

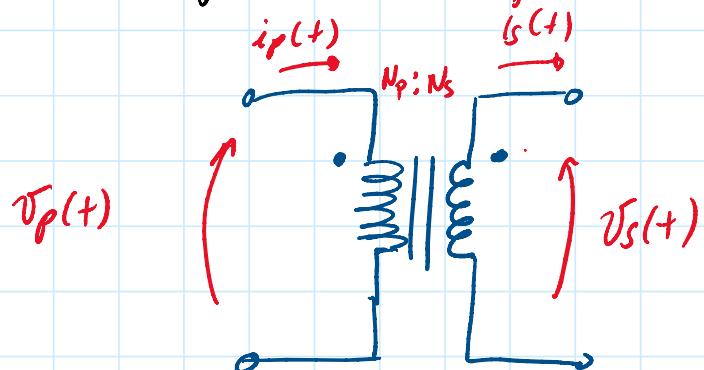
Aula 05 - Transformadores

quinta-feira, 6 de agosto de 2020 17:58

Transformadores

Os transformadores são dispositivos utilizados para alterar o nível de tensão e corrente em circuitos operando com tensões senoidais.

Um transformador é composto por um par de bobinas acopladas magneticamente por um núcleo, tipicamente ferromagnético para auxiliar na transferência de energia.



Símbologia do transformador

Os terminais onde se aplicam a tensão de entrada no transformador são chamados

de primários. Já os terminais onde aparece a tensão de saída são chamados de secundário. A eficiência do acoplamento magnético define o percentual da potência aplicada no primário que é transferida para o secundário. Em transformadores com núcleo ferromagnético, essa eficiência é próxima de 100%. É importante notar que o transformador é um dispositivo passivo, ou seja, ele não fornece energia ao sistema.

Isso significa que a potência no primário do transformador será igual à potência no secundário, caso a eficiência no acoplamento magnético seja de 100%. Logo, caso a tensão no secundário seja maior que no primário,

no secundário seja maior que no primário, a corrente no secundário será proporcionalmente menor.

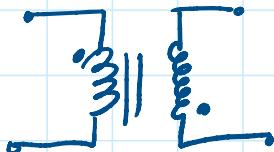
Os pontos que aparecem próximos às bobinas na representação do transformador indicam a fase entre as tensões de entrada e saída.

O sinal de saída pode estar em fase com o sinal de entrada, o que é representado por:



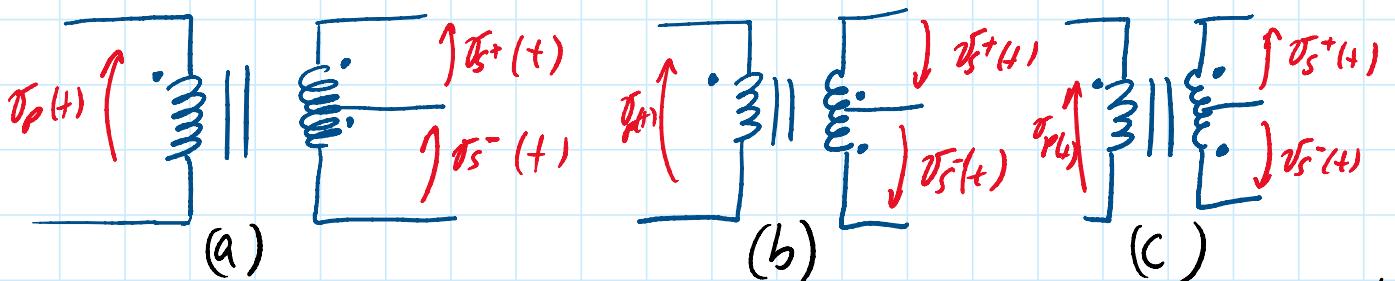
Isso é obtido observando o sentido do enrolamento do primário e do secundário

O sinal de saída também pode estar em contra-fase, o que é simbolizado por



Os transformadores também podem apresentar um terminal central no secundário, que normalmente divide a bobina no secundário

ao meio e é usado com referência para o nôral de saída. Isso pode resultar em algumas varrações, conforme visto a seguir:



Na primeira e na segunda variações, o enrolamento de bobina do secundário mantém o mesmo sentido, seja em fase (caso "a"), seja em contra-fase (caso "b"). Já na terceira variação (caso "c"), o enrolamento do secundário muda de sentido após o terminal central.

As relações de tensão e corrente entre o

primário e o secundário de um transformador são dadas em função do número de espiras em suas respectivas bobinas.

Seja N_p o número de espiras na bobina do primário e N_s o número de espiras na bobina do secundário. A relações entre os módulos das tensões fatoriais de entrada e de saída são dadas por:

$$\frac{|V_p|}{|V_s|} = \frac{N_p}{N_s}$$

A defasagem entre as tensões será dada pelo sentido do enrolamento

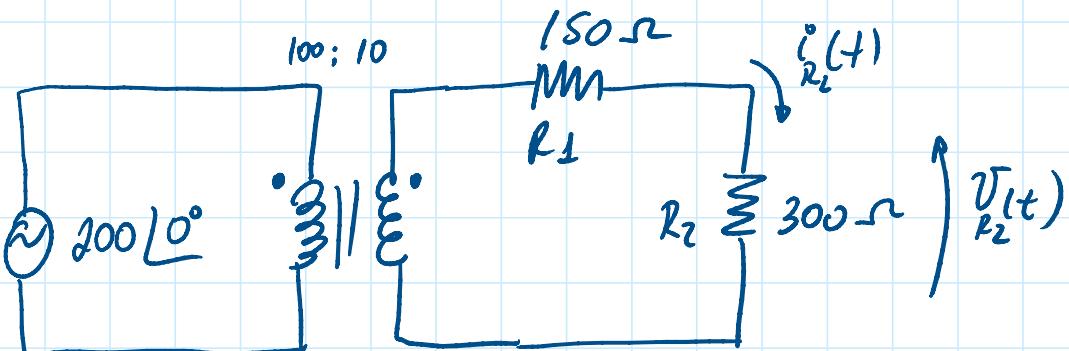
A relação entre os módulos das correntes fatoriais de entrada e de saída é dada por:

$$\frac{|I_p|}{|I_s|} = \frac{N_s}{N_p}$$

Note que, no caso de um transformador

Note que, no caso de um transformador com terminal central, o número de espiras em cada metade do secundário será $N_s/2$.

Exemplo: encontre a tensão e a corrente no resistor R_2 do circuito abaixo



Como as tensões nos terminais do transformador estão em fase, pode-se definir:

$$\frac{|V_p|}{|V_s|} = \frac{N_p}{N_s} \therefore \frac{200}{|V_s|} = \frac{100}{10} \therefore |V_s| = \frac{200 \times 10}{100}$$

$$V_s = 20 L^0$$

$$I_s = I_{R_2} = \frac{V_s}{R_1 + R_2} = \frac{20 L^0}{150 + 300} = 44,44 L^0 \text{ mA}$$

$$V_{R2} = I_{R2} \cdot R_2 = 44,44 \times 10^3 \angle 0^\circ \times 300$$

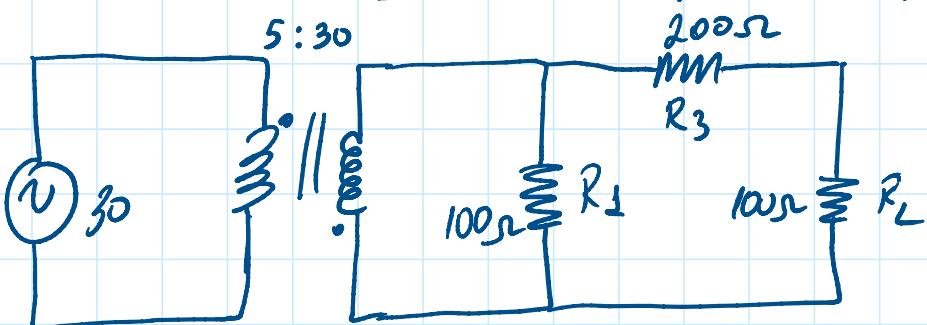
$$V_{R2} = 13,33 \angle 0^\circ \text{ V}$$

Portanto:

$$v_{R2}(t) = 13,33 \sin(\omega t) \text{ V}$$

$$i_{R2}(t) = 44,44 \sin(\omega t) \text{ A.}$$

Exemplo: Encontre a tensão e a corrente no resistor R_L do circuito abaixo.



O módulo da tensão no secundário é dado por

$$\frac{|V_S|}{|V_{S1}|} = \frac{N_P}{N_S} \therefore \frac{30}{|V_{S1}|} = \frac{5}{30} \therefore |V_{S1}| = \frac{30 \times 30}{5}$$

$$|V_{S1}| = 180 \text{ V}$$

Como o secundário está em contra-fase,

$$V_S = 180 \angle 180^\circ \text{ com } 180 \angle \pi$$

A tensão em R_L é

$$V_{RL} = \frac{V_S \times R_L}{R_3 + R_L} = \frac{180 \angle 180^\circ \times 100}{200 + 100} = 60 \angle 180^\circ \text{ V}$$

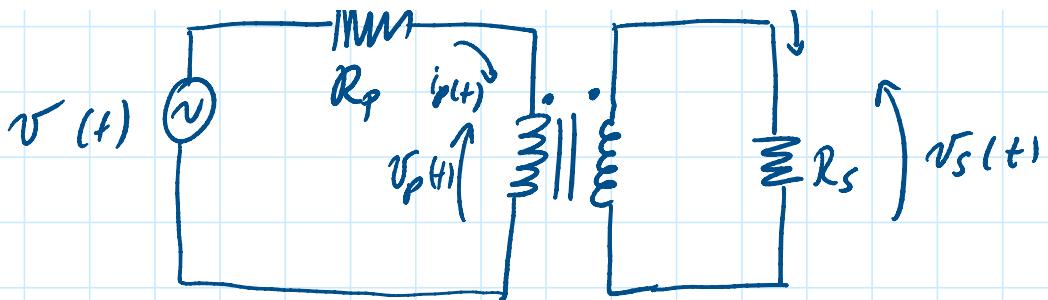
$$I_{RL} = \frac{V_{RL}}{R_L} = \frac{60 \angle 180^\circ}{100} = 0,6 \angle 180^\circ \text{ A}$$

$$v_{RL}(t) = 60 \sin(\omega t + \pi) \text{ V}$$

$$i_{RL}(t) = 0,6 \sin(\omega t + \pi) \text{ A}$$

Um modelo equivalente para o circuito com transformador pode ser obtido refletindo-se as impedâncias, tensões e correntes para o primário ou para o secundário. Considere o seguinte caso





$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad \therefore \quad V_p = V_s \frac{N_p}{N_s}$$

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad \therefore \quad I_p = I_s \frac{N_s}{N_p}$$

Portanto, a impedância R_s pode ser refletida para o primário como:

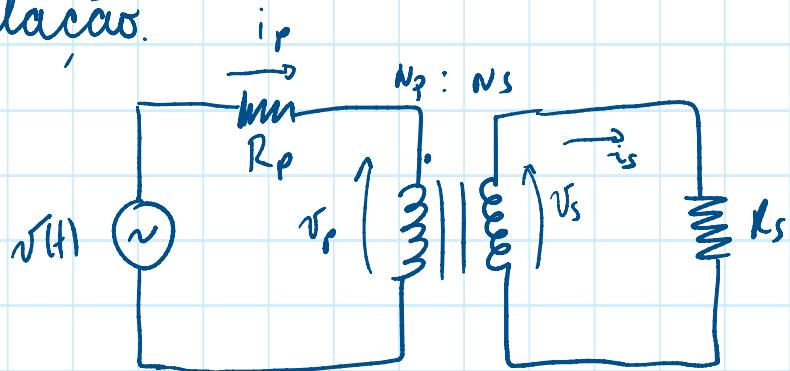
$$R_s' = \frac{V_p}{I_p} = V_s \frac{N_p}{N_s} \frac{N_p}{I_s N_s}$$

$$R_s' = \left(\frac{N_p}{N_s} \right)^2 R_s$$

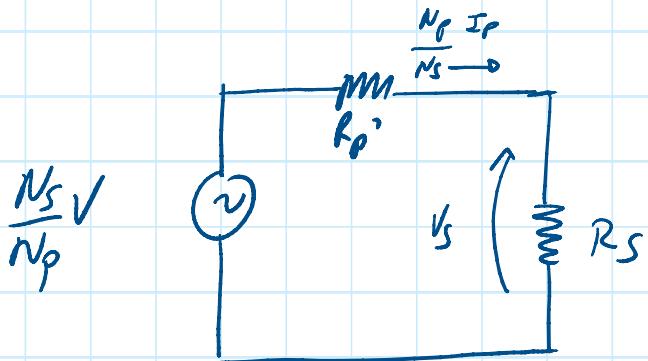
Para refletir a resistência do secundário para o primário, basta multiplicá-la pelo quadrado da relação de espiras do primário pelo secundário.

Para refletir a tensão, corrente e impedância para o secundário, pode-se usar a seguinte relação: i_p

relação.



$$R_p = \frac{V - V_p}{I_p}$$



$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

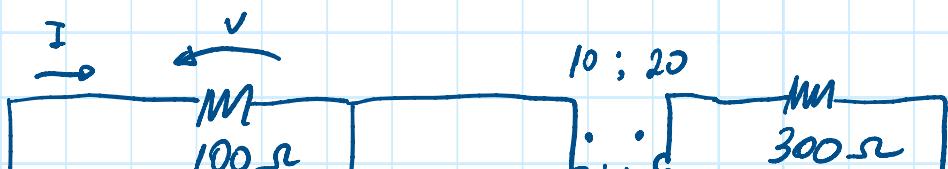
$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

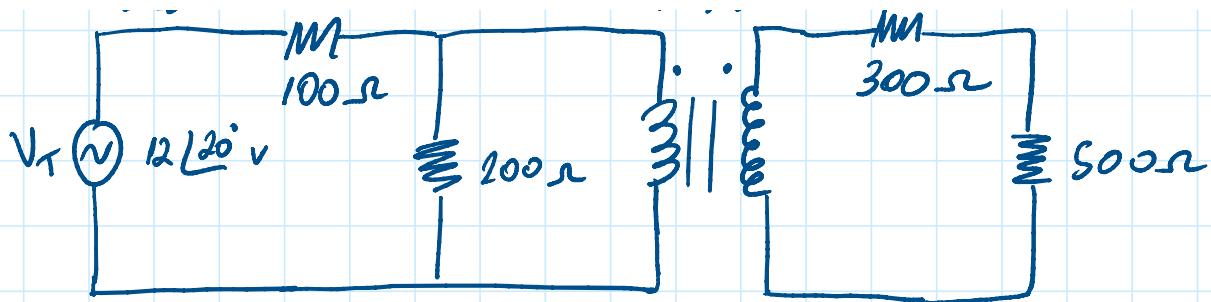
$$R_p' = \frac{\frac{N_s}{N_p} V - \frac{N_s}{N_p} V_p}{\frac{N_p}{N_s} I_p} = \frac{N_s}{N_p} \left[\frac{V - V_p}{I_p} \right] \frac{N_s}{N_p}$$

$$R_p'' = \left(\frac{N_s}{N_p} \right)^2 R_p$$

Para refletir a impedância do primário para o secundário, basta multiplicá-la pelo quadrado da relação de espiras do secundário pelo primário.

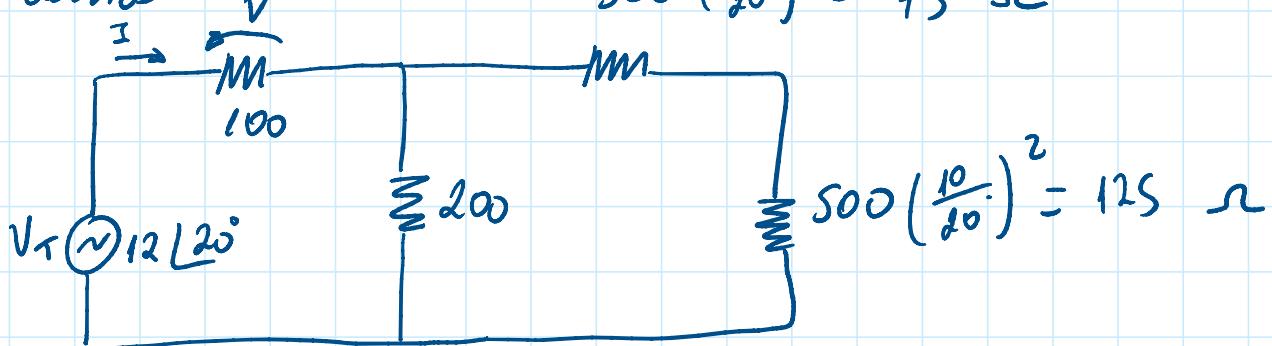
Exemplo: Encontre tensões e corrente indicadas no circuito abaixo:





Refletindo as impedâncias para o primário,

temos:



$$R_{eq} = (75 + 125) // 200 + 100 = 200 \text{ } \Omega$$

$$I = \frac{V_L}{R_{eq}} = \frac{12 L 20^\circ}{200} = 60 L 20^\circ \text{ mA}$$

$$V = 100 \cdot I \quad \therefore \quad V = 100 \cdot 60 \times 10^3 L 20^\circ$$

$$V = 6 L 20^\circ \checkmark$$