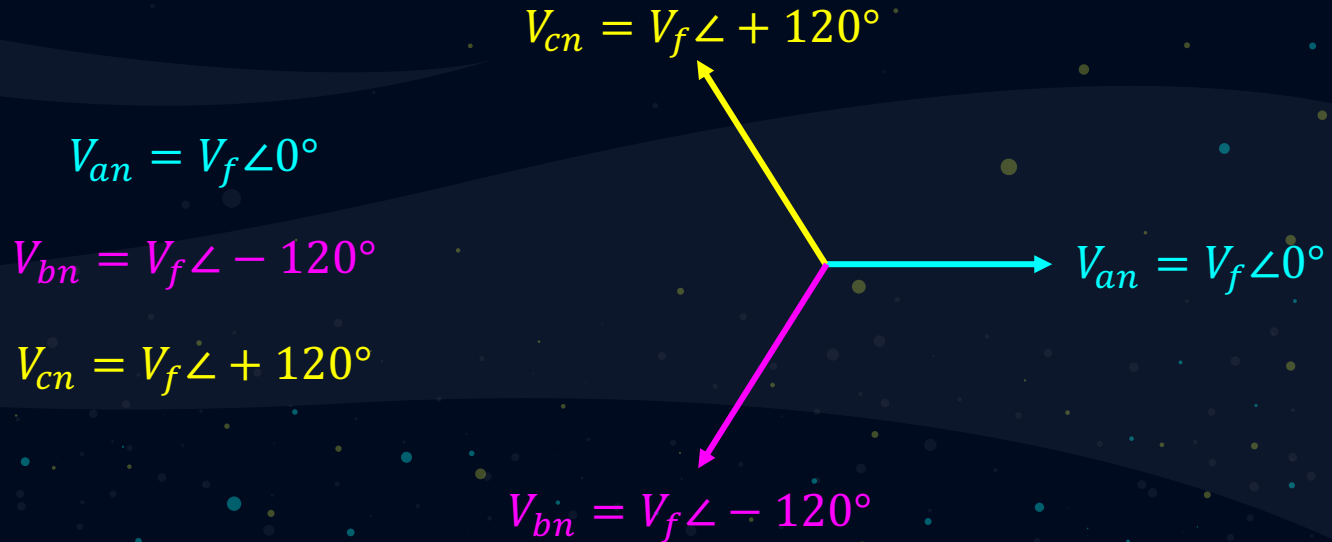
$$V_{cn} = V \angle -240^\circ V_{RMS}$$

Graficamente as notações são utilizadas na representação de problemas e situações de circuitos trifásicos como mostra o esquema abaixo:

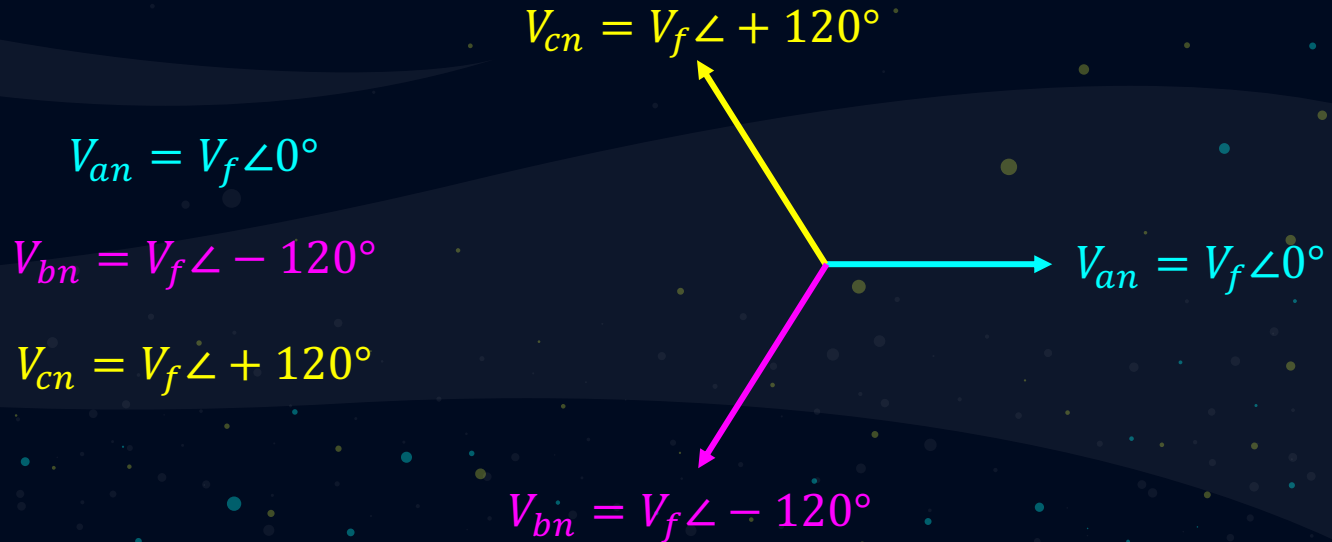


Uma das mais importantes fontes de alimentação de um sistema polifásico é a fonte trifásica balanceada. As tensões nesta configuração estão em fase, isto é, cada uma das linhas **a**, **b** e **c**, referenciadas ao neutro estão:

O diagrama fasorial das tensões está apresentado a continuação:



A sequência de fases desse conjunto é chamada sequência abc (ou sequência positiva), significando que V_{bn} apresenta um atraso de **120** graus em relação a V_{an} . Da mesma forma, V_{cn} , está atrasada de V_{an} em **-240** graus ou adiantada de V_{an} em **120** graus.



A notação será padronizada de modo que as tensões sejam sempre denominadas V_{an} , V_{bn} e V_{cn} , e será adotada a sequência de fase positiva. Além disto será adotado que $\angle V_{an} = 0^\circ$.

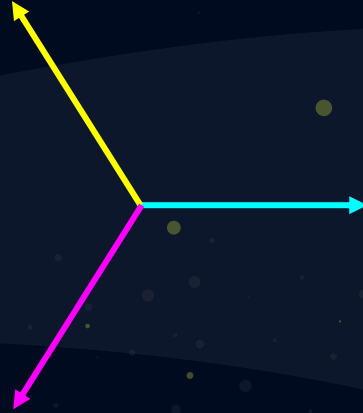
Uma propriedade importante deste conjunto de tensões em equilíbrio é:

$$V_{an} + V_{bn} + V_{cn} = 0$$

$$V_{an} = V_f \angle 0^\circ$$

$$V_{bn} = V_f \angle -120^\circ$$

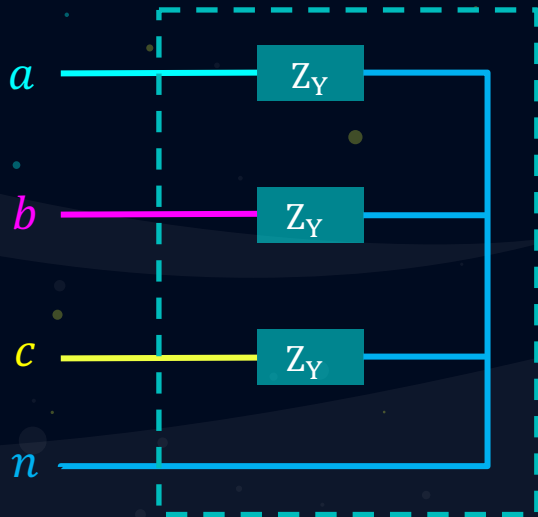
$$V_{cn} = V_f \angle +120^\circ$$



É oportuno salientar que se as tensões estão balanceadas e se as correntes geradas pela conexão de uma carga à fonte de alimentação, estas estarão também equilibradas.

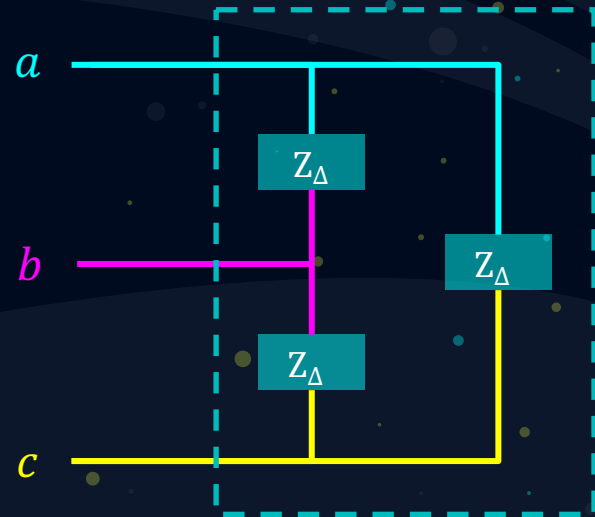
Dessa forma, existem duas possibilidades equivalentes para a carga. As cargas equivalentes podem estar ligadas na configuração estrela (**Y**) ou delta (**Δ**).

Conexão Estrela ou Y:



Fornecer um local de conexão à terra dos sistemas de proteção

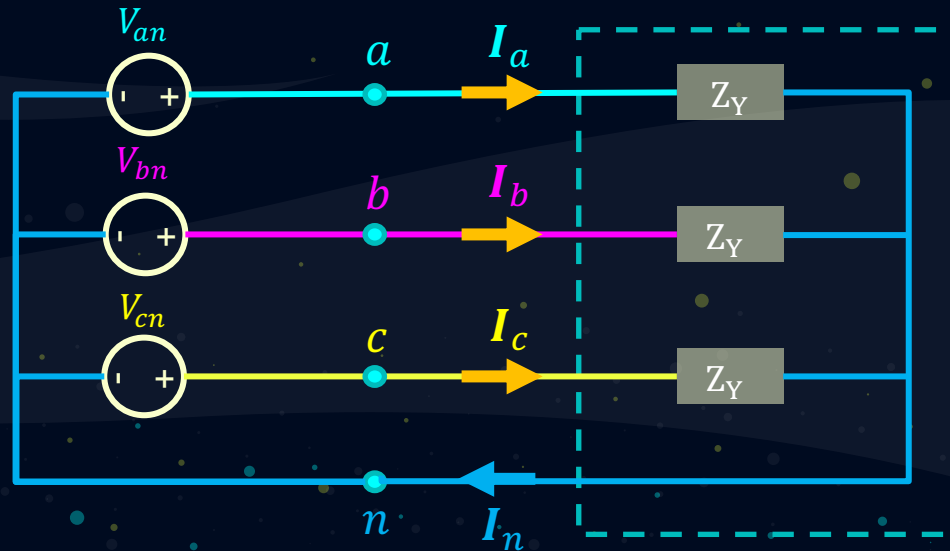
Conexão Delta (Δ):



Melhor permanência de equilíbrio ao atender cargas desbalanceadas.

Uma vez que tanto fonte quanto carga podem ser ligados em configurações estrela ou delta, podemos ter quatro possibilidades de ligação $\mathbf{Y - Y}$, $\mathbf{Y - \Delta}$, $\mathbf{\Delta - Y}$, ou $\mathbf{\Delta - \Delta}$.

Vejamos a primeira situação: $\mathbf{Y - Y}$. Suponha que a fonte e a carga estão ligados em \mathbf{Y} , as tensões (em sequência positiva) são:



Lembrando que a tensão V_f representa a intensidade da tensão de fase. As tensões de linha-linha, ou tensões de fase-fase, podem ser calculadas utilizando a LKT:

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn}$$

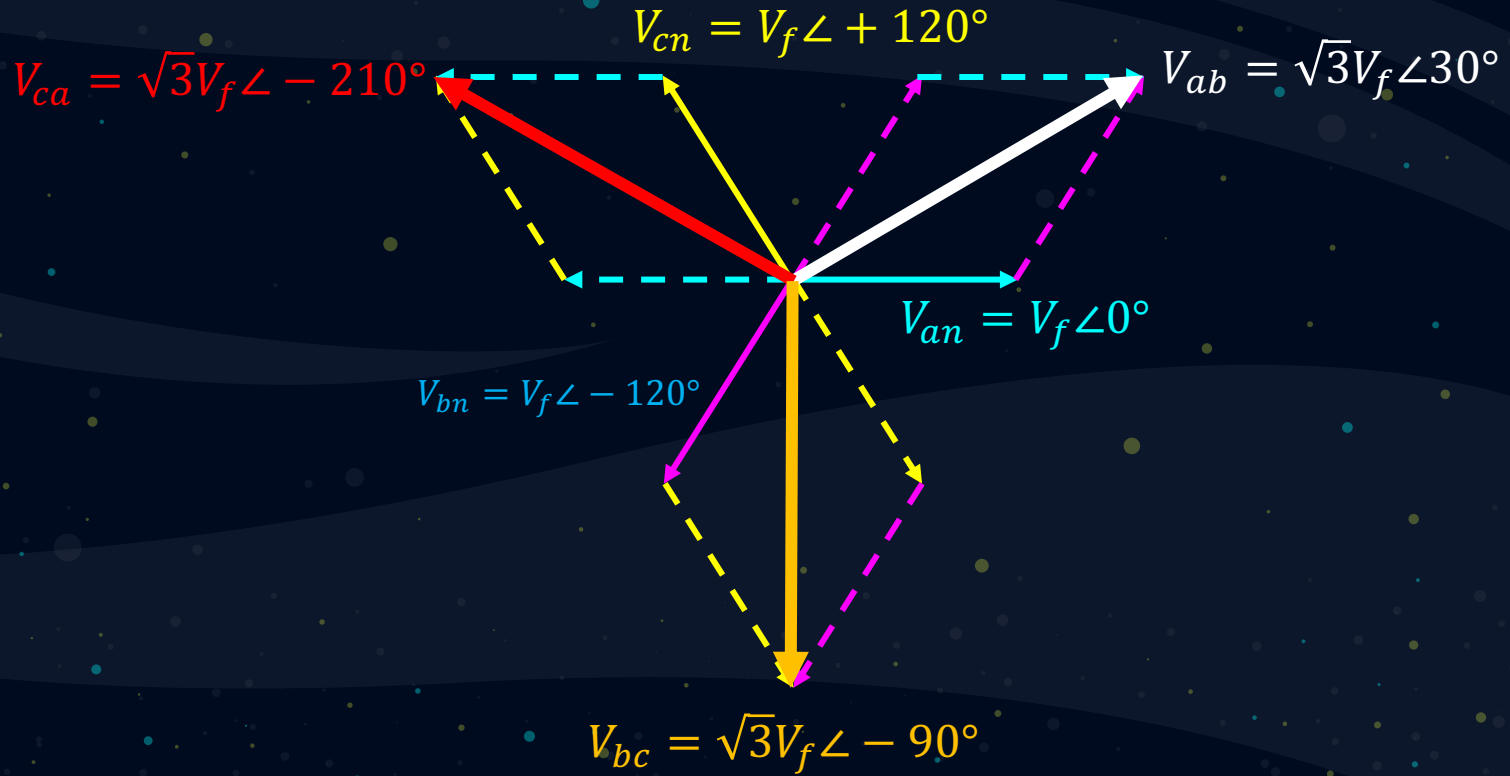
$$V_{ab} = V_f \angle 0^\circ - V_f \angle -120^\circ$$

$$V_{ab} = \sqrt{3} \cdot V_f \angle 30^\circ$$

Replicando o processo para as demais tensões de linha, obtém-se:

$$V_{bc} = \sqrt{3} \cdot V_f \angle -90^\circ$$

$$V_{ca} = \sqrt{3} \cdot V_f \angle -210^\circ$$



Pelo que foi constatado, as magnitudes das tensões de linha são representados como V_L , e portanto, para um sistema equilibrado, temos que:

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_f$$

Dessa forma, em um sistema com conexão em estrela, a tensão de linha é $\sqrt{3}$ a tensão de fase.

A corrente na linha para a fase a, pode ser calculada pela lei de Ohm:

$$I_a = \frac{V_{an}}{Z_Y} = \frac{V_f \angle 0^\circ}{Z_Y}$$

Em que I_b e I_c possuem a mesma magnitude de I_a , porém estão defasadas de I_a em 120° e 240° , respectivamente.

Por sua vez, a corrente no neutro I_n , pode ser calculada como segue:

$$I_n = (I_a + I_b + I_c) = 0$$

Uma vez que não existe corrente no neutro, esse condutor poderia possuir qualquer impedância, ou poderia ser um circuito aberto ou ainda um curto-circuito que os resultados obtidos não sofreriam nenhuma alteração.

Outra conclusão extraída do circuito $\mathbf{Y} - \mathbf{Y}$, demonstra que a corrente de linha que conecta a fonte a carga é idêntica à corrente de fase que flui pela impedância \mathbf{Z}_Y , portanto:

$$I_L = I_Y$$

Uma fonte de tensão trifásica na sequência abc, conectada numa configuração estrela equilibrada. Sabe-se que ela possui uma tensão de linha expressa em: $V_{ab} = 208\angle -30^\circ V_{RMS}$. Determine as tensões de fase.

$$V_f = \frac{208}{\sqrt{3}} = 120 V_{RMS}$$

Como foi visto no diagrama fasorial, a tensão de linha está adiantada de 30 graus com relação à tensão de fase, levando isto em consideração, podem ser calculadas as tensões de fase.

$$V_{ab} = 208\angle -30^\circ$$

$$V_{bc} = 208\angle -150^\circ$$

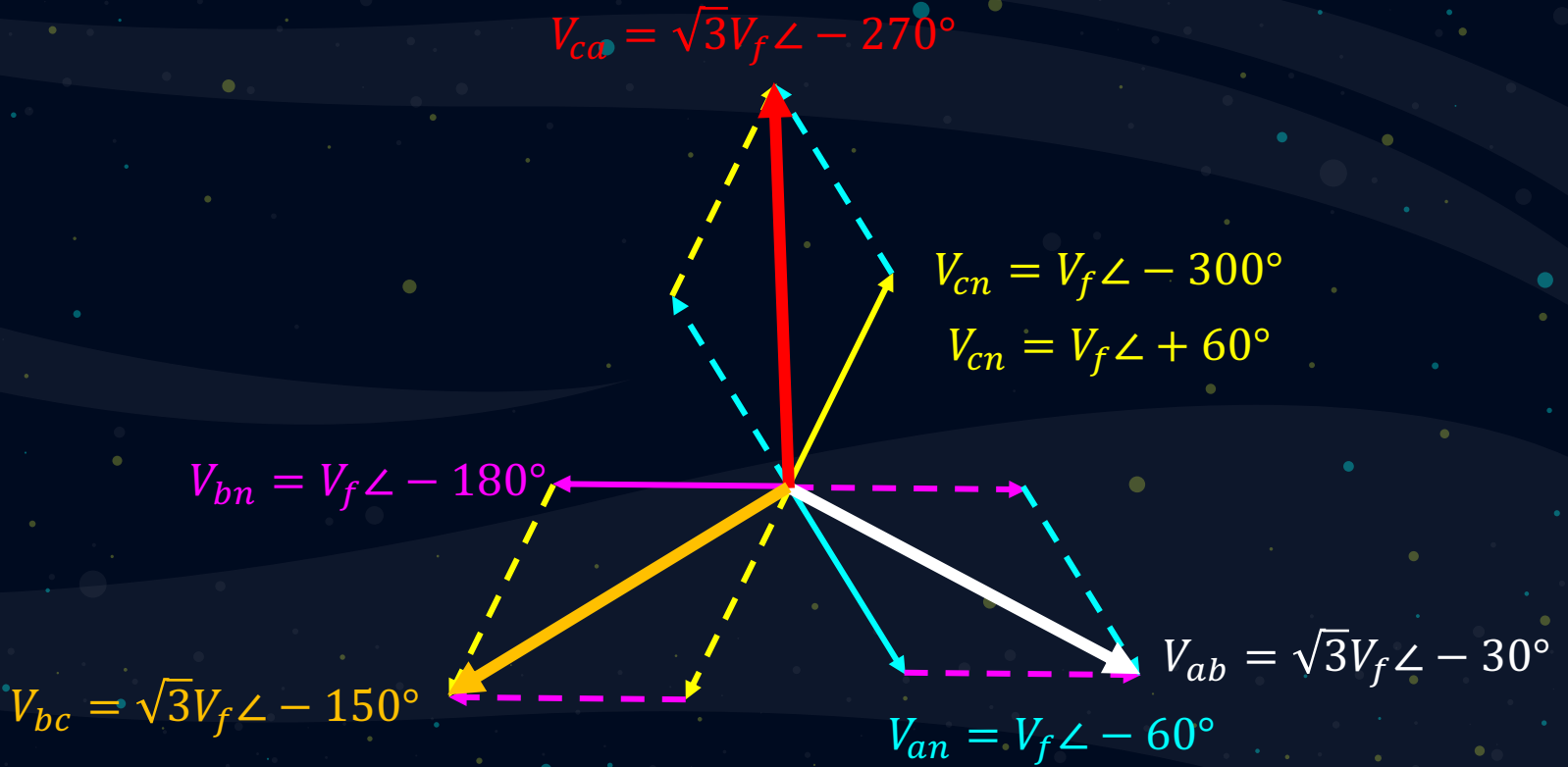
$$V_{ca} = 208\angle -270^\circ$$

$$V_{an} = 120\angle -30^\circ - 30^\circ = 120\angle -60^\circ V_{RMS}$$

$$V_{bn} = 120\angle -150^\circ - 30^\circ = 120\angle -180^\circ V_{RMS}$$

$$V_{cn} = 120\angle -270^\circ - 30^\circ = 120\angle -300^\circ V_{RMS}$$

Exemplo:



Dúvidas?

raulsales@ifsul.edu.br