

SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO COM TRÊS FIOS

Você já notou como é feita a distribuição da energia em sua casa?

Se você mora em São Paulo, por exemplo, observará que na entrada de sua casa existe uma caixa de distribuição de energia, que está ligada aos fios do transformador da concessionária, normalmente fixado no poste.

A distribuição de energia em baixa tensão depende da região que você mora e do sistema adotado pela concessionária local.

Desta forma, o transformador de distribuição vai fornecer as tensões de linha necessárias, normalmente pela NBR 5410:04 - Instalações elétricas de baixa tensão - procedimento.

Na maioria das cidades brasileiras o padrão de distribuição em baixa tensão é de 220V trifásico.

Assim você tem as seguintes tensões disponíveis na rua ou na sua casa (dependendo da sua carga instalada):

- 220V (fase-fase-fase) trifásico;
- 220V (fase-fase)
- 127V (fase-neutro) monofásico.

Algumas cidades adotam o sistema de distribuição em baixa tensão de 380V trifásico, onde na sua casa tudo tem que ser em 220V, a não ser que seja utilizado um transformador de 220v para 127V.

Assim, as tensões estarão distribuídas da seguinte forma:

- 380V (fase-fase-fase) trifásico;
- 380V (fase-fase) monofásico;
- 220V (fase-neutro) monofásico.

Como os sistemas de distribuição que saem dos transformadores são trifásicos utiliza-se o fator $\sqrt{3} \approx 1,73$ para calcular a tensão entre *Fase + Neutro*.

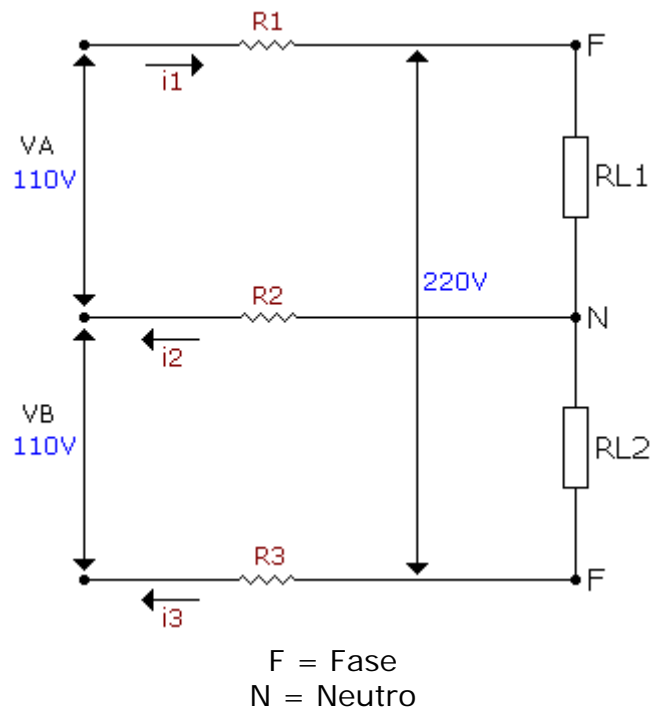
Num sistema de distribuição de 220V a tensão de Fase + Neutro é de 127V, pois $\frac{220V}{\sqrt{3}}$
= 127V. Basta dividir o valor da tensão de linha pelo valor da raiz quadrada de 3.
Em sistemas com distribuição em 380V:

$$F + N = 380V \div \sqrt{3} (1,73) = 220V$$

O consumo em ambas as tensões, 127V (nominalmente 110V ¹) e 220V é o mesmo.

A diferença é que em 220V tem-se uma corrente menor circulando pelo circuito e conseqüentemente uma seção de cabo menor, que dependendo do tipo de instalação pode gerar uma economia significativa

Veja no diagrama abaixo um sistema de distribuição com 3 fios, normalmente usado em uma residência.



Levando-se em conta a mesma bitola de fio e a mesma distância, então: $R1 = R2 = R3 = R$

Pela carga $RL1$ circula a corrente $i1$ e pela carga $RL2$ circula a corrente $i3$.

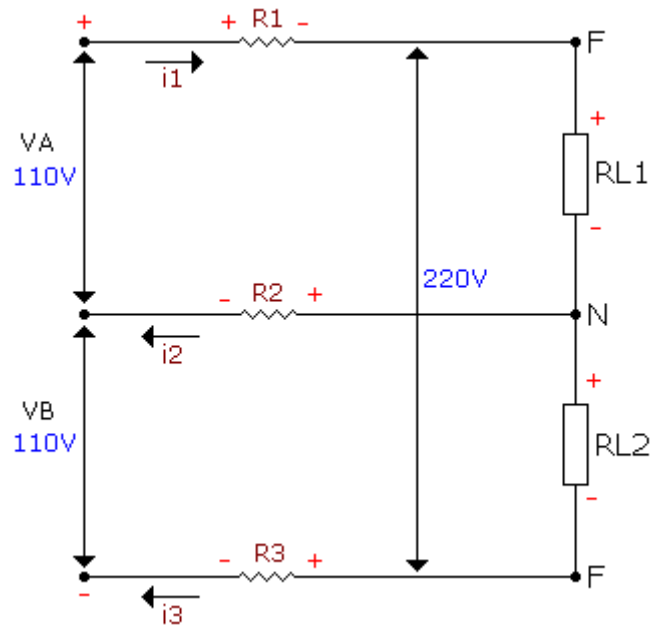
Por $R1$ circula a corrente $i1$, por $R2$ circula a corrente $i2$ e por $R3$ circula a corrente $i3$.

$$\text{Então } i3 = i1 - i2$$

Como a alimentação é CA, as polaridades invertem-se na velocidade da frequência (normalmente 60Hz).

Escreveremos a equação levando em conta a polarização mostrada no diagrama a seguir:

¹ Por motivos históricos, a tensão de 127V é também chamada de 110V, que era uma tensão secundária utilizada antigamente pelas concessionárias de energia.



$$i_3 = i_1 - i_2$$

$$V_A - R i_1 - R L_1 i_1 - R i_2 = 0 \text{ (I)}$$

$$V_B + R i_2 - R L_2 i_3 - R i_3 = 0 \text{ (II)}$$

Substituindo i_3 em (II)

$$V_B + R i_2 - R L_2 (i_1 - i_2) - R (i_1 - i_2) = 0$$

$$V_B + R i_2 - R L_2 i_1 + R L_2 i_2 - R i_1 + R i_2 = 0$$

$$R i_2 + R L_2 i_2 + R i_2 = R L_2 i_1 + R i_1 - V_B$$

$$2 R i_2 + R L_2 i_2 = i_1 (R + R L_2) - V_B$$

$$i_2 = \frac{i_1 (R + R L_2) - V_B}{2 R + R L_2}$$

Substituindo i_2 em (I):

$$V_A - R i_1 - R L_1 i_1 - R \left[\frac{i_1 (R + R L_2) - V_B}{2 R + R L_2} \right] = 0$$

$$V_A - R i_1 - R L_1 i_1 - R \left[\frac{R i_1 + R L_2 i_1 - V_B}{2 R + R L_2} \right] = 0$$

$$V_A (2 R + R L_2) - R i_1 (2 R + R L_2) - R L_1 i_1 (2 R + R L_2) - R \cdot R i_1 - R \cdot R L_2 i_1 + R V_B = 0$$

$$V_A (2 R + R L_2) - R i_1 (2 R + R L_2) - R L_1 i_1 (2 R + R L_2) - R i_1 (R + R L_2) + R V_B = 0$$

$$- Ri_1(2R+RL_2) - RL_1i_1(2R+RL_2) - Ri_1(R+RL_2) = - VA(2R+RL_2) - RVB$$

$$Ri_1(2R+RL_2) + RL_1i_1(2R+RL_2) + Ri_1(R+RL_2) = VA(2R+RL_2) + RVB$$

$$i_1 = \left[\frac{RVB + VA(2R + RL_2)}{R(2R + RL_2) + RL_1(2R + RL_2) + R(R + RL_2)} \right]$$

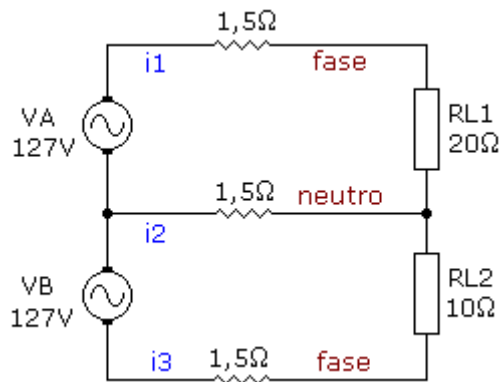
$$i_1 = \left[\frac{RVB + VA(2R + RL_2)}{(R + RL_1)(2R + RL_2) + R(R + RL_2)} \right]$$

EXERCÍCIO RESOLVIDO:

O diagrama abaixo representa uma ligação residencial com 3 fios, com cargas distribuídas conformes valores indicados e respectivas perdas na linha.

Calcule:

1. as correntes nas cargas
2. as tensões nas cargas
3. potência desenvolvida nas cargas
4. supondo que o fio do neutro seja interrompido, qual será a tensão e a potência nas cargas?



Nominalmente devemos ter em cada carga a tensão de 127V
Procedendo aos cálculos devido as perdas na linha:

$$i_1 = \left[\frac{RVB + VA(2R + RL_2)}{(R + RL_1)(2R + RL_2) + R(R + RL_2)} \right]$$

$$i_1 = \frac{1,5(127) + 127(3 + 10)}{(1,5 + 20)(3 + 10) + 1,5(1,5 + 10)} = \frac{190,5 + 381 + 1270}{(21,5)(13) + 2,25 + 15} =$$

$$= \frac{1.841,5}{296,75} = 6,206A \quad \rightarrow \quad i_1 = 6,206A$$

$$i_2 = \frac{i_1(R + RL_2) - V_B}{2R + RL_2}$$

$$i_2 = \frac{6,21(1,5 + 10) - 127}{3 + 10} = \frac{(9,315 + 62,1) - 127}{13} = \frac{-55,585}{13} = -4,28A$$

$$\rightarrow i_2 = -4,28A$$

$$i_3 = i_1 - i_2 \rightarrow i_3 = 6,206 - (-4,28) = 6,206 + 4,28 = 10,486A$$

$$\rightarrow i_3 = 10,486A$$

$$\rightarrow \text{TENSÃO EM RL1} = 20 \cdot 6,206 = \mathbf{124,12V}$$

$$\rightarrow \text{TENSÃO EM RL2} = 10 \cdot 10,486 = \mathbf{104,86V}$$

$$\rightarrow \text{POTÊNCIA EM RL1} = E \cdot I = 124,12 \cdot 6,206 = \mathbf{770,289W}$$

$$\rightarrow \text{POTÊNCIA EM RL2} = E \cdot I = 104,86 \cdot 10,486 = \mathbf{1.089,562W}$$

A figura a seguir mostra a simulação feita no Multisim.

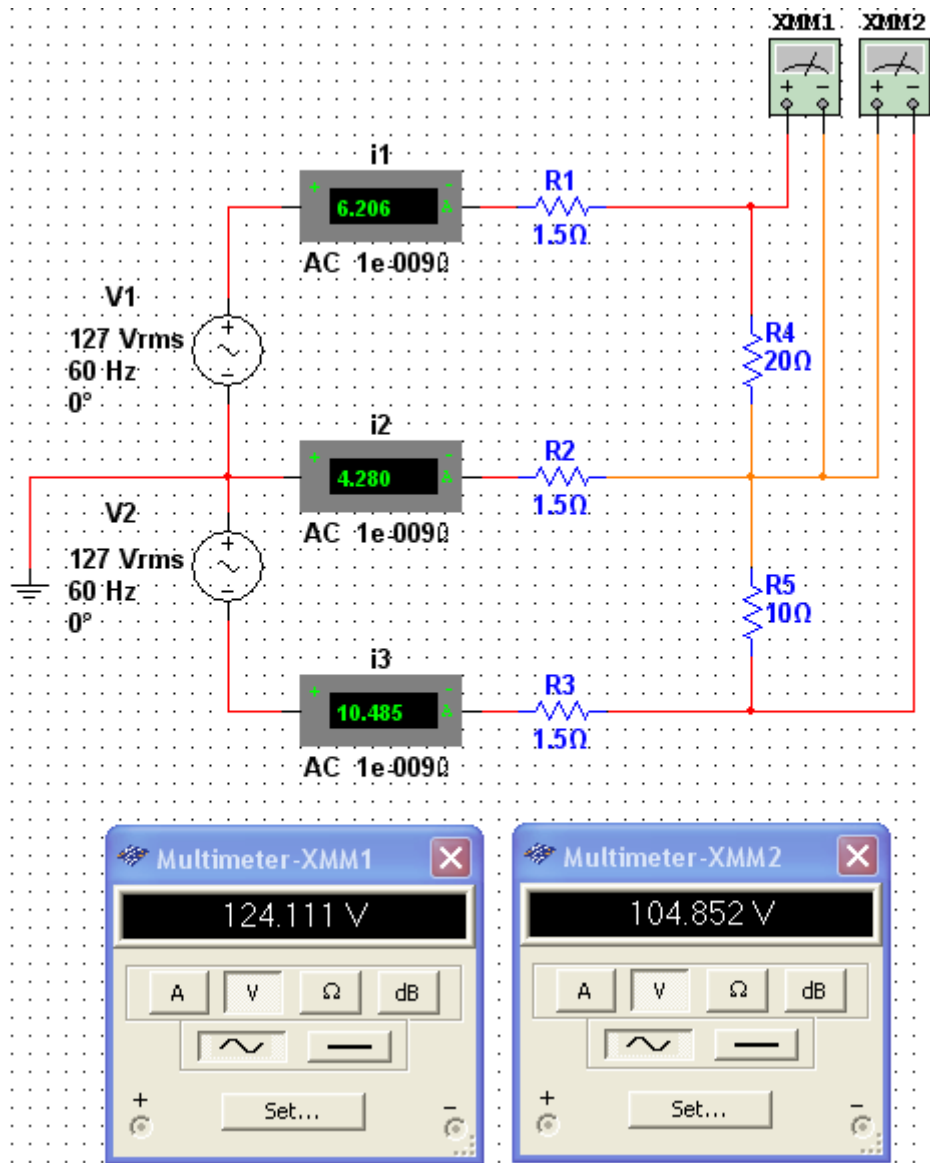
Os cálculos foram arredondados e os multímetros mostram as tensões e as correntes com arredondamento para 3 casas após a vírgula.

Comparando os valores calculados com os valores medidos, observamos que são totalmente compatíveis.

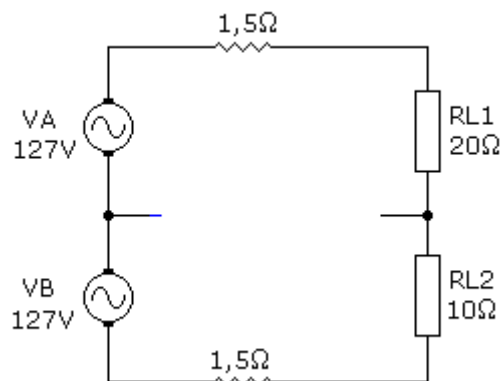
Veja a tabela:

Valores mostrados no simulador

Valores calculados	Valores medidos (simulador)
$i_1 = 6,206A$	$i_1 = 6,206A$
$i_2 = 4,28A$	$i_2 = 4,280A$
$i_3 = 10,486A$	$i_3 = 10,485A$
Tensão em RL1 = 124,12V	Tensão em RL1 = 124,111V
Tensão em RL2 = 104,86V	Tensão em RL2 = 104,852V



Se houver a interrupção do neutro, então o circuito ficará conforme diagrama a seguir:



Teremos então uma corrente única circulando pelas cargas:

$$i = \frac{127 + 127}{RL1 + RL2 + 2R} = \frac{254}{33} = 7,697A$$

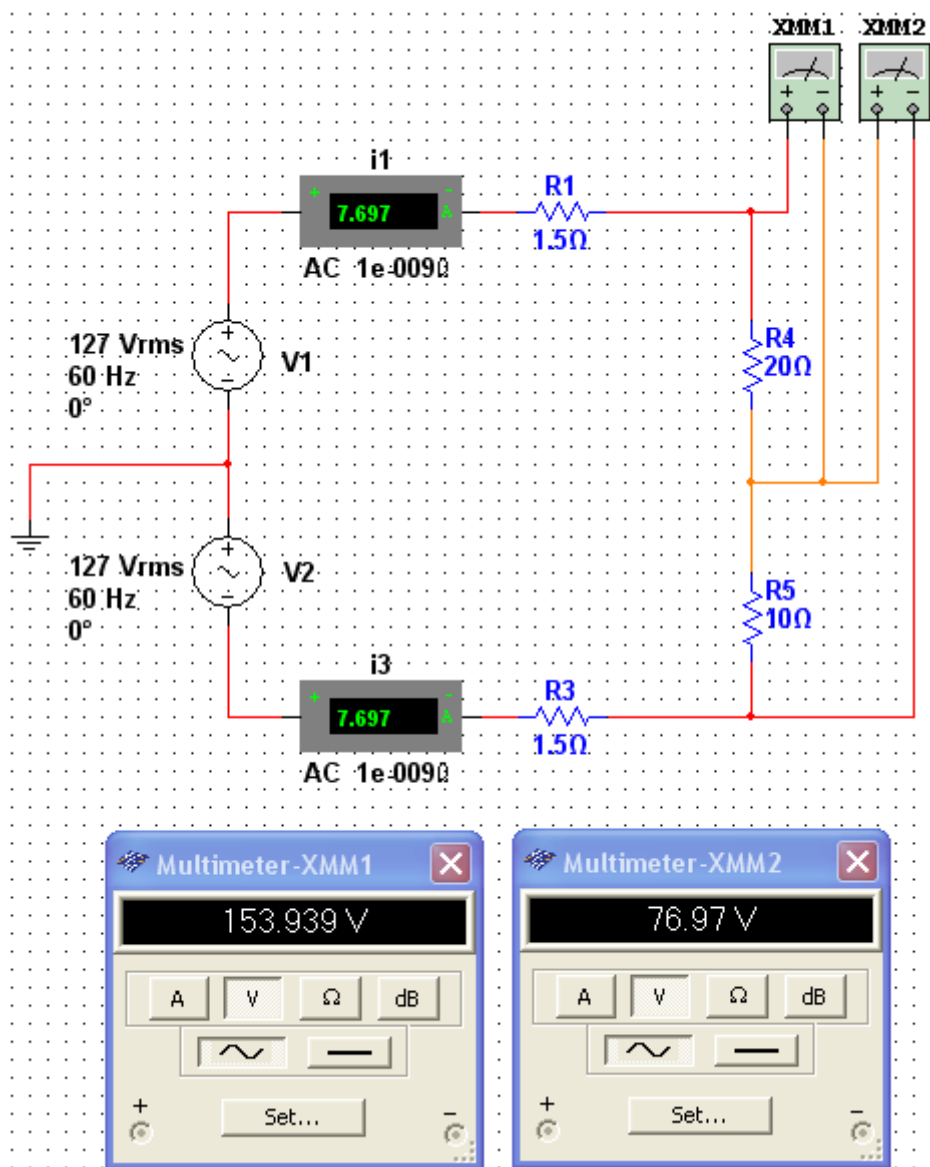
→ TENSÃO EM RL1 = $20 \cdot 7,697 = 153,94V$

→ TENSÃO EM RL2 = $10 \cdot 7,697 = 76,97V$

→ POTÊNCIA EM RL1 = $E \cdot I = 153,94 \cdot 7,697 = 1.174,876W$

→ POTÊNCIA EM RL2 = $E \cdot I = 76,97 \cdot 7,697 = 592,438W$

Veja na figura abaixo a simulação feita no Multisim.



Se as cargas tiverem que funcionar com tensão nominal de 127V, conclui-se que RL1 estará submetida a uma tensão excessiva com risco de danificar-se, enquanto que RL2 provavelmente não funcionará ou então funcionará insatisfatoriamente.

Veja a seguir o diagrama de distribuição de energia comumente usado em residências.

