# Eletricista de Sistemas de Energias Renováveis

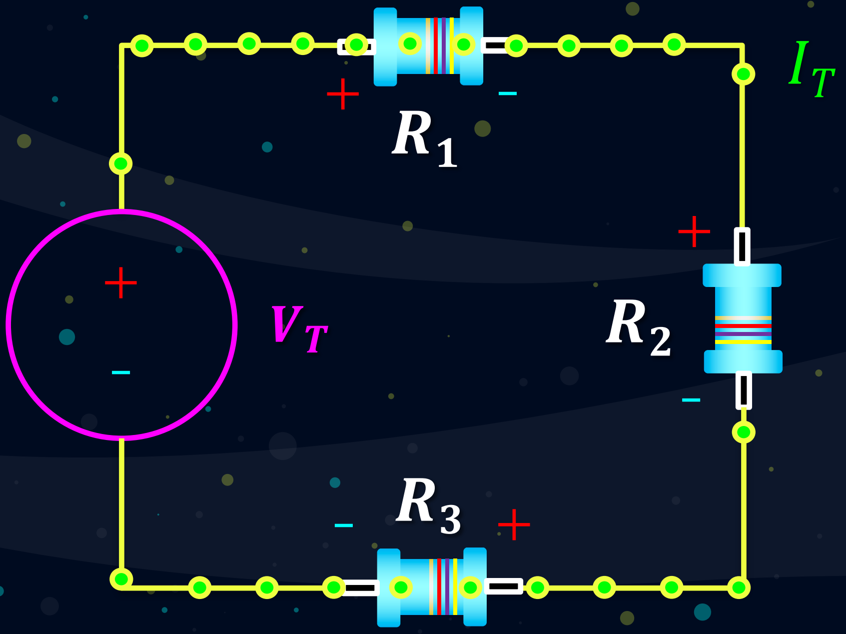
## Módulo I

# Na aula anterior vimos:

INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense
Campus
Passo Fundo

# Divisor de Tensão

# Divisor de Tensão:



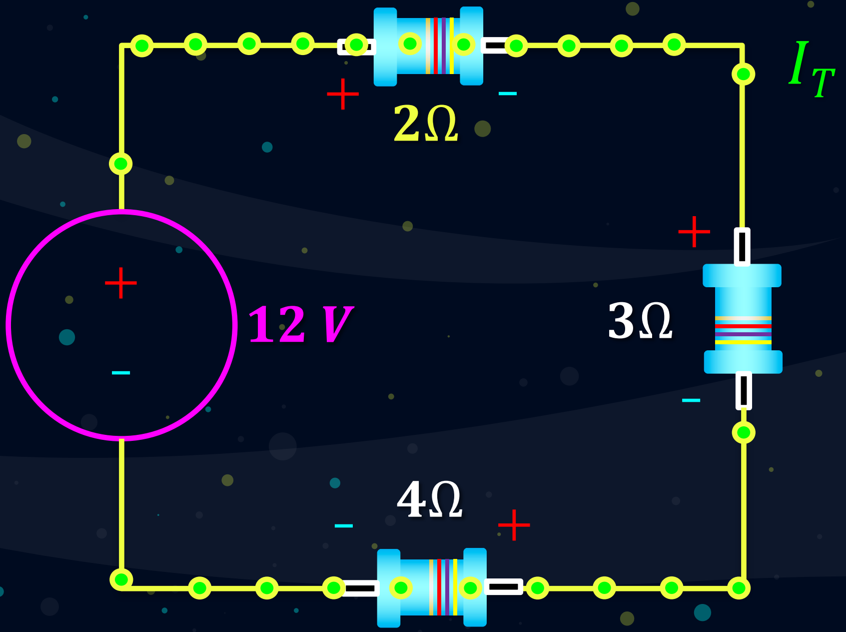

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

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 $\boldsymbol{R_x}$ pelo valor da Resistência onde queremos calcular a tensão:

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

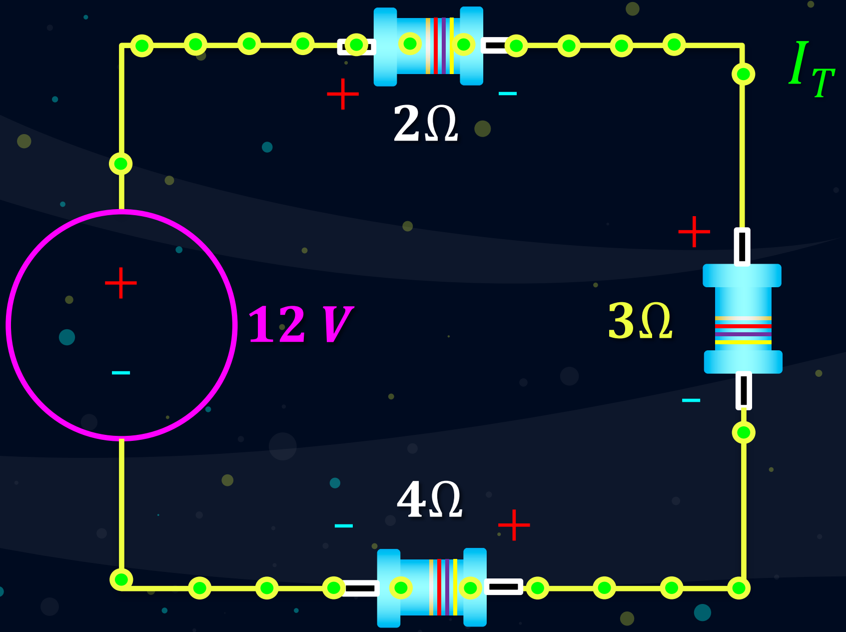
$$V_1 = \frac{R_1}{R_T} \times V_T$$

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

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

INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense
Campus
Passo Fundo

# Divisor de Tensão:



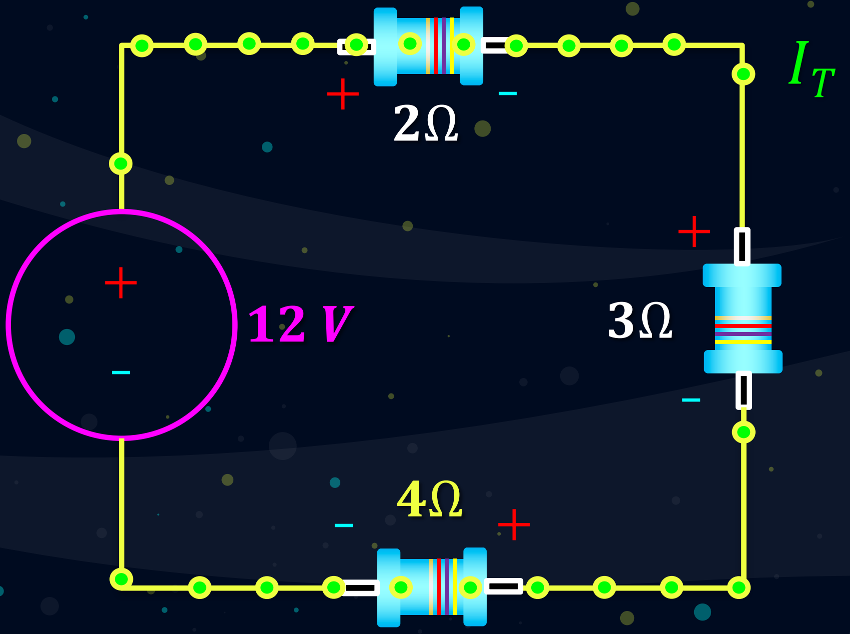

Substituímos o valor de $\boldsymbol{R_x}$ pelo valor da Resistência onde queremos calcular a tensão:

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

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

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

# Divisor de Tensão:



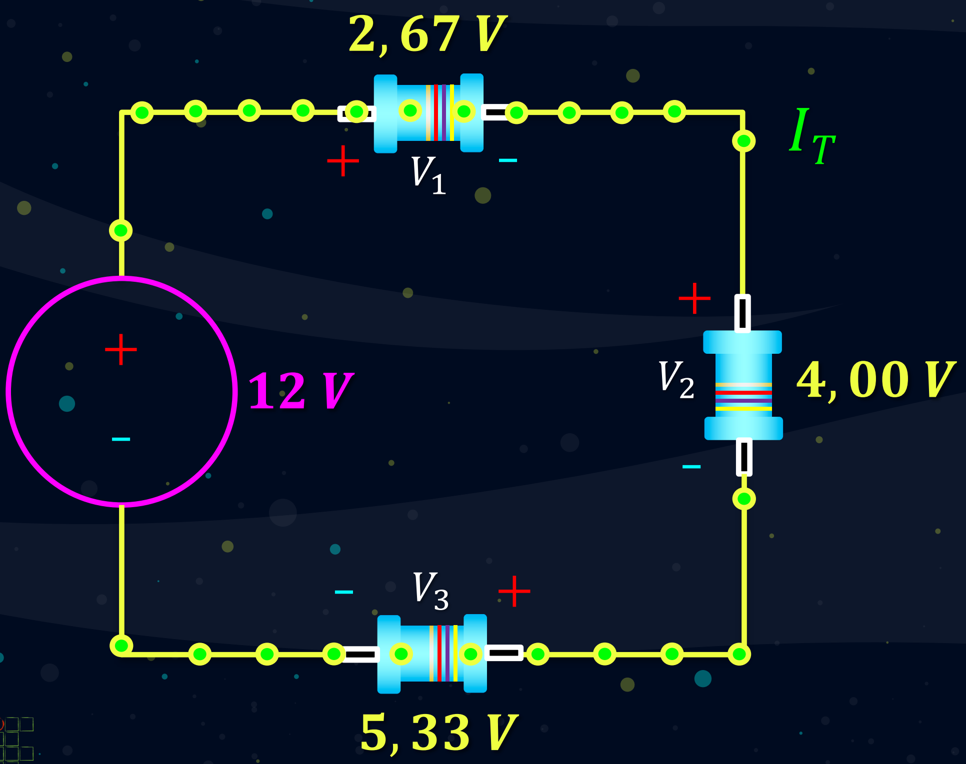

Substituímos o valor de $\boldsymbol{R_x}$ pelo valor da Resistência onde queremos calcular a tensão:

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

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

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

# Divisor de Tensão:




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

$$V_1 = 2,67V$$
$$+ \quad V_2 = 4,00V$$
$$V_3 = 5,33V$$

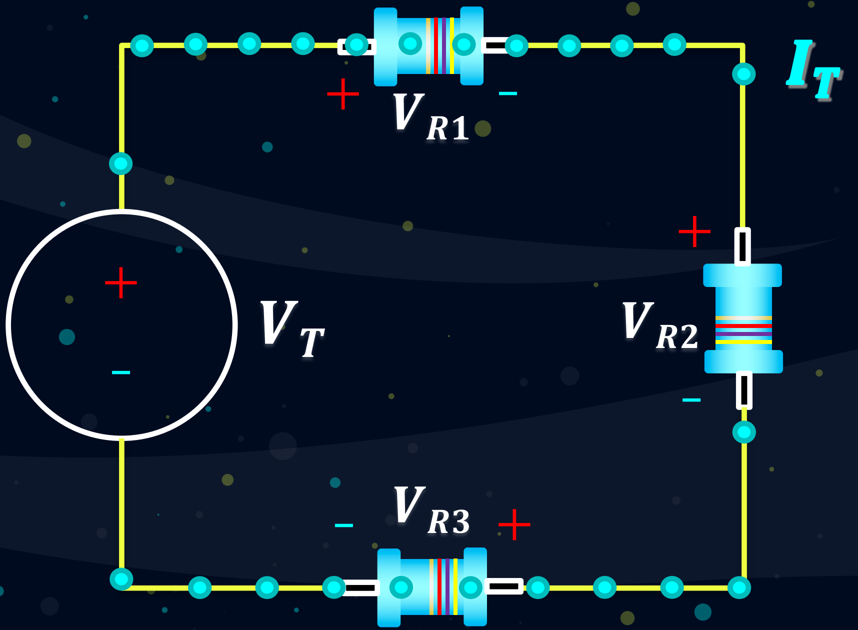
---

$$V_T = 12,00V$$

INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense
Campus
Passo Fundo

# Primeira Lei de Kirchhoff

# 1a. Lei de Kirchhoff:

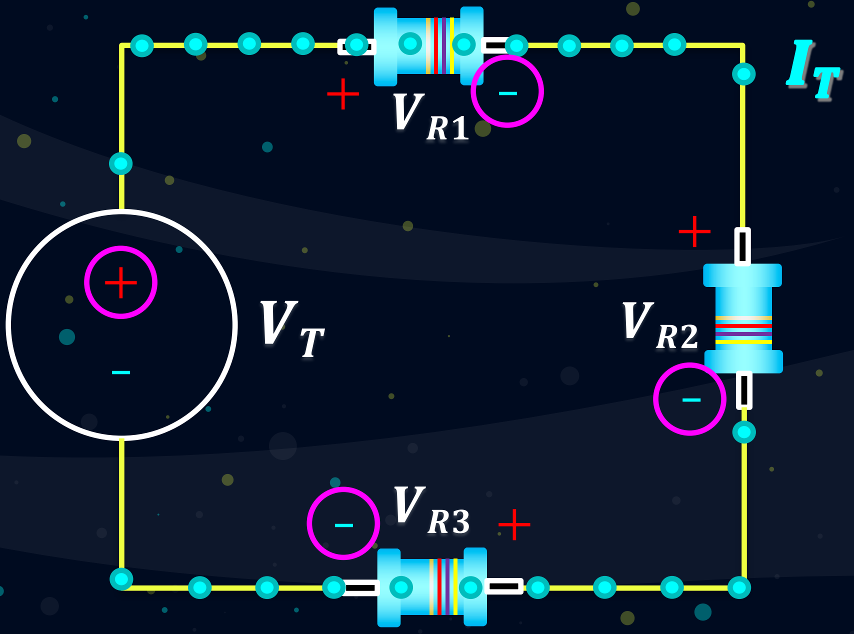



A soma algébrica de todas as tensões numa malha é igual a ZERO.

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

INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense
Campus Passo Fundo

# 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:

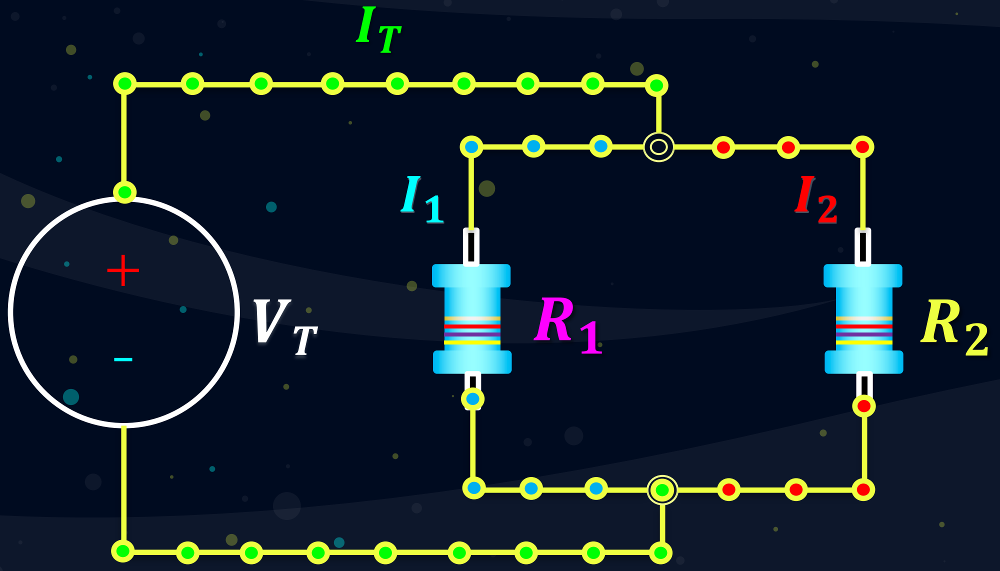
$$V_T = (I_T R_1) + (I_T R_2) + (I_T R_3)$$

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

$$V_T = I_T (R_T)$$

# Divisor de Corrente

# Divisor de Corrente:



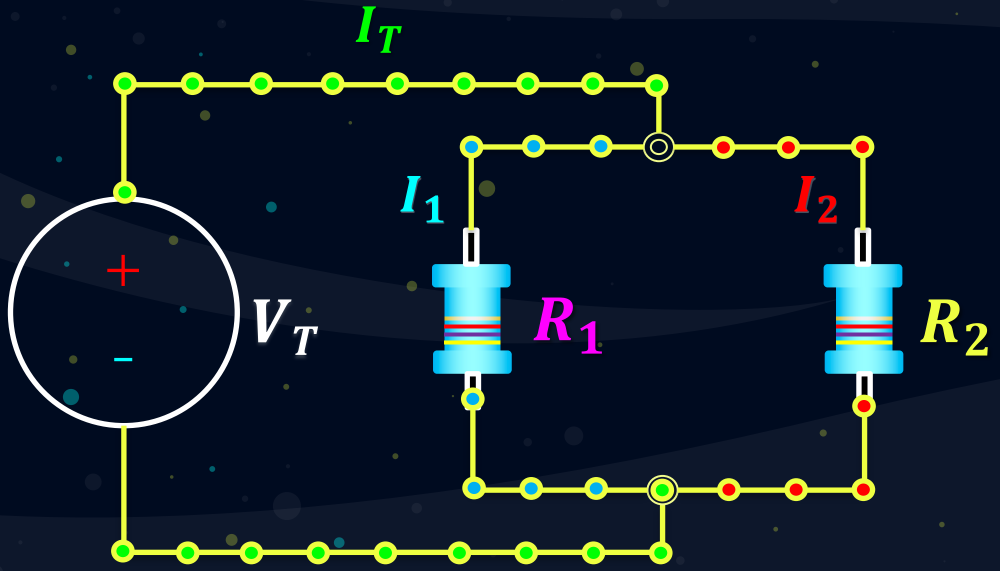

Utilizado em circuitos paralelos, onde a corrente se divide nos trechos:

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

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

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:

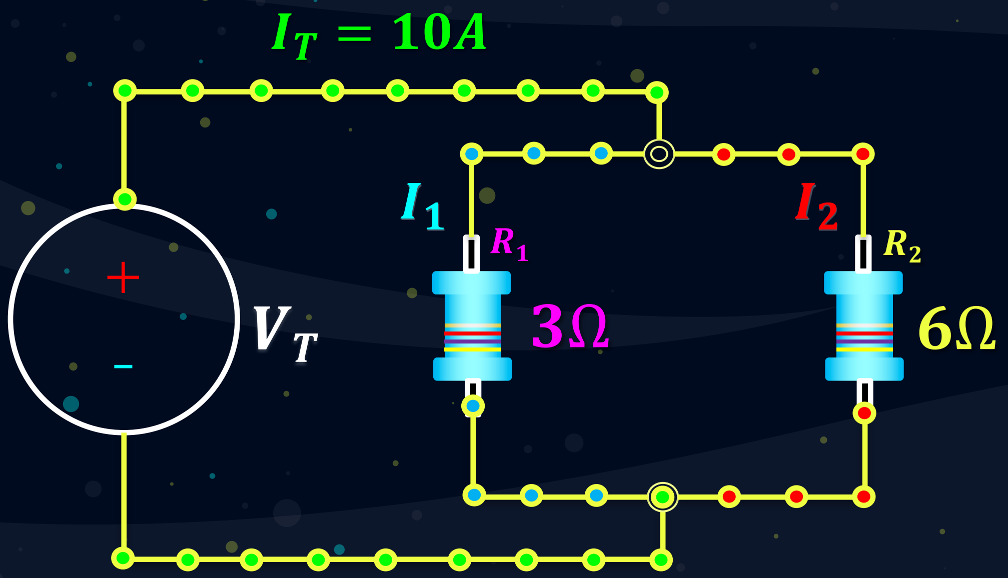
$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I_T$$

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

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

INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense
Campus
Passo Fundo

# Divisor de Corrente:




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

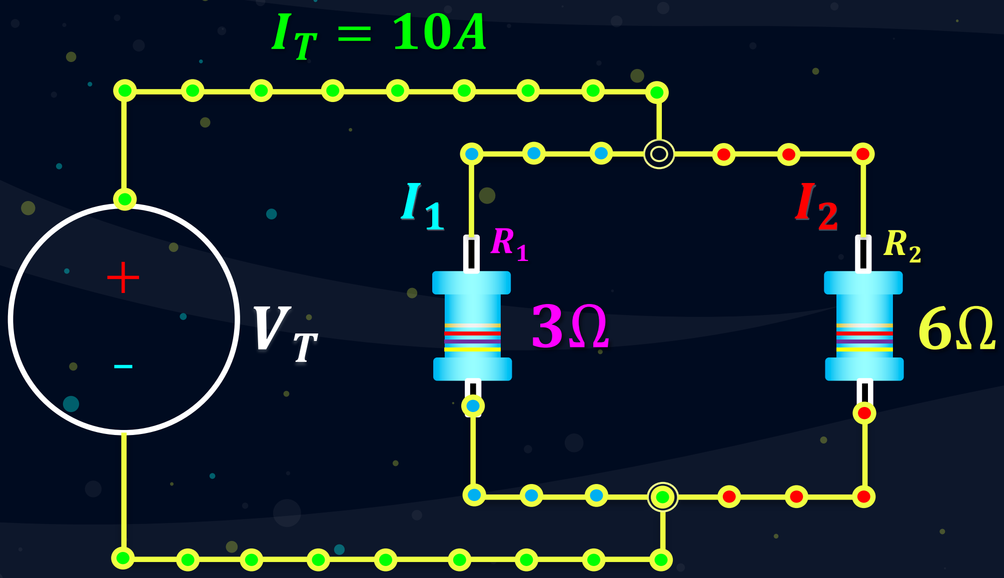
$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I_T$$

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

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


INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense
Campus Passo Fundo

# Divisor de Corrente:



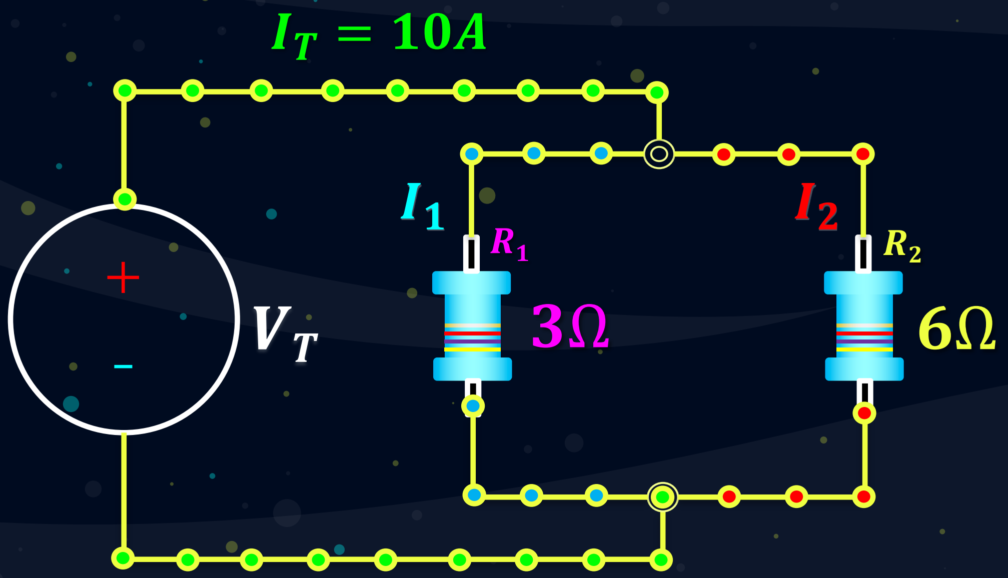

Calculamos a corrente $I_1$, para isso utilizamos o valor do Resistor do trecho oposto!

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

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

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

# Divisor de Corrente:

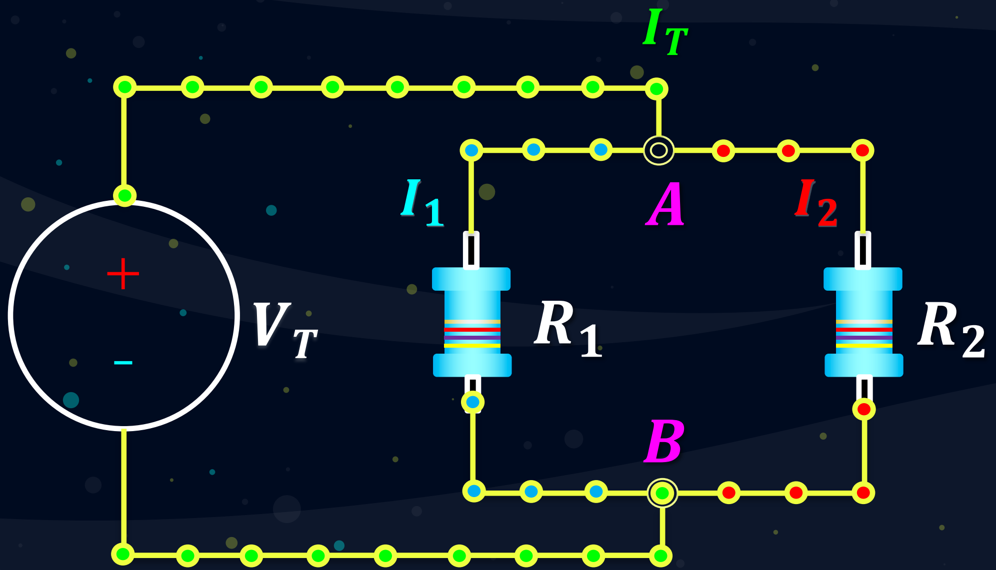



A soma de todas as correntes nos trechos deve ser igual à Corrente Total do circuito:

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

# Segunda Lei de Kirchhoff

# 2a. Lei de Kirchhoff:

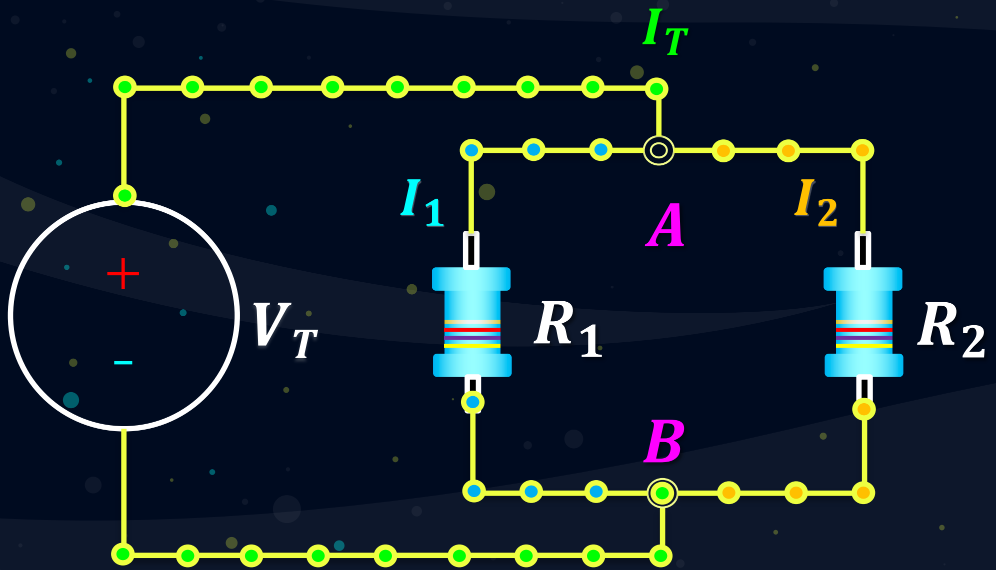



A soma de todas as correntes que entram e saem de um nó deve ser igual a zero!

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

INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense
Campus Passo Fundo

# 2a. Lei de Kirchhoff:

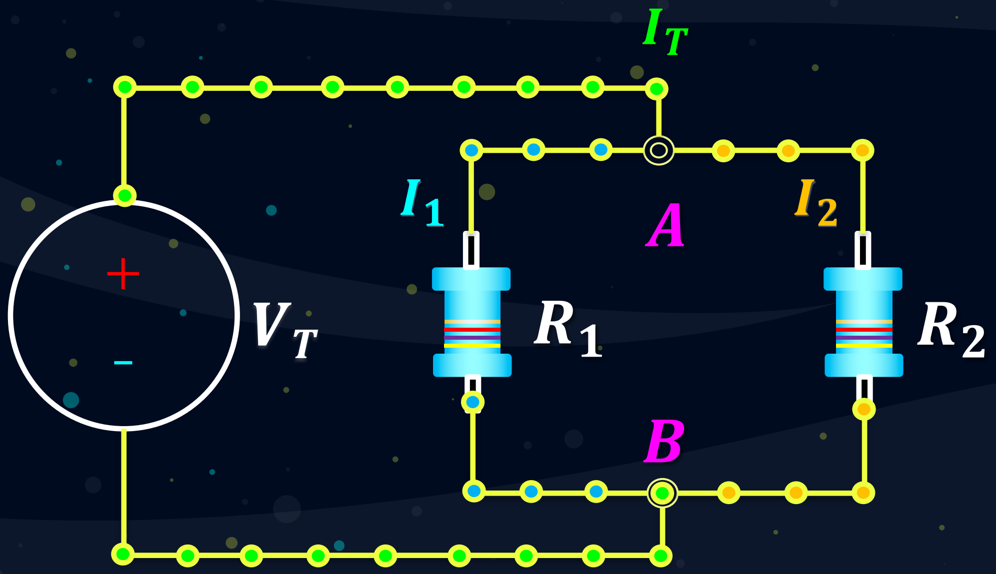



$$+I_T - I_1 - I_2 = 0$$


$$I_T = I_1 + I_2$$

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

Potência Trifásica

Triângulo das Potências

Fator de Potência (FP)

Correção do FP

Exemplo

## Revisão

Quiz – Casa

Exercícios - Casa

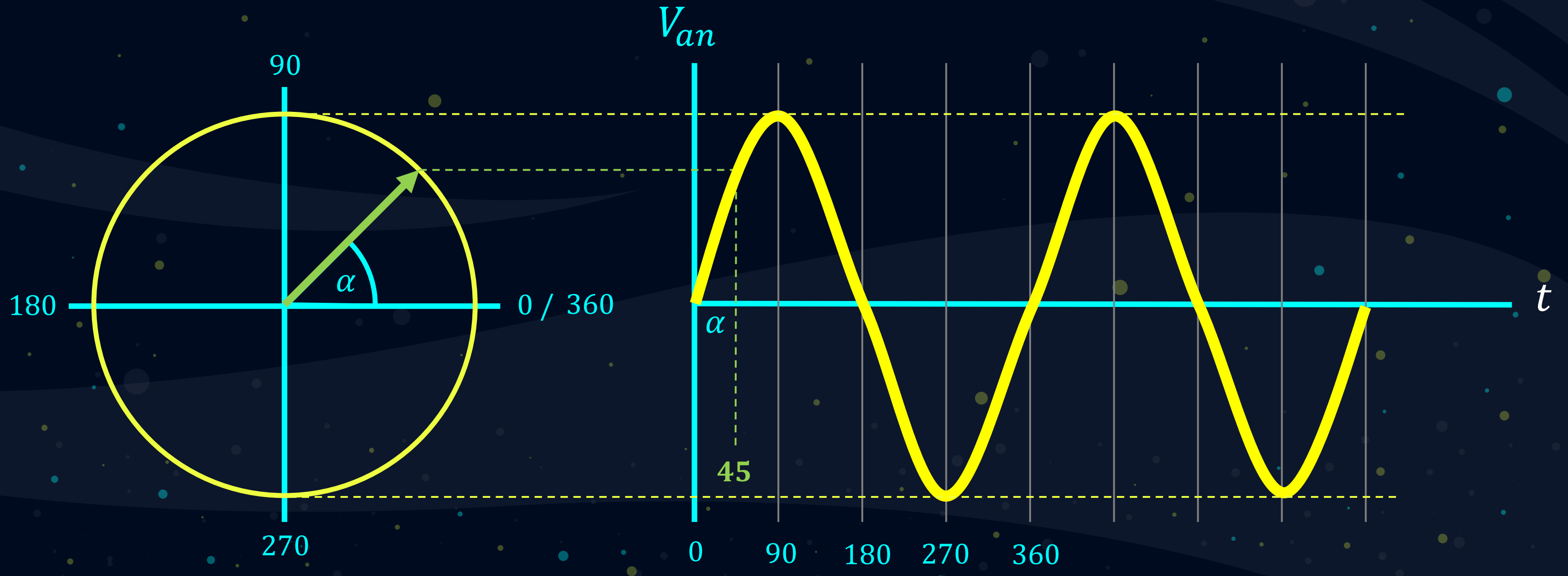
# Corrente Alternada

Eletromagnetismo

INSTITUTO FEDERAL
Sul-rio-grandense
Campus
Passo Fundo

Onda Senoidal

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

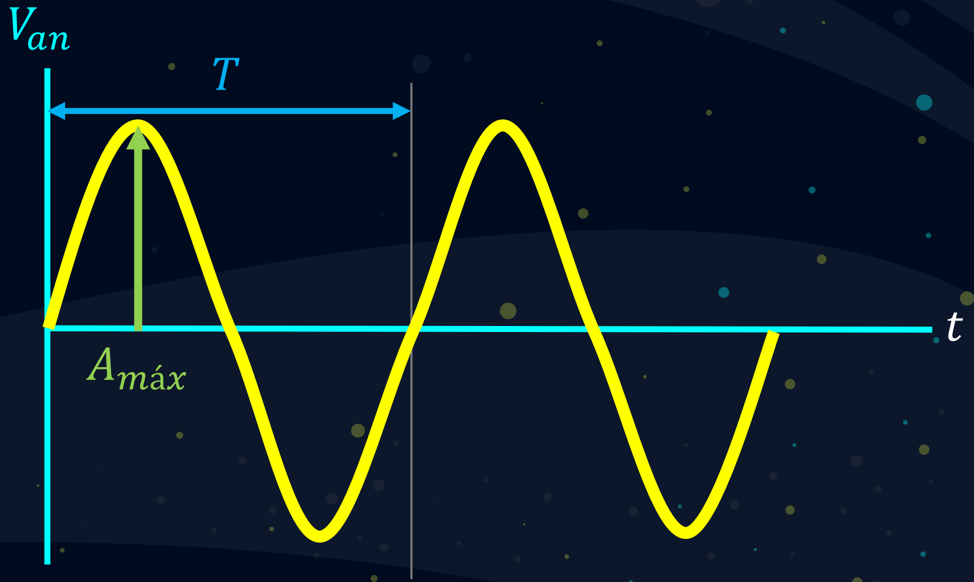


# Onda Senoidal

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.

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

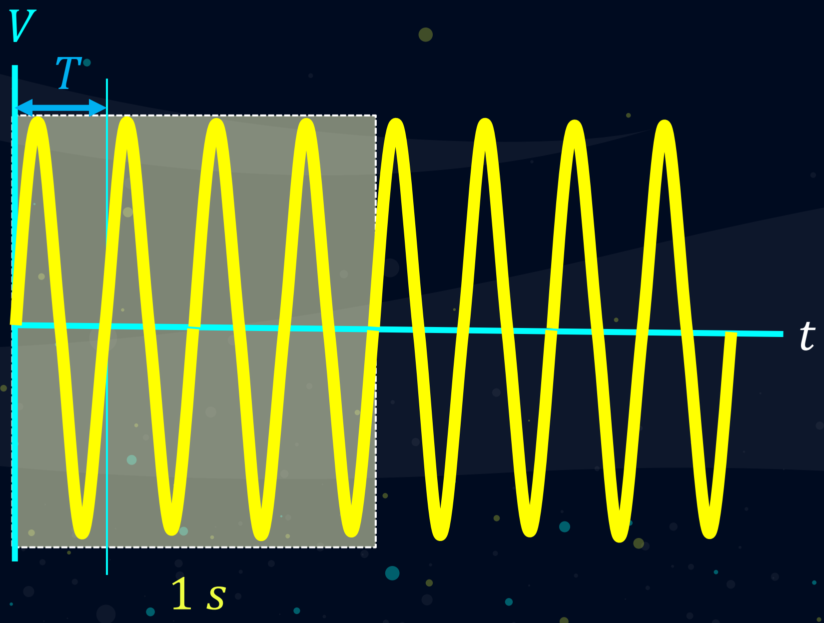
$$f(Hz) = \frac{1}{T(s)}$$

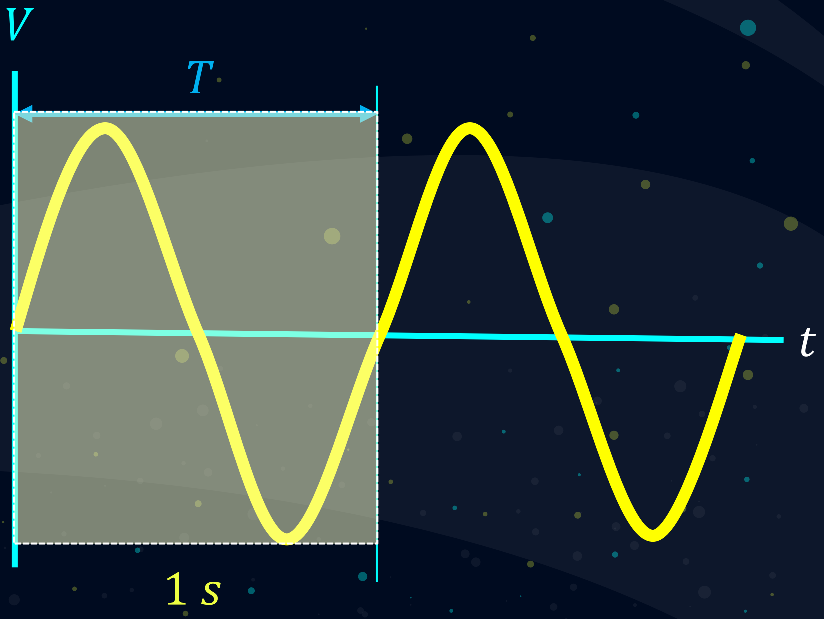


# Onda Senoidal

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.

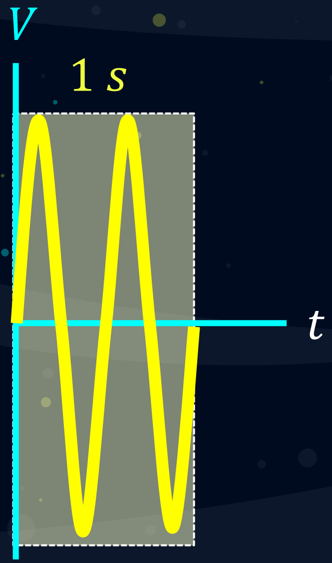
Frequência é a quantidade de ciclos completos em um segundo. A unidade de medida é Hertz (Hz).



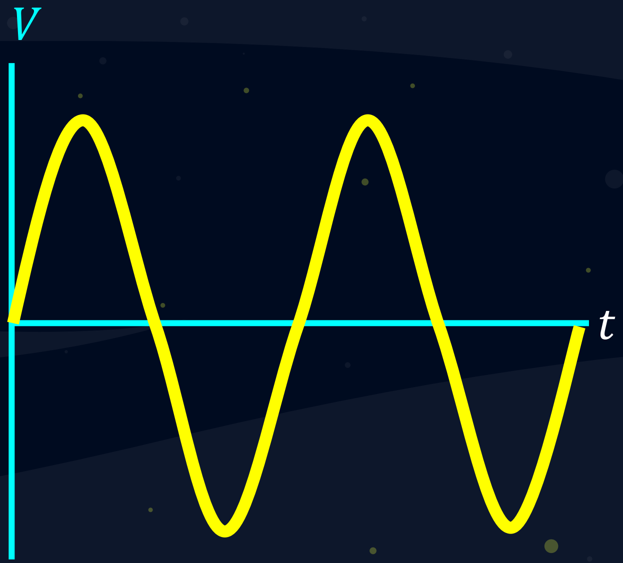
## Onda Senoidal

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



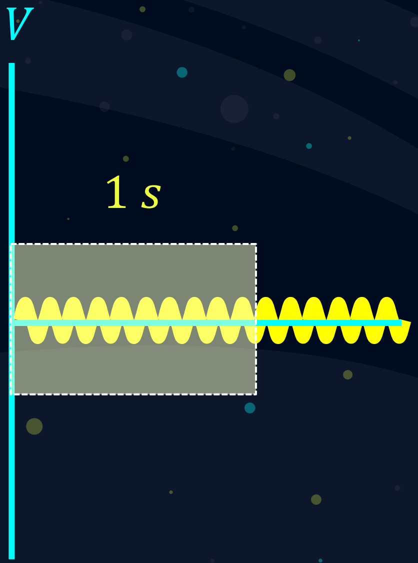

$f = ?\ Hz$

$T = ?\ s$




$T = 5\ s$

$f = ?\ Hz$

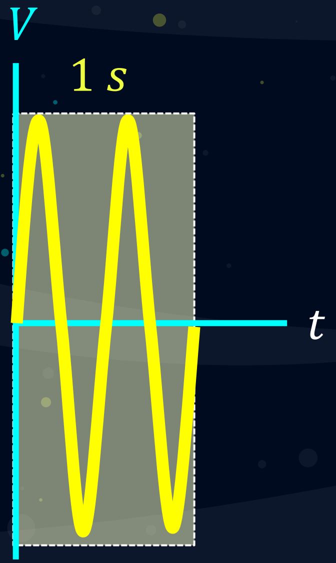


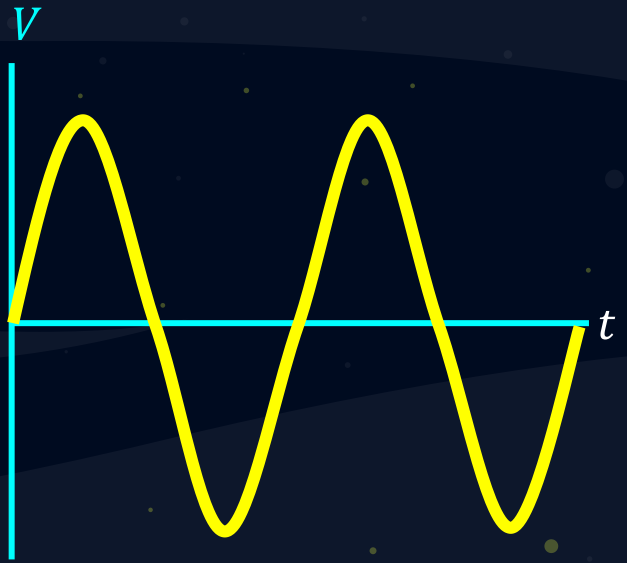

$f = ?\ Hz$

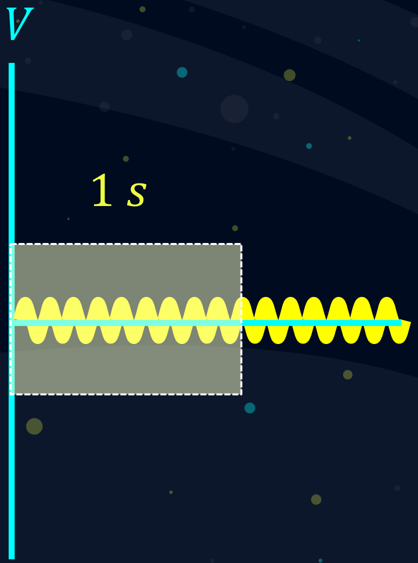
$T = ?\ s$

## Onda Senoidal

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




$f = 2\ Hz$

$T = 0{,}5\ s$

$T = 5\ s$

$f = 0{,}2\ Hz$

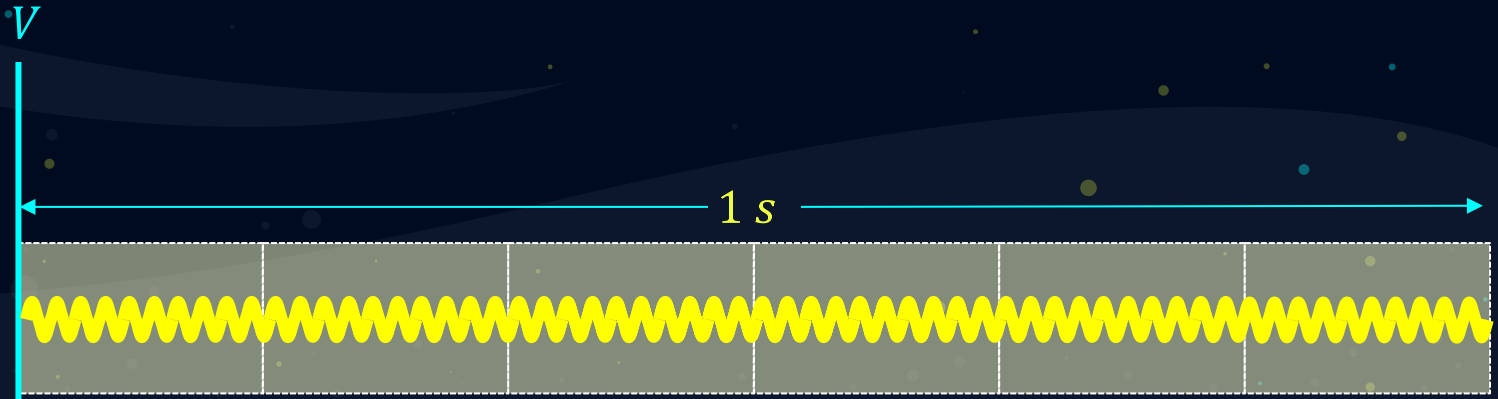
$f = 10\ Hz$

$T = 0{,}1\ s$

# Onda Senoidal

A frequência padronizada no Brasil é igual a $f = 60\ Hz$, 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.

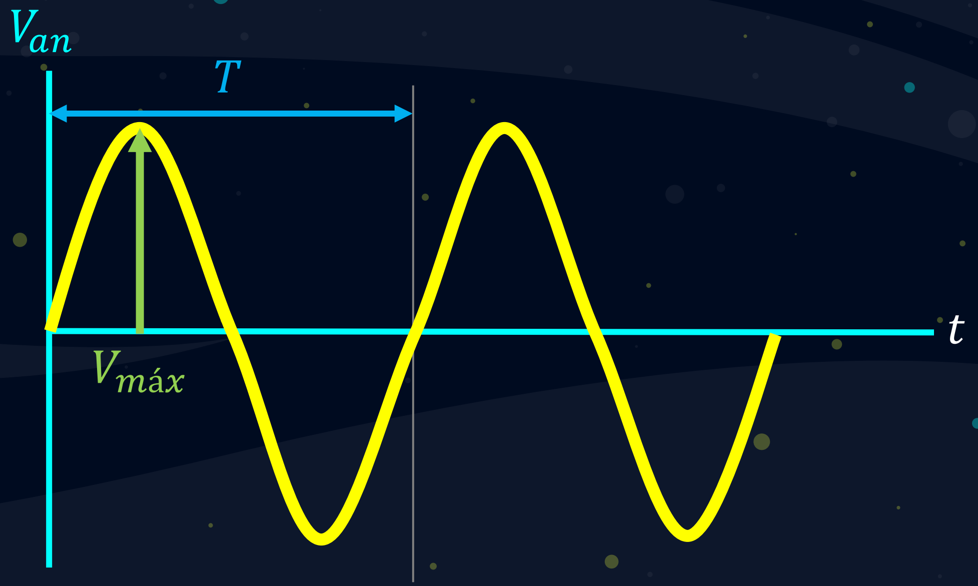



$$f = 60\ Hz$$

$$T = 0{,}01667\ s = 16{,}67\ ms$$

# Onda Senoidal

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

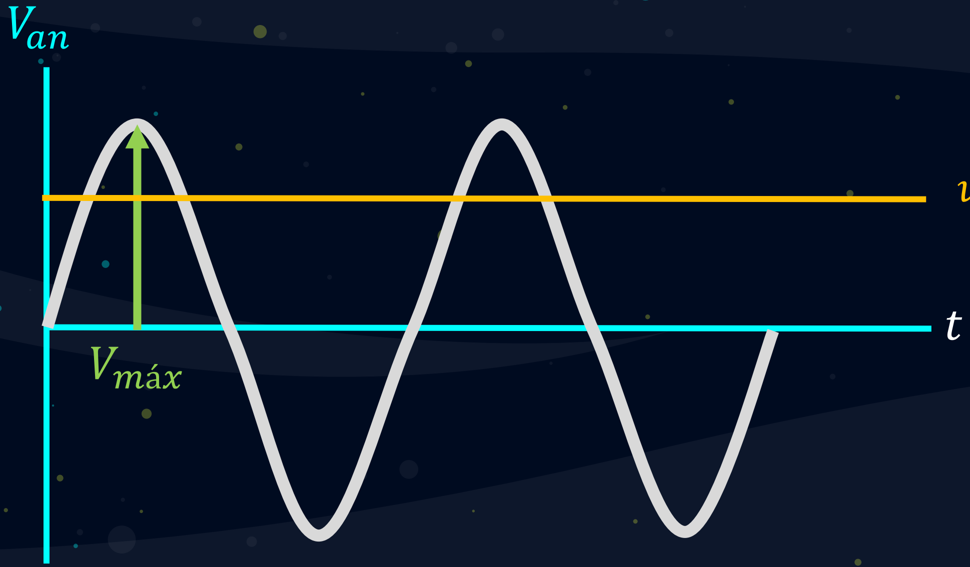



O valor instantâneo é o valor que a amplitude assume em um determinado instante (s). A equação da onda é apresentada a seguir:

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

# Onda Senoidal

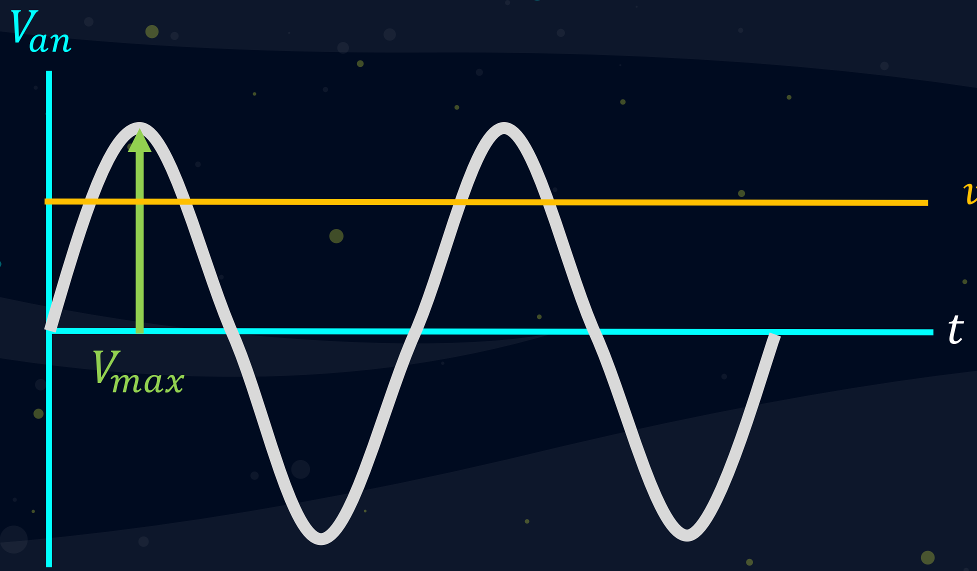
Um conceito importante é o Valor eficaz de uma forma de onda senoidal. O cálculo é realizado através da expressão:




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

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.

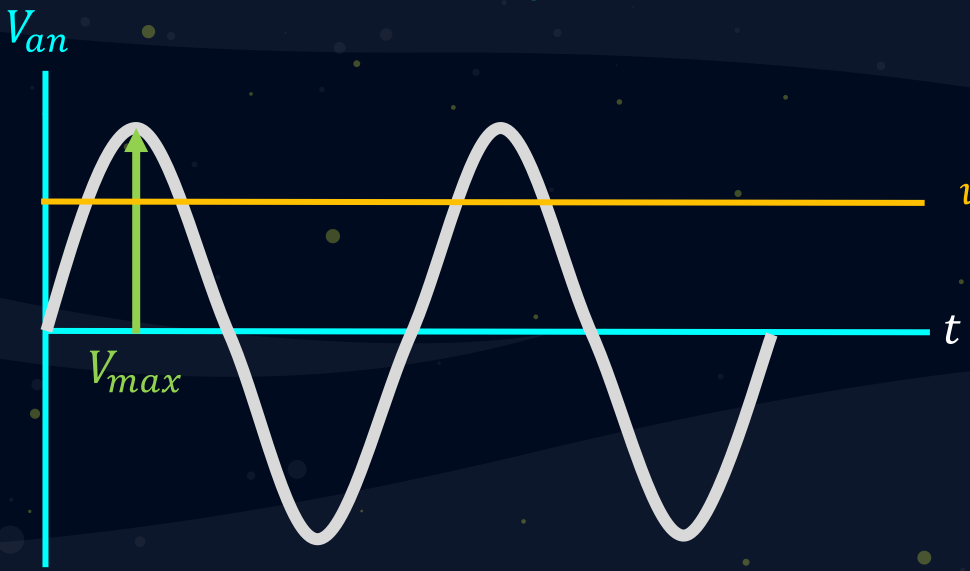
**Exemplos:** Considere as seguintes situações: $V_{max} = 100\text{V}$ e $V_{max} = 80\ V$




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

Onda Senoidal

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



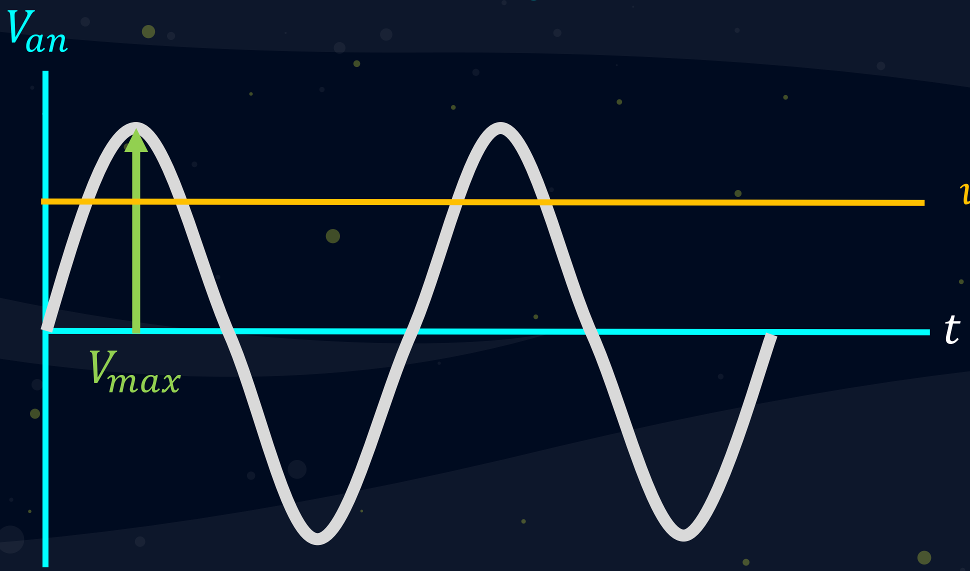

$$v_{ef} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = 0{,}707 \cdot V_{max}$$

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

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

Onda Senoidal

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



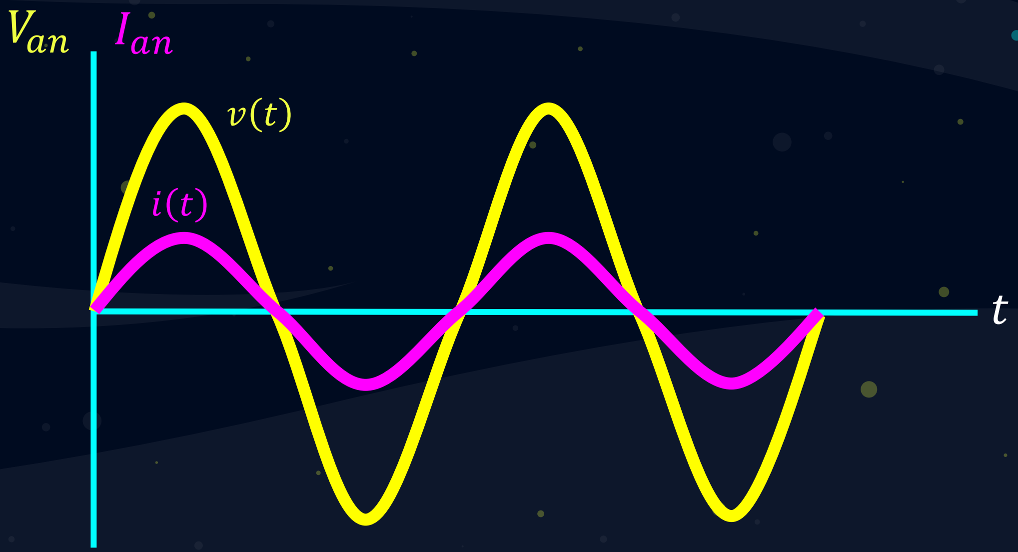

$$v_{ef} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = 0{,}707 \cdot V_{max}$$

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

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

# Onda Senoidal

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

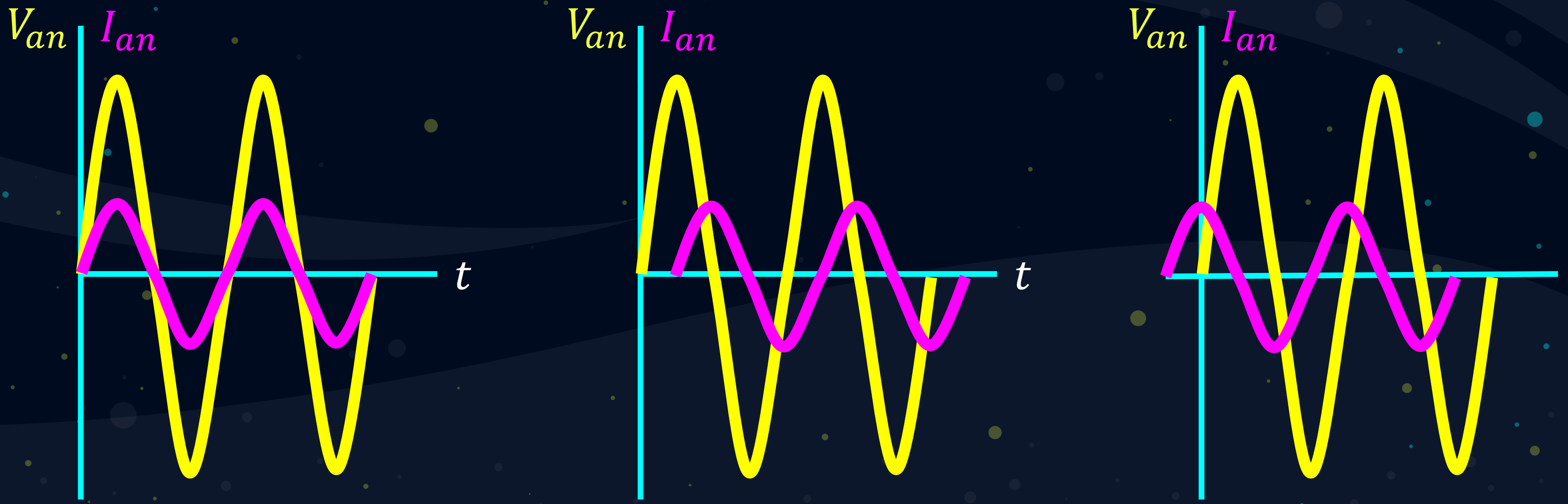



$$v(t) = V_{max}\,\text{sen}(\alpha + \theta)\ \text{V}$$

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

# Onda Senoidal

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:



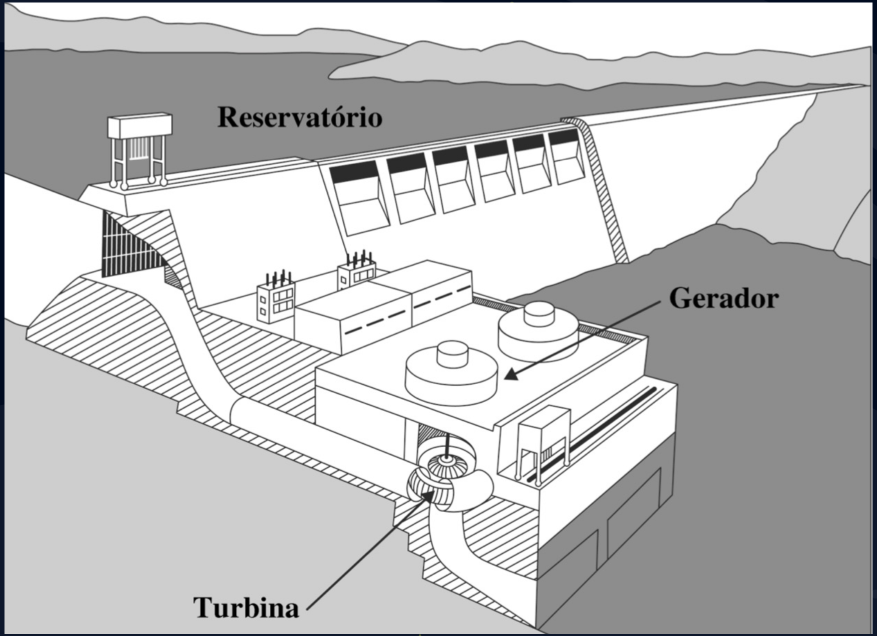

$v(t) = V_{max}\,\text{sen}(\alpha + \theta)\,\text{V}$
$i(t) = I_{max}\,\text{sen}(\alpha + \theta)\,A$

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

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

# 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

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 agua fria para transformar o vapor novamente em água e completar o ciclo.

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. `

# Transmissão de Energia:

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.

Sistemas Trifásicos

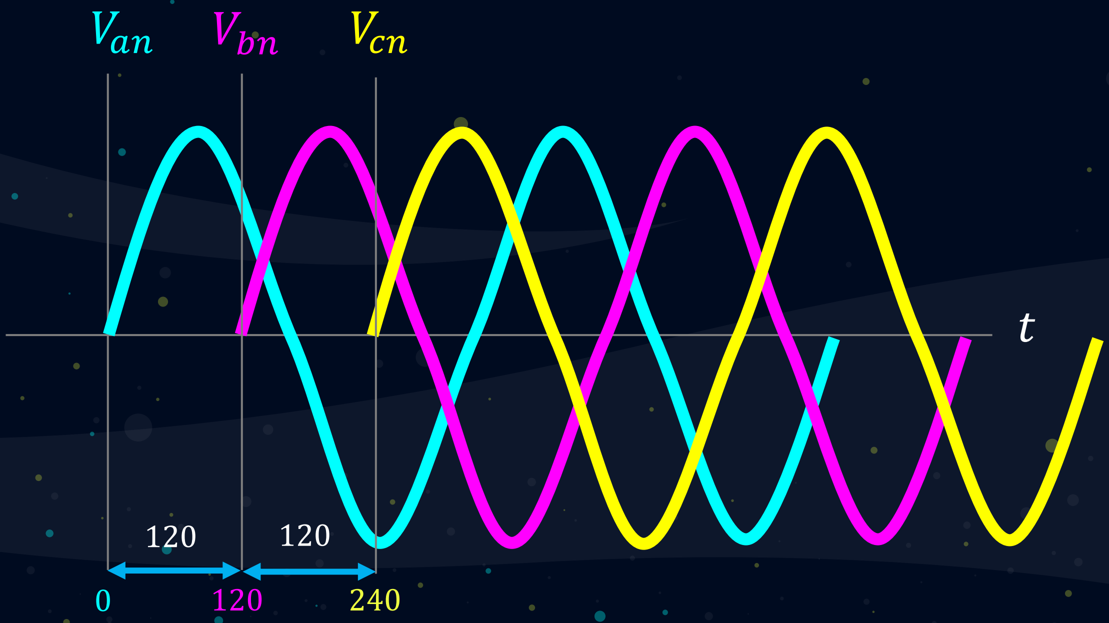
Os circuitos trifásicos são aqueles nos quais a alimentação é formado por um sistema trifásico de tensões.

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.

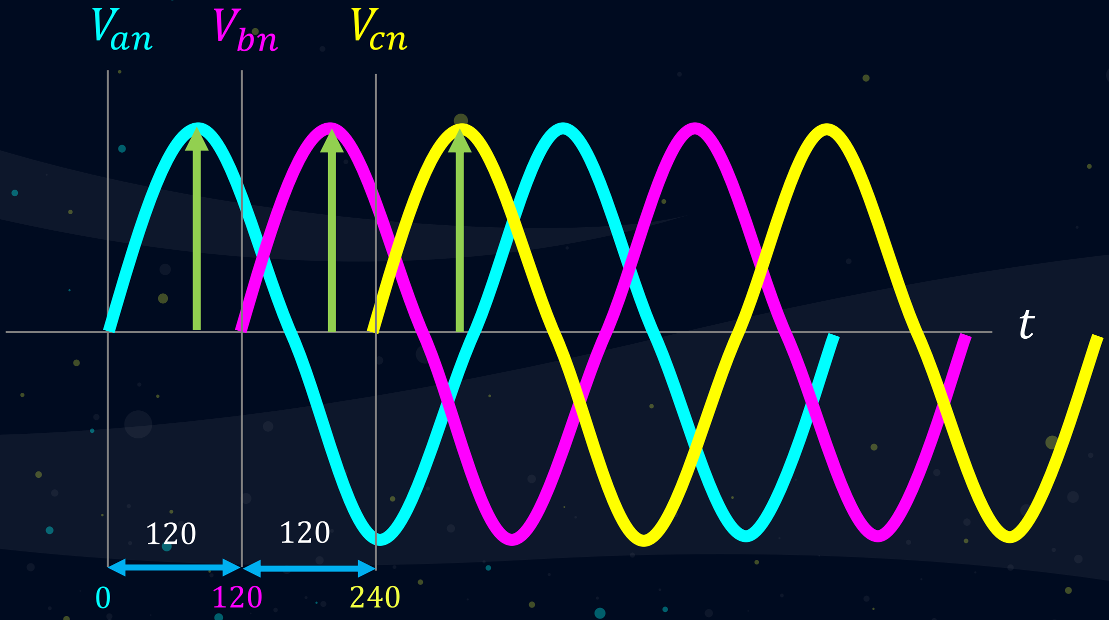
Sistemas Trifásicos

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



Sistemas Trifásicos

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



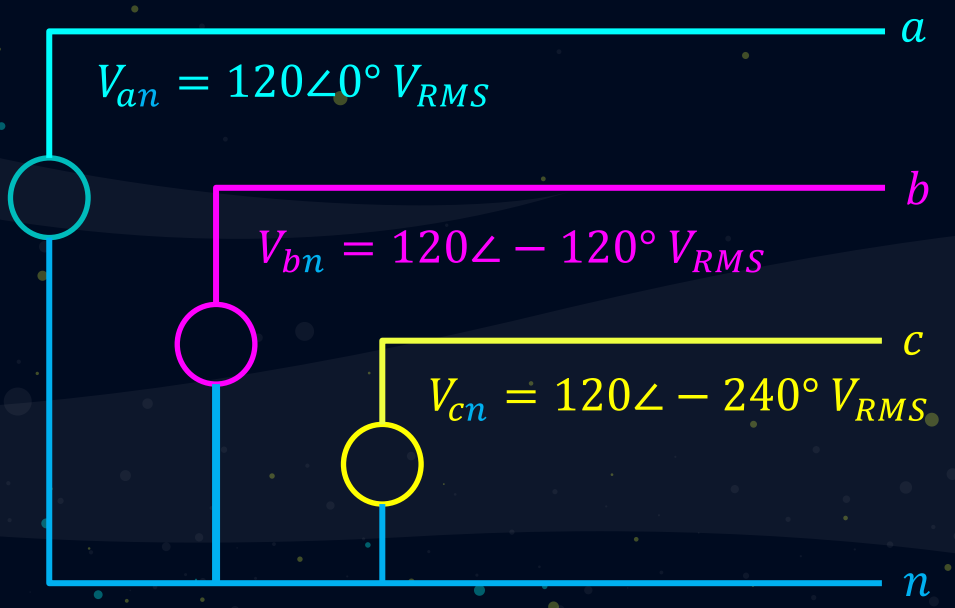

$V_{an} = V\angle 0° \; V_{RMS}$

$V_{bn} = V\angle -120° \; V_{RMS}$

$V_{cn} = V\angle -240° \; V_{RMS}$

Sistemas Trifásicos

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



# Conexões Trifásicas

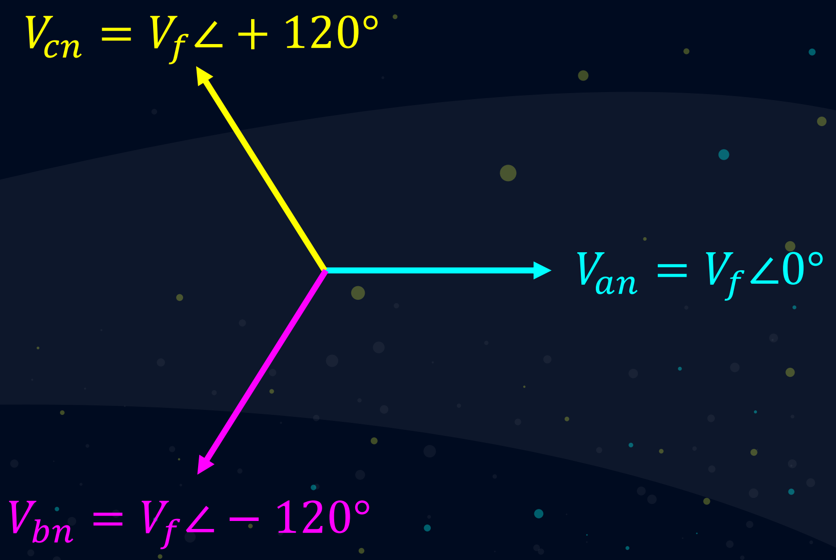
Uma das mais importantes fontes de alimentação de um sistema polifásico é a fonte trifásica balanceada. As tensões nesta configuração estão em fase, isto é, cada uma das linhas $a$, $b$ e $c$, referenciadas ao neutro estão:

O diagrama fasorial das tensões está apresentado a continuação:

$$V_{an} = V_f\angle 0°$$

$$V_{bn} = V_f\angle -120°$$

$$V_{cn} = V_f\angle +120°$$



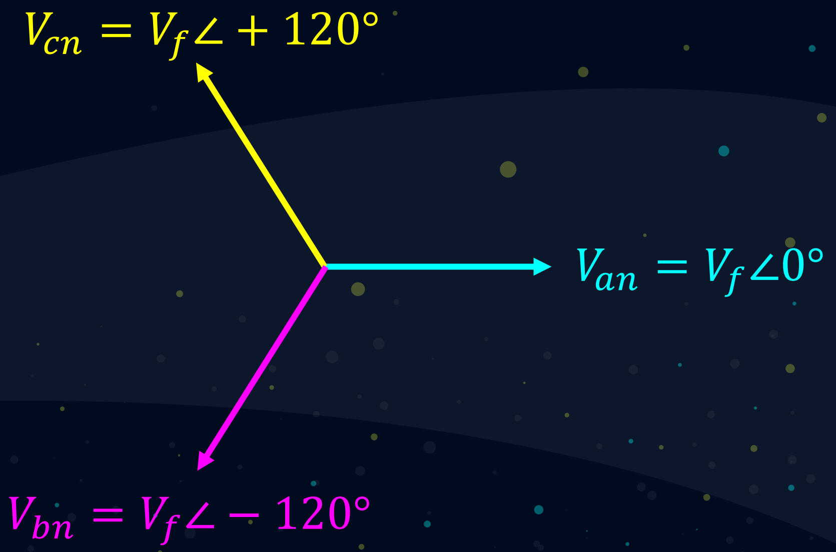
# Conexões Trifásicas

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.

$$V_{an} = V_f \angle 0°$$

$$V_{bn} = V_f \angle -120°$$

$$V_{cn} = V_f \angle +120°$$



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 $\angle V_{an} = 0°$.

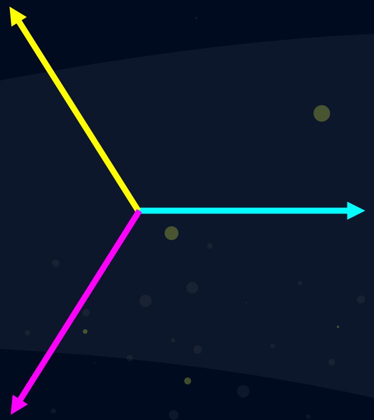
Uma propriedade importante deste conjunto de tensões em equilíbrio é:

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

$$V_{an} = V_f \angle 0°$$

$$V_{bn} = V_f \angle -120°$$

$$V_{cn} = V_f \angle +120°$$

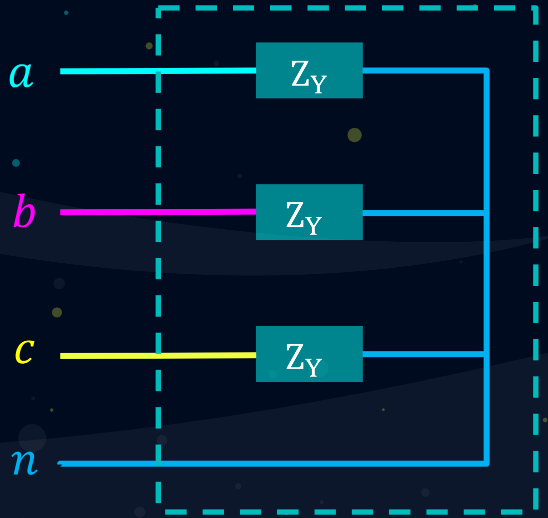


É oportuno salientar que se as tensões estão balanceadas e se as correntes geradas pela conexão de uma carga à fonte de alimentação, estas estarão também equilibradas.

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

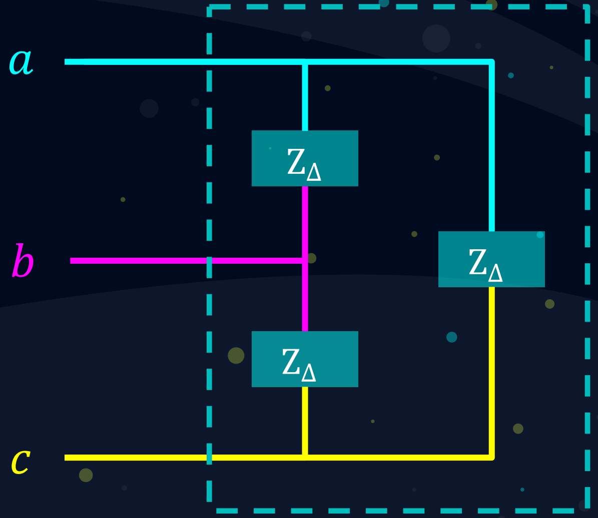
# Conexões Trifásicas

## Conexão Estrela ou Y:




Fornece um local de conexão à terra dos sistemas de proteção

## Conexão Delta (Δ):

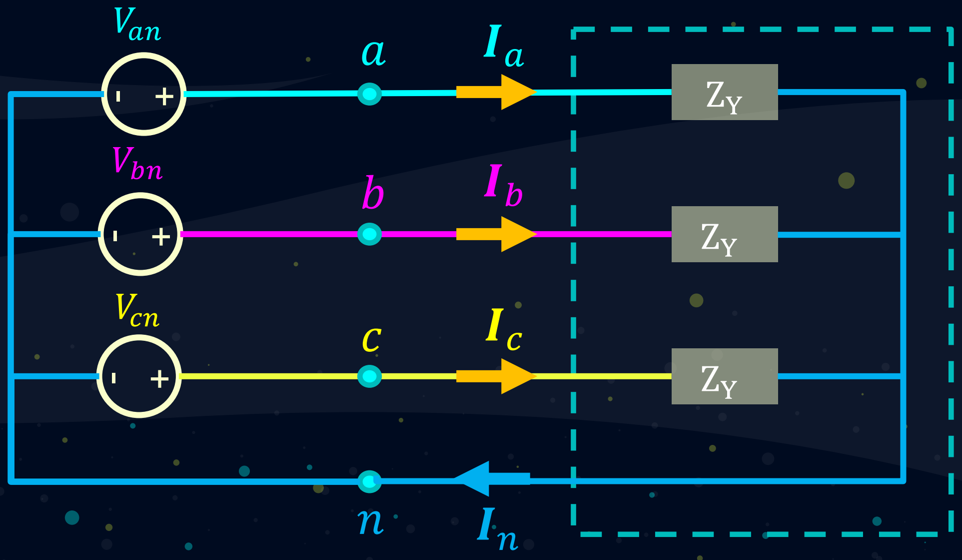



Melhor permanência de equilíbrio ao atender cargas desbalanceadas.

# Conexões Fonte/Carga

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 a carga estão ligados em $\mathbf{Y}$, as tensões (em sequência positiva) são:



Conexões Fonte/Carga

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:

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

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

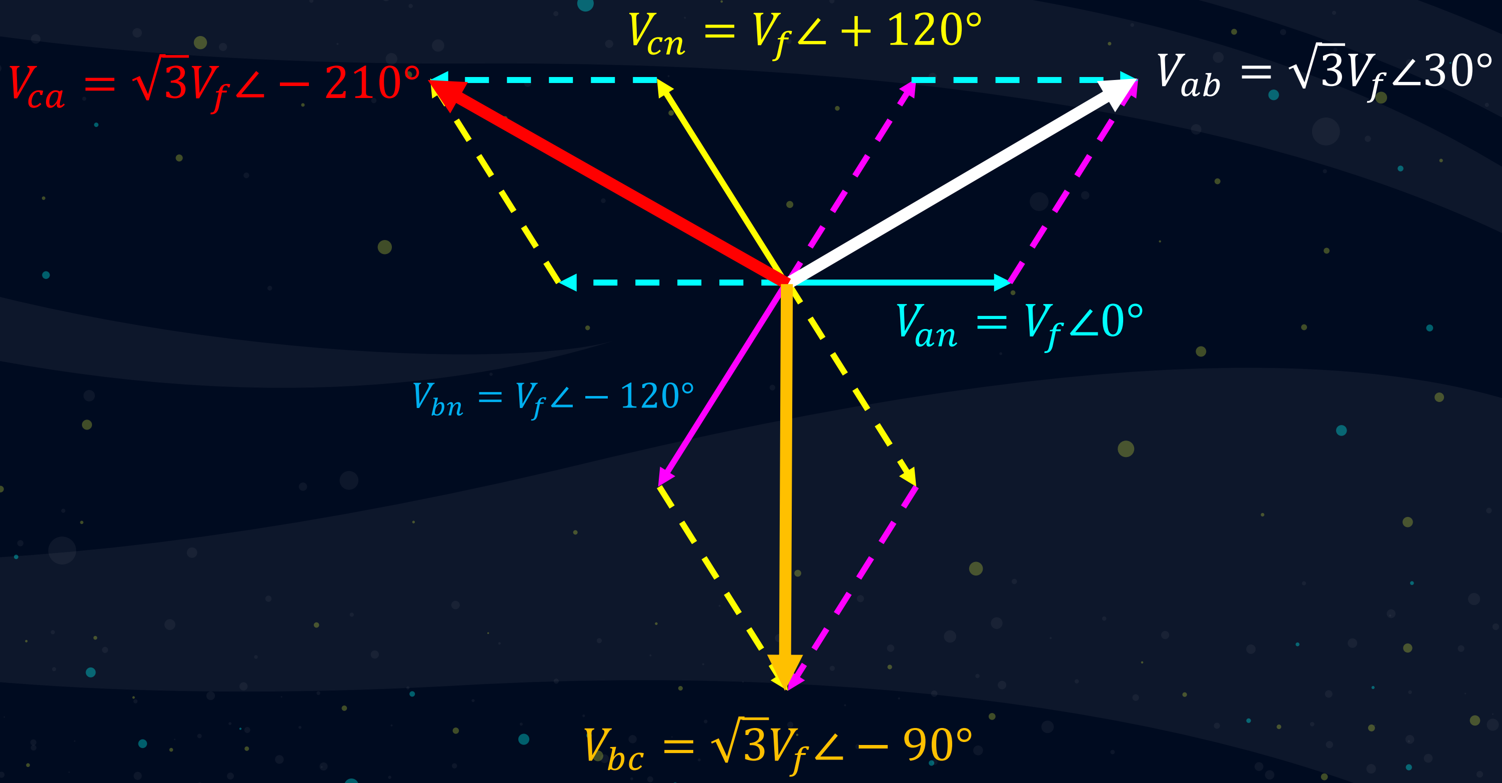
$$V_{ab} = \sqrt{3} \cdot V_f\angle 30°$$

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

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

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

# Conexões Fonte/Carga



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:

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

Em que $\boldsymbol{I_b}$ e $\boldsymbol{I_c}$ possuem a mesma magnitude de $\boldsymbol{I_a}$, porém estão defasadas de $\boldsymbol{I_a}$ em $\mathbf{120°}$ e $\mathbf{240°}$, 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 $\mathbf{Y - Y}$, 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:

$$I_L = I_Y$$

Exemplo:

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

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

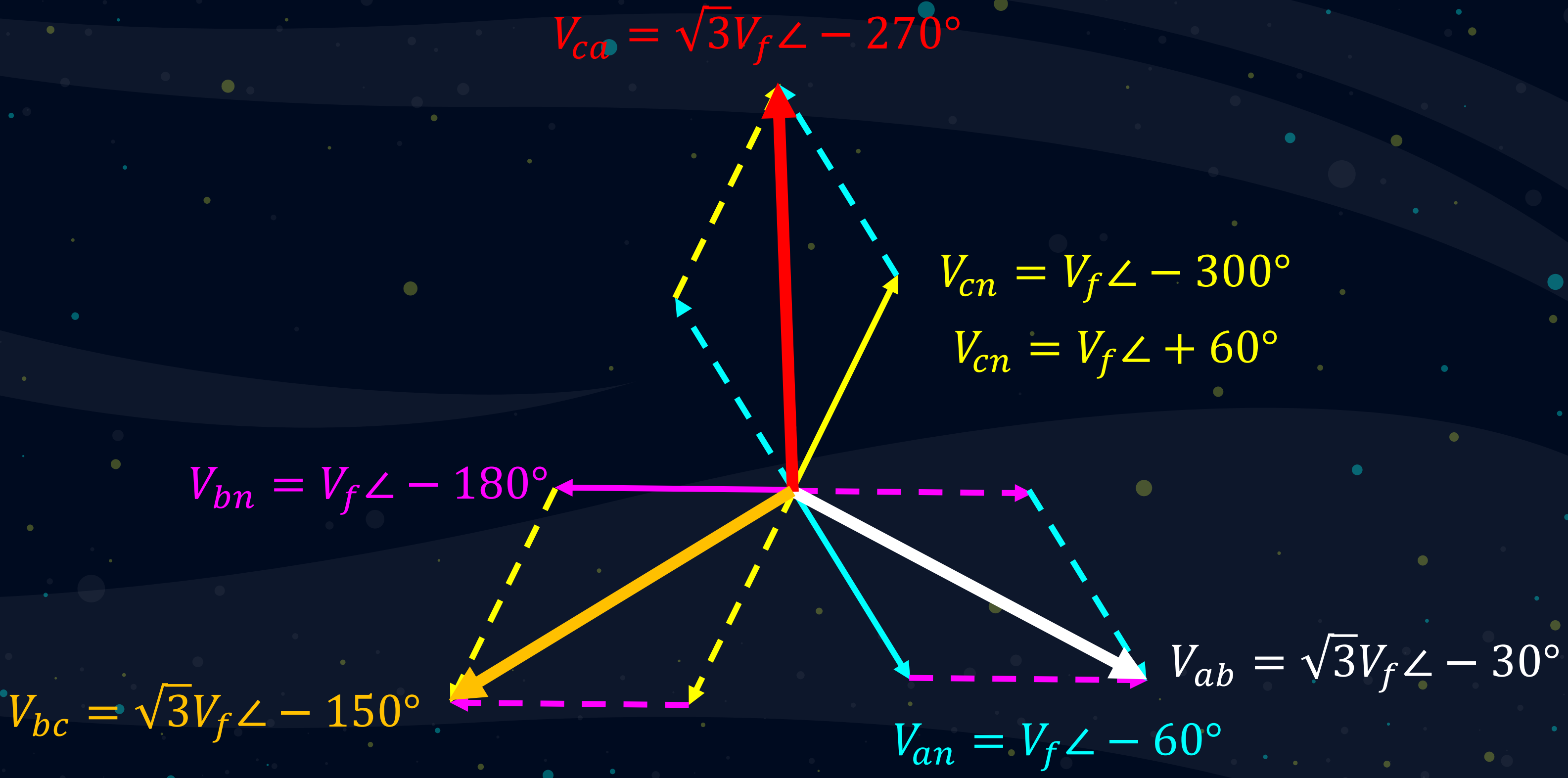
Como foi visto no diagrama fasorial, a tensão de linha está adiantada de 30 graus com relação à tensão de fase, levando isto em consideração, podem ser calculadas as tensões de fase.

$$V_{ab} = 208\angle -30° \qquad V_{an} = 120\angle -30° - 30° = 120\angle -60°\ V_{RMS}$$

$$V_{bc} = 208\angle -150° \qquad V_{bn} = 120\angle -150° - 30° = 120\angle -180°\ V_{RMS}$$

$$V_{ca} = 208\angle -270° \qquad V_{cn} = 120\angle -270° - 30° = 120\angle -300°\ V_{RMS}$$

# Exemplo:


$V_{ca} = \sqrt{3}V_f\angle -270°$
$V_{cn} = V_f\angle -300°$
$V_{cn} = V_f\angle +60°$
$V_{bn} = V_f\angle -180°$
$V_{ab} = \sqrt{3}V_f\angle -30°$
$V_{bc} = \sqrt{3}V_f\angle -150°$
$V_{an} = V_f\angle -60°$

# Dúvidas?

raul.sales@passofundo.ifsul.edu.br