

Apostila MB sobre análise de circuitos em DC e solução de defeitos.

- leve esta apostila.
- resolva os exercícios.
- use a lógica para entender os circuitos.
- use esta mesma linha de raciocínio para analisar outros circuitos.
- boa sorte.

Luiz Bertini - 07/08/02

Análise de circuitos / Análise de malhas

①

Uma das coisas mais importantes que um estudante ou técnico, que trabalhe com desenvolvimento ou manutenção, de equipamentos eletrônicos deve saber é analisar o funcionamento de um circuito. Quanto mais capaz de for de entender um circuito, a distribuição de suas tensões, correntes e sinais processados, mais facilmente ele consertará um equipamento ou será capaz de "inventar" algum circuito.

Para isto mais do que "matemática" é preciso saber a função individual de cada componente (por exemplo: um capacitor bloqueia corrente contínua, um diodo só conduz para um lado, etc) e ter alguns conceitos utilizando a Lei de Ohm e o raciocínio lógico e as Leis de Kirchhoff.

Com tudo isto quero dizer que é fácil entender um circuito eletrônico e quanto melhor o entendermos mais fácil de fazê-lo funcionar.

Esta apostila abordará esta forma de "enxergar" um circuito e tentará demonstrar a função de vários componentes. A matemática para

cálculos virá depois. Primeiro entender o circuito, depois saber como calcular os componentes.

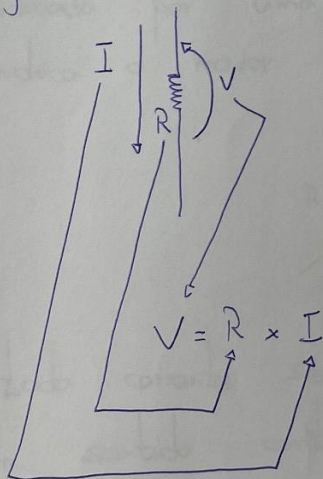
Lei de ohm

Esta Lei de ohm diz que: $V = R \cdot I$ ou seja,

- Um resistor, percorrido por uma corrente, apresentará sobre ele uma tensão.

Como dá para perceber esta fórmula está definida para um (1) componente específico e é assim que devemos utilizá-la na prática.

Veja:



Análise de malhas

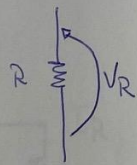
Todo circuito eletrônico é alimentado por tensão contínua (quase todas). Esta tensão se distribuirá entre

os componentes deste circuito, criando correntes diversas e polarizando o circuito. Polarizar um circuito é, então, alimentar corretamente um circuito (que já funciona) de forma que ele trabalhe corretamente. ③

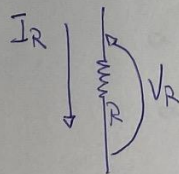
Quando analisamos as tensões e correntes em um circuito estamos fazendo uma análise de malhas.

Para começarmos vamos especificar determinadas condições:
- toda tensão medida em relação ao terra será indicada assim: $\oplus V$

- toda tensão aplicada sobre um componente será indicada por uma seta curvada, a ponta da seta indica o maior potencial. Veja o exemplo:



- toda corrente será indicada por uma seta reta e com sentido contrário a seta da tensão, assim:

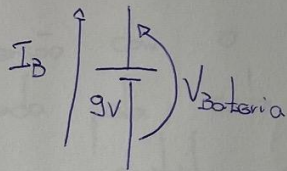


(4)

- Toda Fonte de tensão (alternada ou contínua) tem algumas especificações próprias. No nosso caso vamos usar apenas tensão contínua, como pilhas, baterias, ou Fontes de alimentação.

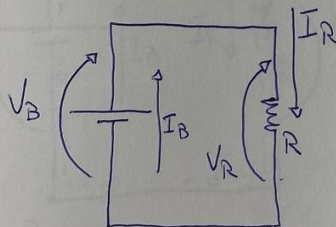
Veja as considerações para fontes ou geradores de tensão contínua:

- A tensão terá a seta representada com o mesmo sentido da seta da corrente. Veja:



Com estas conceções vamos começar as análises:

Circuito 1



Olhando o circuito podemos perceber o seguinte:

- toda tensão gerada pela bateria (V_B) está aplicada sobre R .
- só existe um caminho para a corrente, portanto I_B é igual a I_R .
- a corrente circula em uma malha fechada. Não existe outro

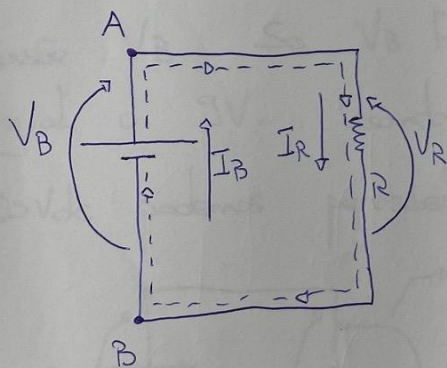
componente por onde ela
pode circular. (5)

Supondo que V_B seja uma bateria de 9V qual
será a tensão sobre R ? Para descobrirmos isto
podemos raciocinar de diversas formas, uma delas é:

A tensão resultante da soma das tensões em
uma malha fechada deve ser igual a zero.

Para entender isto vamos definir o seguinte: toda
tensão com o mesmo sentido da tensão da fonte (indi-
cada pela seta curva) deve ser somada e toda tensão
com sentido contrário deve ser subtraída.

Vamos ao circuito novamente:



Imagine a corrente saindo
do positivo da bateria, passando
pelo ponto A, passando por
 R , passando pelo ponto B
e chegando no negativo.

As tensões com o mesmo sentido desta corrente
terão o sinal positivo e as com sentido contrá-
rio terão sinal negativo.

⑥

Tensão resultante na malha = $+V_B - V_R$

Como sabemos que a tensão em uma malha fechada deve ter um valor resultante igual a ϕ (zero), podemos escrever que:

Tensão resultante na malha = $+V_B - V_R = 0$

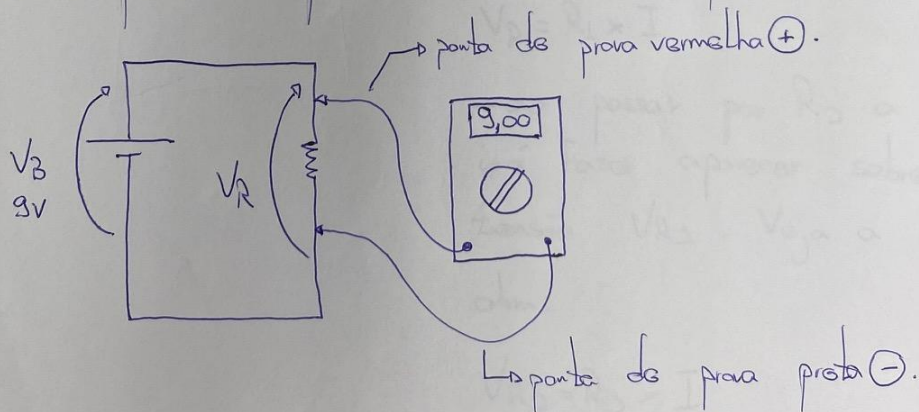
ou

$$+V_B - V_R = 0$$

ou

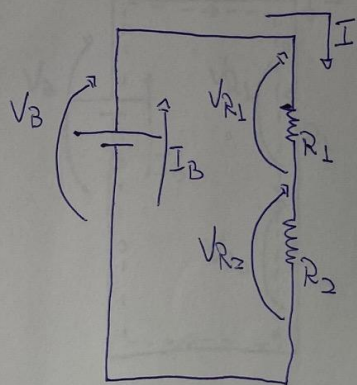
$$V_B = V_R$$

Sabemos agora que a tensão sobre V_R é igual a tensão V_B . Se V_B for igual a 9 Volts, V_R será igual a 9V. Usando um multímetro na escala de 20Vdc podemos perceber isto na prática.



Nas simples equações já vistas o sinal $\ominus$ antes $\textcircled{7}$ de V_R não indica que V_R seja uma tensão negativa, somente indica que esta tensão está com o maior potencial contrário ao da fonte ou bateria.

Circuito 2



Podemos perceber neste circuito também que:

- a corrente só tem um caminho. A mesma corrente I_B , que é fornecida pela bateria, recebe o nome de I e passa através de R_1 e R_2
- ao passar por R_1 a corrente irá fazer aparecer sobre R_1 a tensão V_{R1} . Veja a Lei de Ohm:

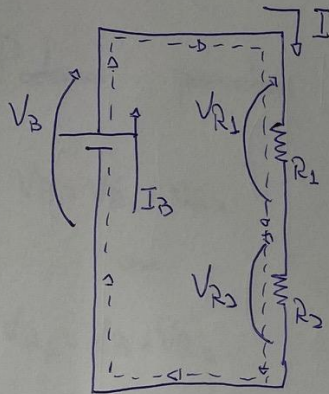
$$V_{R1} = R_1 \times I$$

- ao passar por R_2 a corrente irá fazer aparecer sobre R_2 a tensão V_{R2} . Veja a Lei de Ohm:

$$V_{R2} = R_2 \times I$$

- a tensão da bateria (V_B) se [ⓑ] dividirá entre R_1 e R_2 , criando V_{R1} e V_{R2} .

Usando o conceito que, a soma das tensões deve resultar em $\emptyset V$, vamos analisar o circuito:



- veja a linha tracejada indicando o sentido da corrente.

$$\text{Tensão resultante} = +V_B - V_{R1} - V_{R2} = \emptyset$$

↳ negativo pois tem o sentido contrário ao da corrente.

↳ negativo pois tem o sentido contrário ao da corrente

↳ positiva pois tem o mesmo sentido da corrente.

ou

$$+V_B - V_{R1} - V_{R2} = \emptyset$$

ou

9

$$+V_B = +V_{R1} + V_{R2}$$

↳ o sinal mudou pois V_{R1} e V_{R2} mudaram de lado do símbolo = (igual).

Podemos perceber que é possível isolar qualquer tensão:

$$V_B = V_{R1} + V_{R2}$$

ou

$$V_{R1} = V_B - V_{R2}$$

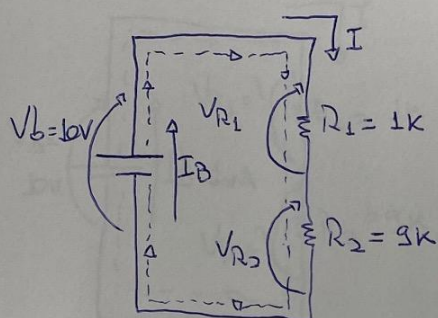
ou

$$V_{R2} = V_B - V_{R1}$$

↳ mudamos de lado, mudamos o sinal.

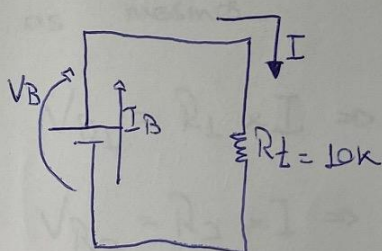
Mas qual o valor de V_{R1} e V_{R2} ? Isto estaremos descobrindo no circuito seguinte, onde usaremos, ou adotaremos, valores para as resistores e para a fonte de tensão.

Circuito 3



Para sabermos as tensões sobre R_1 e R_2 , respectivamente V_{R1} e V_{R2} , devemos usar o conceito de resistores em série e somá-los. Fazendo isto o

circuito ficará como o desenho abaixo:

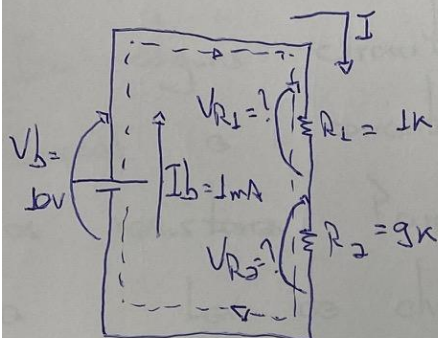


teremos agora o valor de R_t , aplicando a Lei de Ohm podemos calcular o valor de I :

$$V = R \times I \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{10}{10 \cdot 10^3} = 0,001 = 1 \text{mA}.$$

para sabermos a tensão em R_1 e R_2 devemos

voltar ao circuito anterior.



$$I_b = I$$

aplicando-se a Lei de Ohm, componente por componente, podemos descobrir as tensões sobre os mesmos.

$$V_{R1} = R_1 \times I \Rightarrow V_{R1} = 1k \times 1mA = 1V \text{olt.}$$

$$V_{R2} = R_2 \times I \Rightarrow V_{R2} = 9k \times 1mA = 9V \text{olts.}$$

Segundo o princípio que dentro de uma malha a tensão resultante deve ser $\emptyset$ vamos analisar o circuito.

$$V_b - V_{R1} - V_{R2} = \emptyset$$

$$10 - 1 - 9 = \emptyset$$

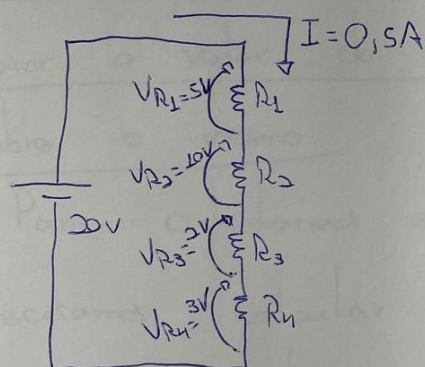
podemos perceber que nossos cálculos foram

(12)

confirmados pela análise das malhas.

Em alguns circuitos teremos o valor das tensões e correntes e desejaremos calcular os resistores. Para calculá-los basta aplicarmos a Lei de Ohm, resistor por resistor.

Exemplo:



Usando a Lei de Ohm:

$$V = R \times I \Rightarrow R = \frac{V}{I}$$

$$R_1 = \frac{V_{R1}}{I} = \frac{5}{0,5} = 10 \Omega$$

$$R_2 = \frac{V_{R2}}{I} = \frac{10}{0,5} = 20 \Omega$$

$$R_3 = \frac{V_{R3}}{I} = \frac{2}{0,5} = 4 \Omega$$

$$R_4 = \frac{V_{R4}}{I} = \frac{3}{0,5} = 6 \Omega$$

(13)

podemos confirmar se a tensão de V_b está correta fazendo a análise de malhas:

$$V_b - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} - V_{R4} = 0$$

$$20 - 5 - 10 - 2 - 3 = 0$$

as tensões estão divididas corretamente e podemos perceber que em um circuito série quanto maior o valor do resistor maior a tensão sobre o mesmo.

Para calcularmos e aferirmos I primeiro precisamos calcular a resistência equivalente. Como os resistores estão em série a resistência total será:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

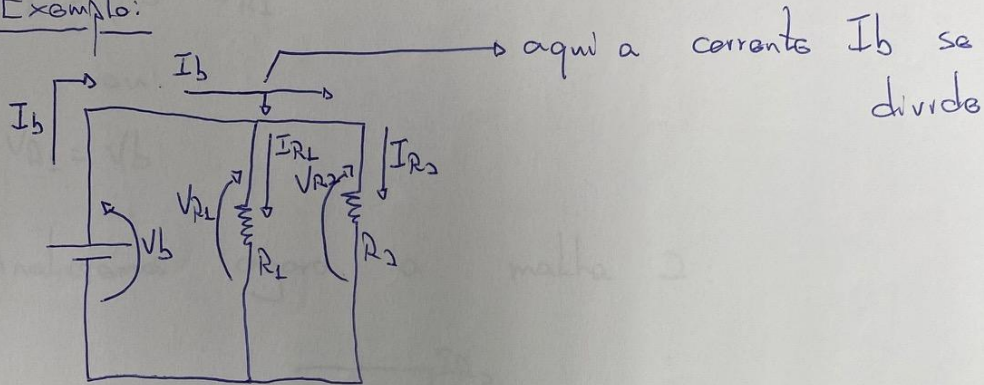
$$R_t = 10 + 20 + 4 + 6 = 40 \Omega$$

Usando a Lei de Ohm descobrimos e conferimos a corrente: $V = R \times I \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{20}{40} = 0,5A$

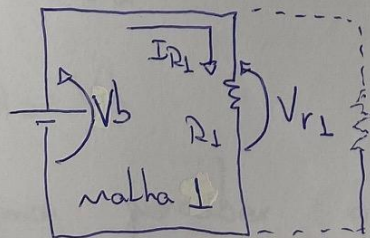
A corrente está correta e nossa análise terminou.

Vamos agora analisar um circuito com resistores em paralelo.

Exemplo:



Podemos perceber que a corrente se divide entre os dois resistores, como agora temos uma divisão da corrente I_b podemos dividir o circuito em duas malhas diferentes. A malha 1 Formada por R_1 e a bateria e a malha 2 Formada por R_2 e a bateria. Veja as Figuras seguintes:



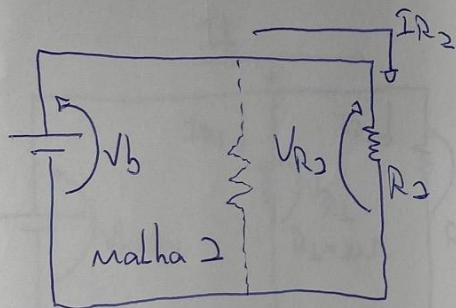
Como a tensão resultante dentro de uma malha fechada deve ser zero temos: (15)

$$\phi = +V_b - V_{R1}$$

ou

$$V_{R1} = V_b$$

Analisemos agora a malha 2:



Como a tensão resultante dentro de uma malha fechada deve ser zero temos:

$$\phi = +V_b - V_{R2}$$

ou

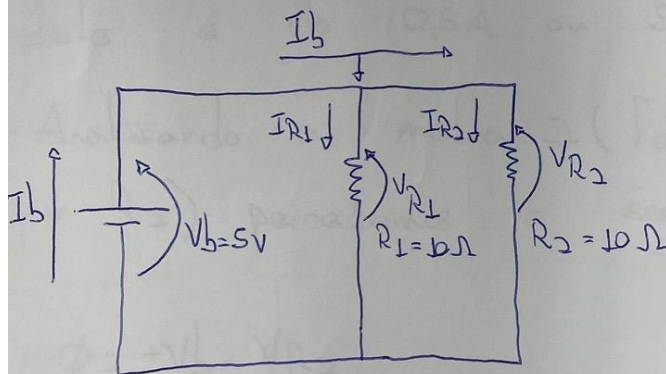
$$V_{R2} = V_b$$

Podemos perceber que as tensões sobre R_1 e R_2 são iguais a V_b . E esta é uma das caracteris-

Lucos de componentes em paralelo, mesma tensão (16)
mas correntes diferentes, distintas.

$$\text{Se } V_{R1} = V_b \text{ e } V_{R2} = V_b \text{ então: } V_{R1} = V_{R2}$$

Para descobrirmos, ou melhor, calcularmos as correntes e tensões iremos usar o circuito abaixo.



- Analisando a malha 1 (Formada pela bateria e por R_1) temos o seguinte:

$$\Phi = +V_b - V_{R1}$$

$$V_b = V_{R1} \text{ portanto } V_{R1} = 5V.$$

Para sabermos a corrente em R_1 basta aplicarmos a Lei de Ohm.

(17)

Lei de ohm

$$V = R \times I$$



$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R1} = \frac{5}{10} = 0,5A$$

Sabemos, agora, que a tensão sobre R_1 é de 5 Volts e a corrente que circula através dele é de 0,5A ou 500mA.

Analisando a malha 2 (Formada pela bateria e por R_2) percebemos o seguinte:

$$\phi = +V_b - V_{R2}$$

$$V_b = V_{R2} \text{ portanto } V_{R2} = 5V.$$

Para calcularmos I_{R2} é só usarmos a Lei de ohm.

$$I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R2} = \frac{5}{10} = 0,5A$$

Sabemos, agora, que a tensão sobre R_2

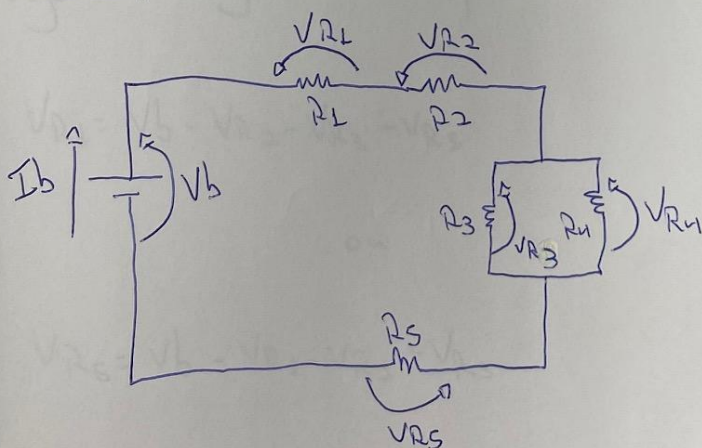
é de 5 Volts e a corrente que circula ⁽¹⁸⁾ por ele é de 0,5A ou 500mA.

Podemos perceber que a corrente I_b se dividiu ou se transformou em I_{R1} e I_{R2} , para saber o seu valor basta somarmos I_{R1} com I_{R2} .

$$I_b = I_{R1} + I_{R2} = 0,5A + 0,5A = 1A.$$

Podemos aplicar estes mesmos conhecimentos em circuitos com resistores em associação mista.

Exemplo:



$$V_b = 10V$$

$$R_1 = 10\Omega$$

$$R_2 = 10\Omega$$

$$R_3 = 40\Omega$$

$$R_4 = 40\Omega$$

$$R_5 = 10\Omega$$

Qual será a tensão em cada um dos resistores? (19)

Olhando para o circuito podemos perceber que R_3 e R_4 estão em paralelo (as duas extremidades de cada um deles, estão ligadas juntos). E se estão em paralelo a tensão sobre os mesmos será igual, podemos então escolher V_{R_3} ou V_{R_4} para analisarmos esta malha.

-Analisando a malha:

$$\phi = +V_b - V_{R_1} - V_{R_2} - V_{R_3} - V_{R_5}$$

$$V_b = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3} + V_{R_5}$$

Podemos usar a tensão sobre qualquer resistor, vejamos alguns exemplos:

$$V_{R_1} = V_b - V_{R_2} - V_{R_3} - V_{R_5}$$

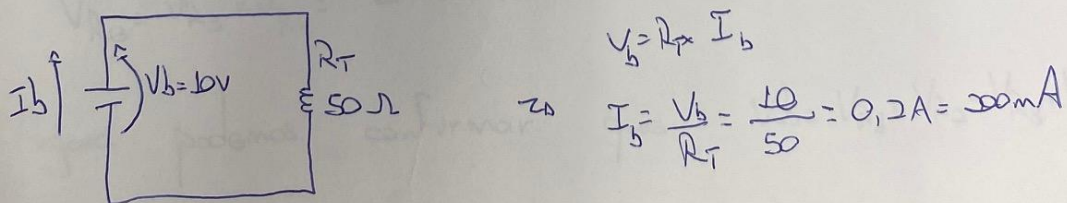
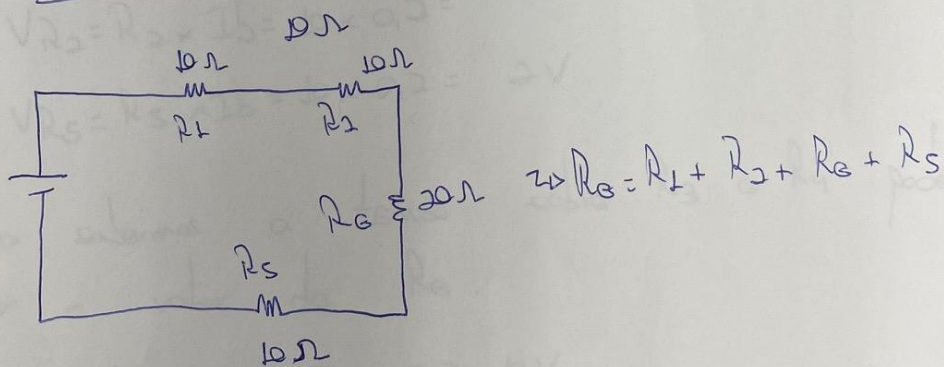
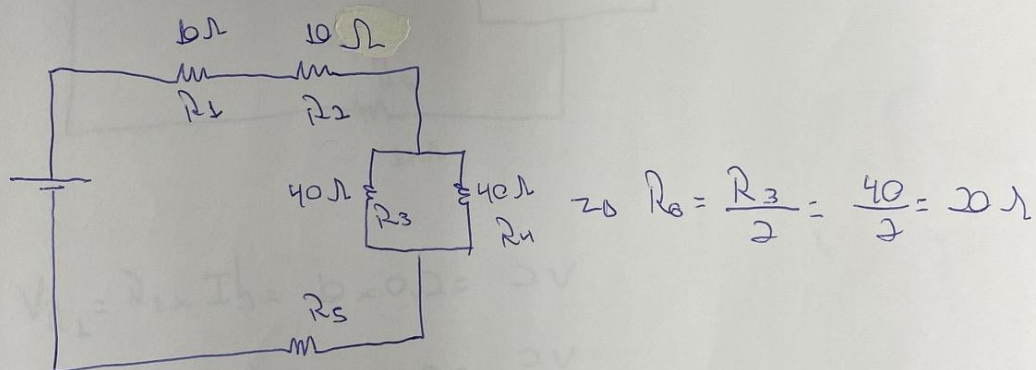
ou

$$V_{R_5} = V_b - V_{R_1} - V_{R_2} - V_{R_3}$$

Usando os conceitos de associação de resistores e a lei de ohm podemos facilmente descobrir a tensão em cada resistor. (20)

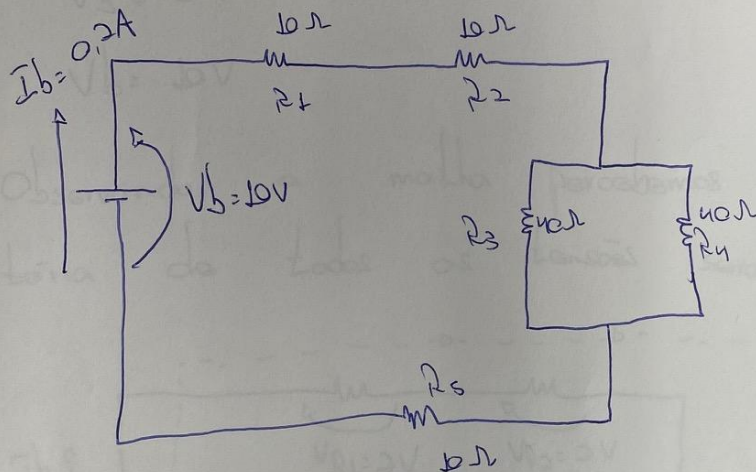
Nosso primeiro passo será calcular a corrente que circula através dos resistores desta malha.

Para isto precisamos saber a Resistência Equivalente ou Resistência Total do circuito.



(21)

Sabendo a corrente no circuito voltamos
 ao circuito original e calculamos a tensão
 em cada resistor.



$$V_{R1} = R1 \times I_b = 10 \times 0,2 = 2V$$

$$V_{R2} = R2 \times I_b = 10 \times 0,2 = 2V$$

$$V_{R5} = R5 \times I_b = 10 \times 0,2 = 2V$$

Para sabermos a tensão sobre $R3$ e $R4$ podemos
 usar o valor de $R3$.

$$V_{R3} = V_{R4} = 20 \times 0,2 = 4V$$

Agora podemos confirmar que $V_b = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} + V_{R5}$

(22)

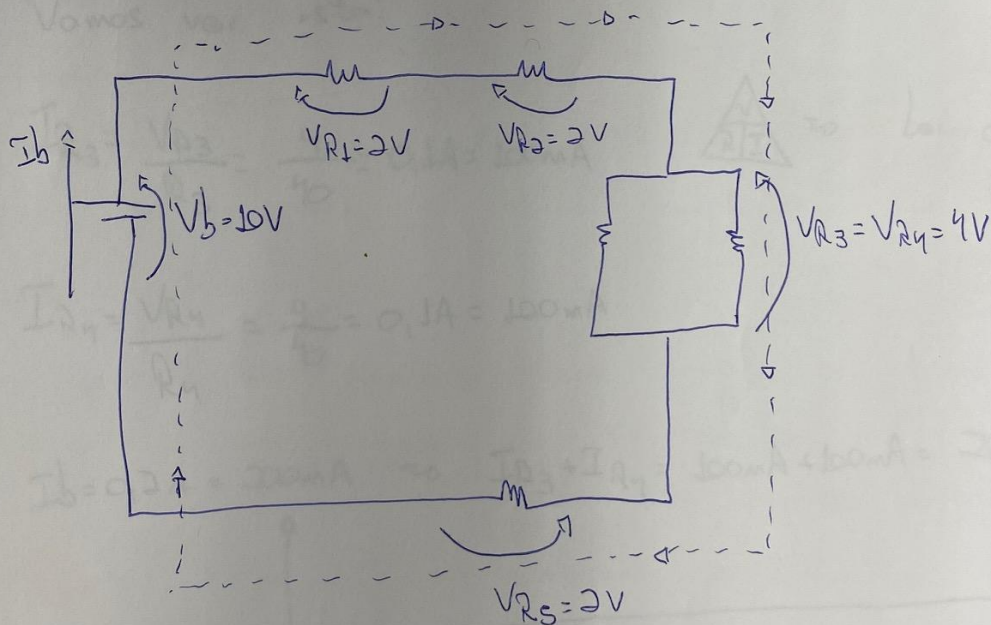
$$V_b = 10V$$

$$V_b = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} + V_{R5}$$

$$V_b = 2 + 2 + 4 + 2$$

$$V_b = 10V$$

Observando a malha percebemos que a soma-tória de todas as tensões será igual a zero.



$$\phi = V_b - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} - V_{R5}$$

$$\phi = 10 - 2 - 2 - 4 - 2$$

$\phi = 0$ ou seja a somatória das tensões é igual a zero.

(23)

Dai você pergunta: Mas qual a corrente em R_3 e R_4 ?

Sabendo que a tensão sobre os mesmos é igual, pois estão em paralelo, a corrente I_b deverá se dividir. A soma das correntes em R_3 e R_4 deverá ser igual a I_b .

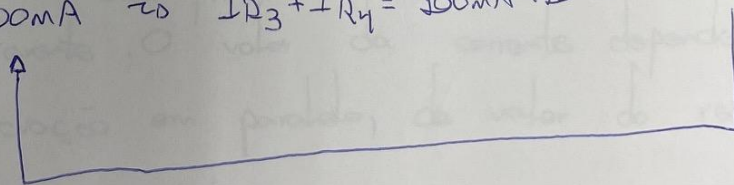
Vamos ver isto:

$$I_{R_3} = \frac{V_{R_3}}{R_3} = \frac{4}{40} = 0,1A = 100mA$$

 Lei de Ohm

$$I_{R_4} = \frac{V_{R_4}}{R_4} = \frac{4}{40} = 0,1A = 100mA$$

$$I_b = 0,2A = 200mA \quad \rightarrow \quad I_{R_3} + I_{R_4} = 100mA + 100mA = 200mA$$



$$I_b = I_{R_3} + I_{R_4}$$

Algumas considerações importantes (relembrando):

- A soma das tensões em uma malha fechada é sempre igual a zero. Para fazer esta soma usamos o sentido da corrente que sai da bateria ou fonte. Tensões com mesmo sentido são somadas, tensões com sentido contrário são subtraídas. Esta consideração se chama 2ª Lei de Kirchhoff.
- Resistores em série devem ser somados, para se encontrar o valor total ou R_T . A corrente será igual em circuitos em série. A tensão se dividirá entre os resistores, e outras componentes, que formam este circuito.
- Resistores em paralelo terão sempre a mesma tensão aplicada sobre eles, mas a corrente em cada um será diferente. O valor da corrente dependerá, em uma associação em paralelo, do valor do resistor.
- Para saber a corrente que circula em um circuito devemos calcular o valor da resistência total ou equivalente.
- Em circuitos mistos devemos sempre resolver, primeiro

as associações em paralelo

05

- Resistores em série:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n$$

- Resistores em paralelo:

↳ Um número "n" igual de resistores

$$R_T = \frac{\text{Valor de 1 resistor}}{n}$$

↳ dois resistores:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

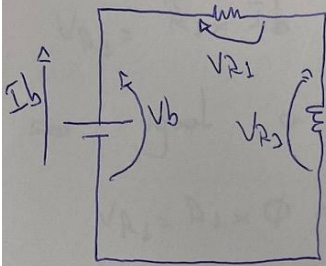
↳ mais de dois resistores:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Mas é onde fica o multímetro nestas análises?

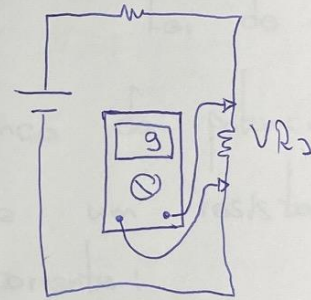
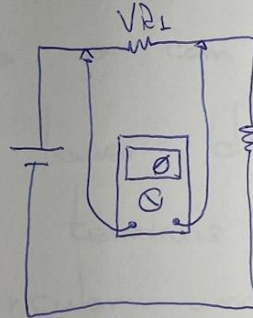
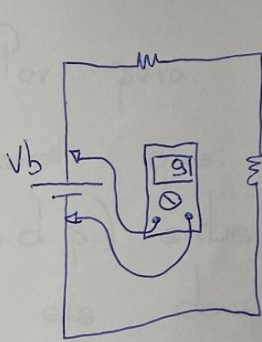
Bom, vamos começar a usá-lo, para isto imagine o circuito que vem a seguir:

(26)



componentes, com
encontramos os

Pelo o que já estudamos
sabemos que $V_b = V_{R1} + V_{R2}$,
mas vamos supor que, ao
efetuar medições sobre os
componentes, com um multímetro na escala de Vdc,
seguiramos as seguintes tensões:



$$V_b = 9 \text{ Volts}$$

$$V_{R1} = 0 \text{ Volts}$$

$$V_{R2} = 9 \text{ Volts}$$

O que há de errado neste circuito? Sabemos
que deveria haver uma tensão sobre R_1 e
se não há, por Lei de Ohm, podemos perceber

que neste circuito não circula corrente, veja: (27)

$V_{R1} = R_1 \times I_b$ se V_{R1} é igual a ϕ I_b deve ser igual a zero:

$$V_{R1} = R_1 \times \phi = \phi \text{ Volts.}$$

Se não há corrente é por que algum resistor está aberto. Mas qual deles? Como encontrá-lo usando a lógica?

Por pura lógica e com a Lei de Ohm sabemos que: se houver diferença de potencial (d.d.p.) entre os terminais de um resistor, por ele deve circular uma corrente:

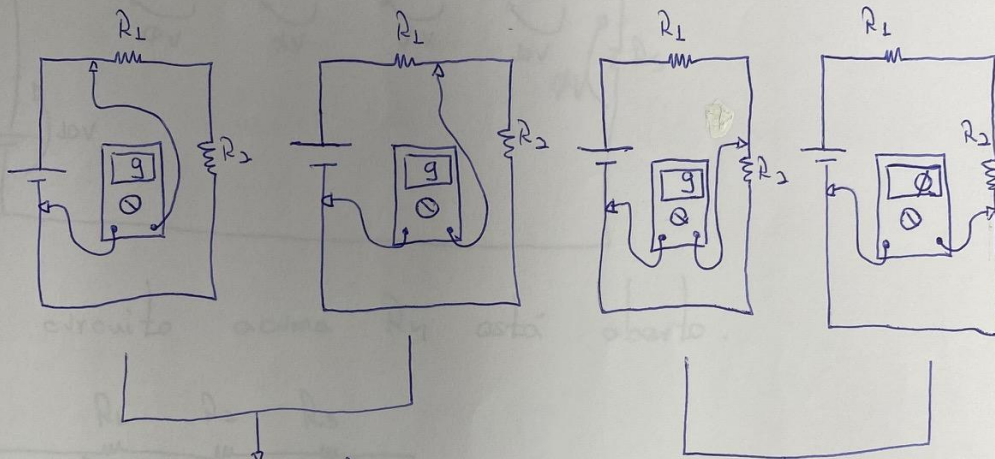
$$I = \frac{V}{R} \text{ e } V = \text{tensão elétrica} = \text{diferença de potencial} = \text{ddp}$$

Se não houver corrente este resistor está aberto. Mas qual dos dois está aberto? O resistor R_1 ou o resistor R_2 ?

Com o uso do multímetro e mais algumas medições nós descobriremos.

Com a ponta comum do multímetro sempre no negativo da bateria façamos algumas medições:

(28)



Não existe ddp sobre R_1 pois em seus dois lados há 9 Volts.

Se não existe ddp ou tensão entre as seus terminais não pode haver corrente, portanto ele está bom.

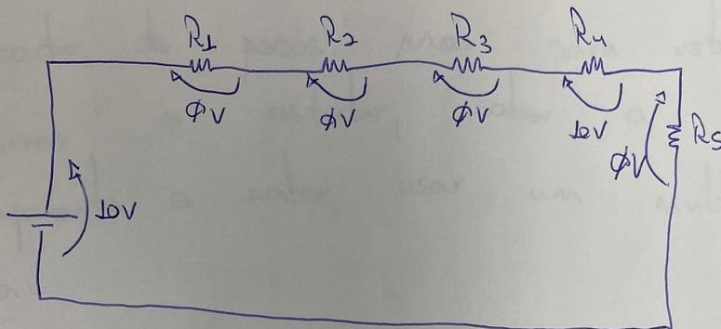
Existe ddp sobre R_2 , de um lado há 9V e do outro 0V, mas não existe corrente passando por ele (não há corrente no circuito) então ele está ruim, danificado e, mais claramente falando, aberto.

Observação: Em uma malha fechada toda a tensão da fonte ou bateria sempre ficará sobre o resistor, ou outro componente, que estiver aberto e impedindo

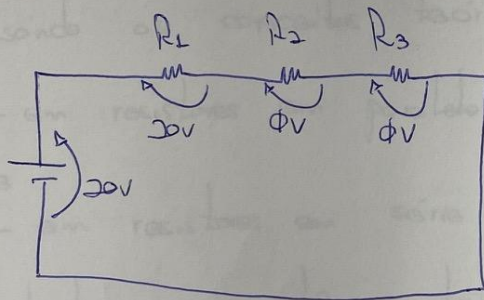
do a circulação da corrente.

(29)

Exemplos:



No circuito acima R_4 está aberto.



No circuito acima R_1 está aberto.

Se você deseja confirmar isto retire o resistor do circuito e veja que a tensão, nos pontos onde ele estava ligado, não muda.

Para testar só o resistor, retire-o do circuito e meça-o, com o multímetro, na escala de Ohms ou Ω .

É assim que todos os defeitos devem ser encontrados, usando a lógica, os conhecimentos teóricos

e se fazendo medições. É não rotulando-se as ③ componentes e medindo um após o outro. Lembre-se: você vai consertar um equipamento e não ser um trocador de peças. Mas para isto é preciso treinar e estudar, saber a função de cada componente e saber usar um multímetro com eficiência.

Exercício:

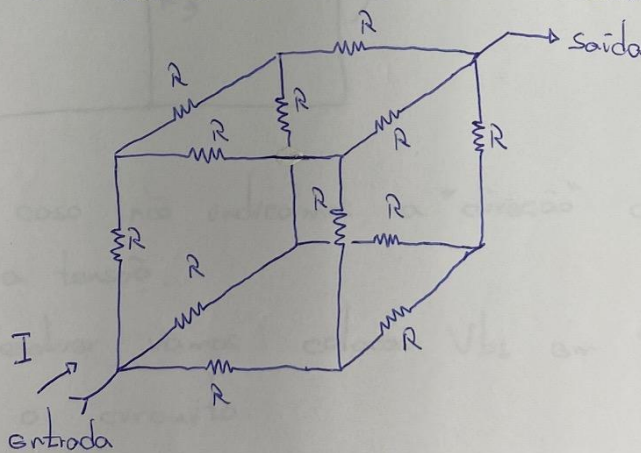
Usando os conceitos teóricos que:

- em resistores em paralelo a tensão é a mesma.

e

- em resistores em série a corrente é a mesma.

Calcule a resistência total do circuito abaixo:



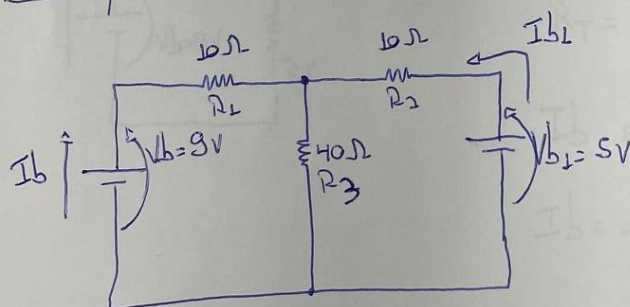
Sabendo que todos os resistores tem o mesmo valor (R) e que o resultado é: $R_T = \frac{5R}{6}$

(31)

Mas se tivermos mais de uma Fonte em um circuito, como o analisaremos!

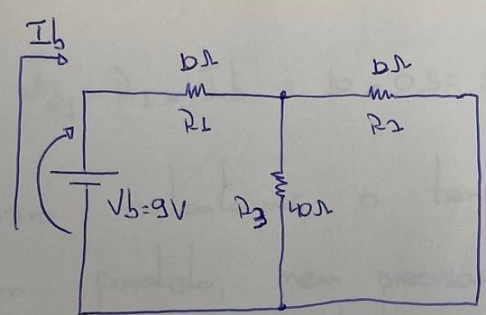
Neste caso analisaremos o circuito usando uma Fonte de cada vez, no lugar da outra Fonte colocamos um "curto". Depois de analisado com todas as Fontes, somamos os resultados para chegar as respostas. Isto nada mais é que a aplicação do teorema da superposição (existem outras maneiras de se calcular isto, mas esta é uma das mais simples).

Exemplo:

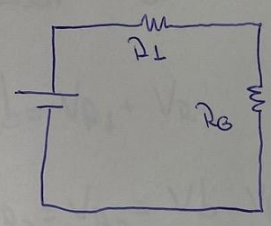


Neste caso não indicamos a "direção" dos setas que indicam a tensão.

Para resolver vamos colocar V_{b1} em "curto" e redesenhar o circuito.

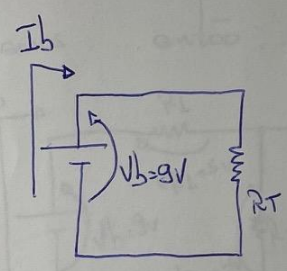


Agora temos R_2 em paralelo com R_3



$$R_6 = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3} = \frac{10 \times 40}{10 + 40} = \frac{400}{50} = 8\Omega$$

Temos agora R_1 em série com R_6

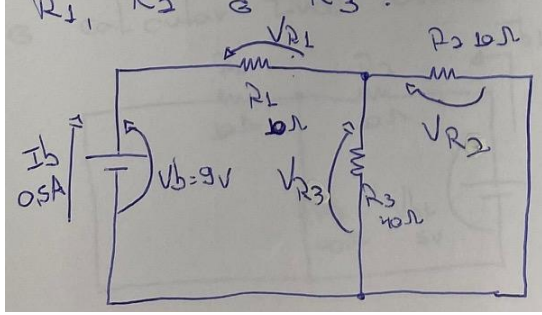


$$R_T = R_1 + R_6 = 10 + 8 = 18\Omega$$

I_b será:

$$I_b = \frac{9}{18} = 0,5A = 500mA.$$

Agora vamos calcular as tensões sobre R_1 , R_2 e R_3 .



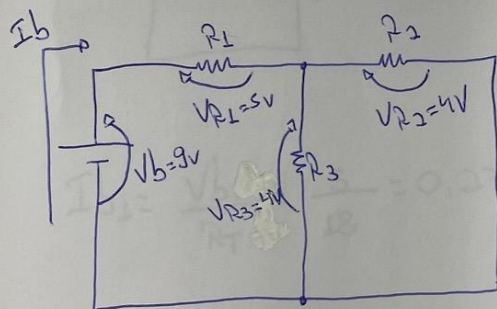
$$V_{R1} = R_1 \times I_b = 10 \times 0,5 = 5 \text{ Volts}$$

para calcularmos a tensão sobre R_3 e R_2 , que estão em paralelo, nem precisamos da Lei de Ohm, basta analisar a malha.

$$V_b = V_{R1} + V_{R3}$$

$$V_{R3} = V_{R2} = V_b - V_{R1} = 9 - 5 = 4 \text{ Volts}$$

temos então:

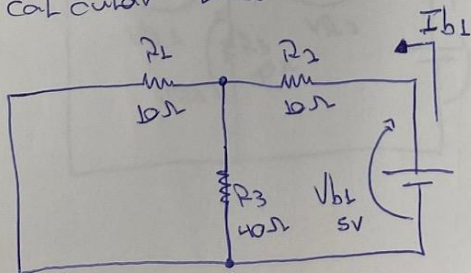


$$I_{R2} = \frac{4}{10} = 0,4 \text{ A} = 400 \text{ mA}$$

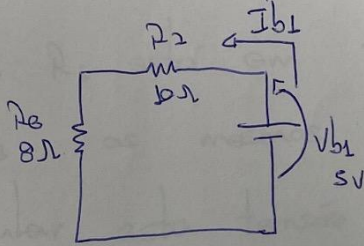
$$I_{R3} = \frac{4}{40} = 0,1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$$

$$I_{R1} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ A} = 500 \text{ mA}$$

Mas ainda não acabou. Precisamos, agora, colocar V_b em "curto", voltarmos V_{b1} em seu devido lugar e calcular tudo novamente.

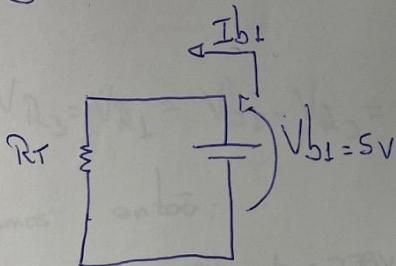


Temos R_1 em paralelo com R_3 :



$$R_e = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 + R_3} = \frac{10 \times 40}{10 + 40} = \frac{400}{50} = 8 \Omega$$

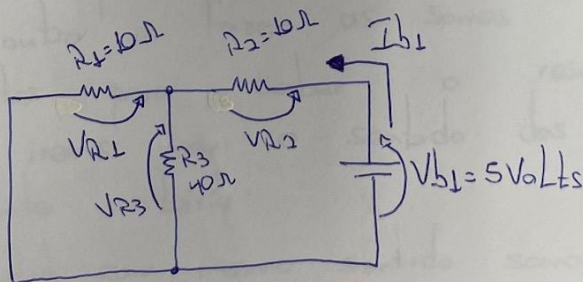
Agora eles, R_2 e R_e , estão em série:



$$R_T = R_2 + R_e = 10 + 8 = 18 \Omega$$

$$I_{b1} = \frac{V_{b1}}{R_T} = \frac{5}{18} = 0,278 \text{ A} = 278 \text{ mA}$$

Agora vamos calcular as tensões sobre os resistores.



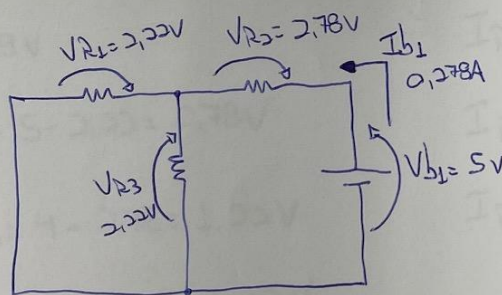
$$V_{R_2} = R_2 \times I_{B1} = 10 \times 0,278 = 2,78 \text{ Volts}$$

Como R_1 está em paralelo com R_3 a tensão sobre os mesmos será igual e poderemos calcular esta tensão assim:

$$V_{B1} = V_{R_2} + V_{R_3}$$

$$V_{R_3} = V_{R_1} = V_{B1} - V_{R_2} = 5 - 2,78 = 2,22 \text{ Volts}$$

Temos então:



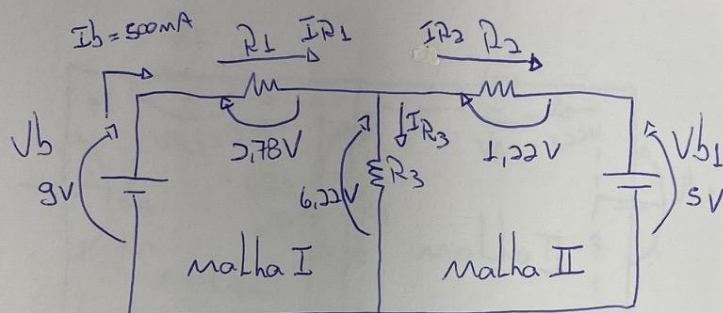
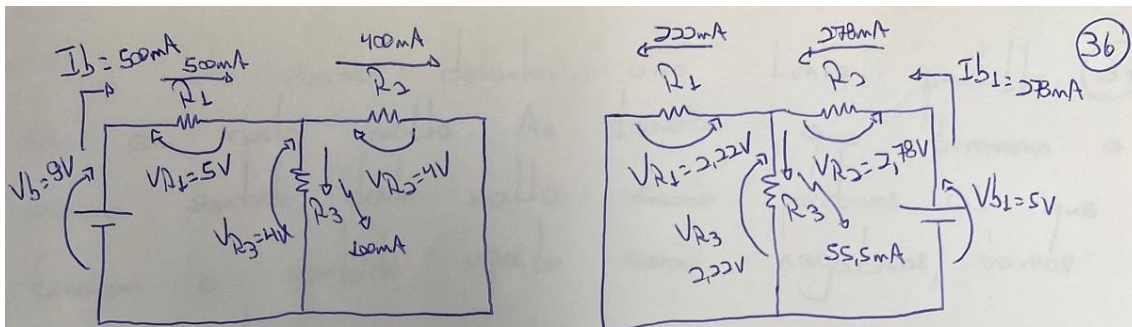
$$I_{R1} = \frac{2,22}{10} = 0,222A = 222mA$$

$$I_{R3} = \frac{2,22}{10} = 0,222A = 222mA$$

$$I_{R2} = \frac{2,78}{10} = 0,278A = 278mA$$

Agora podemos desenhar um circuito ao lado do outro e fazer as somas das tensões e correntes para saber o resultado final. Para isto iremos usar o sentido das setas seguindo o seguinte critério:

- setas com mesmo sentido somam os valores.
- setas com sentido oposto tem seus valores subtraídos.



$$V_b = 9V$$

$$V_{R1} = 5 - 2.22 = 2.78V$$

$$V_{R2} = 4 - 2.78 = 1.22V$$

$$V_{R3} = 4 + 2.22 = 6.22V$$

$$I_{R1} = 500mA - 222mA = 278mA$$

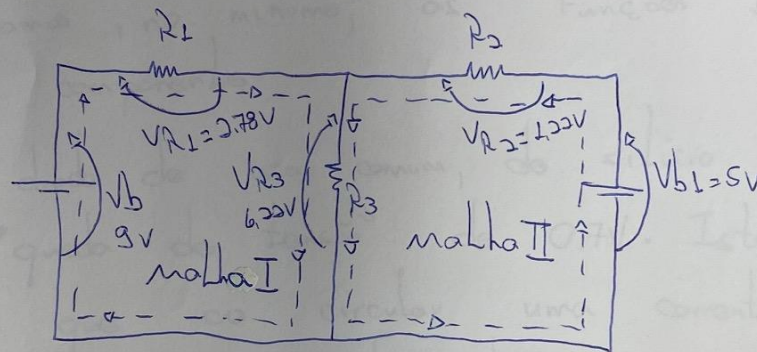
$$I_{R2} = 400mA - 278mA = 122mA$$

$$I_{R3} = 100mA + 55.5mA = 155.5mA$$

Os sentidos das setas da tensão devem seguir o sentido do circuito em que ela é mais alta. A corrente terá sempre o sentido contrário da tensão.

Analisando as malhas vamos ver se o resultante é zero e se nossos cálculos estão corretos.

Para isto vamos desenharmos uma linha pontilhada. (37)
da em cada malha. As tensões que tiverem o
mesmo sentido desta malha serão positivas as que
tiverem o sentido oposto serão negativas, vamos
ao circuito:



malha I

$$\phi = V_b - V_{R1} - V_{R3}$$

$$\phi = 9 - 2,78 - 6,22$$

$$\phi = 9 - 9$$

$\phi = 0$ os cálculos estão corretos.

malha II

$$\phi = V_{b1} + V_{R2} - V_{R3}$$

$$\phi = 5 + 1,22 - 6,22$$

$\phi = 0$ os cálculos estão corretos.

Circuitos usando diodos

(38)

Antes de analisarmos circuitos com diodos vamos demonstrar algumas características dos mesmos.

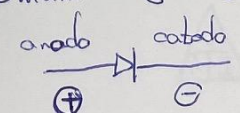
É imprescindível, para analisarmos circuitos, que conheçamos, no mínimo, as funções básicas de cada componente.

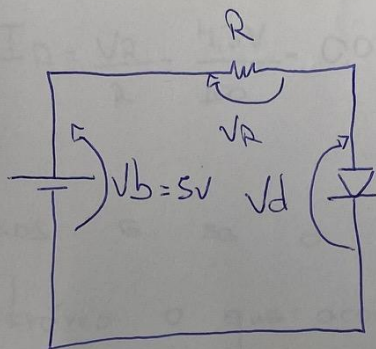
Um diodo de uso comum, de silício, apresentará uma "queda de tensão" de $0,7V$. Isto quer dizer que ao circular uma corrente por um diodo surgirá sobre ele $0,7V$.

Outra característica de um diodo é que ele só conduz em um sentido.

Também é bom lembrar que diodos têm polaridade.

Vamos agora, a partir do texto acima, analisar alguns circuitos com diodos e ver como as tensões se distribuem entre os componentes.

O símbolo para um diodo comum é o seguinte:  e a sua polaridade é esta: 



Sabendo-se que V_b é igual a 5V, qual será a tensão sobre V_R ?

Como sabemos que V_d é de 0,7V (ele está polarizado corretamente: Anodo com o positivo da bateria e catodo com o negativo) a tensão sobre V_R será:

$$V_b = V_R + V_d$$

$$V_R = V_b - V_d$$

$$V_R = 5 - 0,7$$

$$V_R = 4,3V.$$

Supondo que o valor de R seja de 100Ω podemos calcular a corrente usando a lei de ohm.

$$\frac{V}{R} = I$$

(40)

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{4,3V}{100} = 0,043A = 43mA.$$

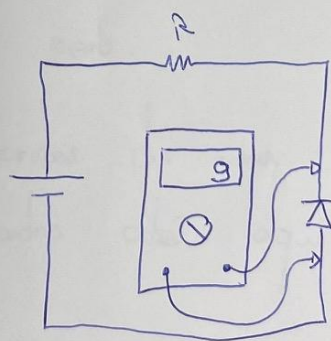
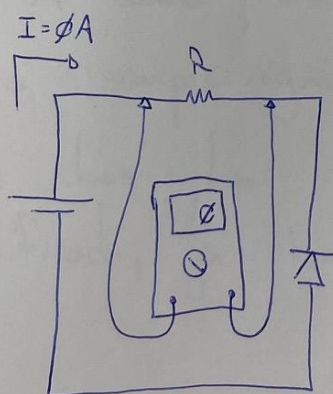
Mas e se o diodo estivesse ligado ao contrário o que aconteceria?

Como um diodo comum não conduz quando está reversamente polarizado, não teríamos corrente no circuito e então a tensão ou ddp sobre o resistor R seria igual a ϕ Volts.

$$V = R \times I$$

$$V = 100 \times \phi = \phi \text{ Volts}$$

E toda a tensão estaria aplicada sobre o diodo.



Neste ponto acho importante lembrar que todo circuito pode ser analisado como uma malha e, esta análise feita levando-se em conta a tensão contínua, pode ajudar muito na identificação de defeitos, na análise de circuitos e no desenvolvimento de projetos.

Também gostaria de salientar que, são importantes algumas coisas:

- conhecer o instrumental usado nas medições.
- conhecer e saber aplicar a lei de ohm.
- conhecer as leis de Kirchhoff:

1ª → a somatória das correntes em um fio ou ponto é igual as correntes que chegam neste ponto.

2ª → A soma das tensões em uma malha fechada é sempre igual a zero.

Estas duas leis, aqui descritas de uma forma simplificada, já foram usadas até aqui muitas vezes.

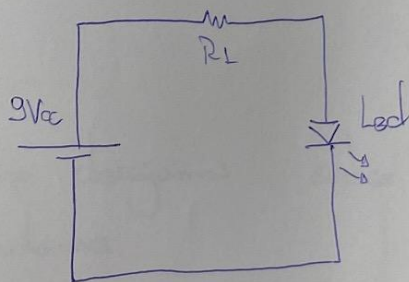
Circuitos usando Leds

(42)

Um led é um diodo emissor de luz, ou seja, quando é polarizado diretamente um led se acende. A tensão necessária para acender a grande maioria de leds é de 1,7V. Hoje em dia encontramos leds que se acendem com 1,2 Volts, são leds usados em painéis, tipo um out-door, para propaganda.

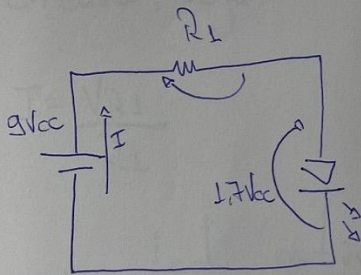
No nosso caso vamos utilizar leds de 1,7V. Também é importante ressaltar que a corrente necessária para acender um led está entre 5 a 20mA. Um valor que pode ser adotado é de 10mA.

Vamos analisar o circuito abaixo:



Qual a tensão que está aplicada sobre R_1 ? ⁽⁴³⁾

Olhando o circuito podemos perceber que o diodo Led está polarizado corretamente e portanto está emitindo luz. Sabemos que para isto acontecer ele terá sobre si uma tensão de $1,7V_{cc}$. Com estas dados já podemos descobrir a tensão sobre R_1 , veja:



Sabendo que a soma das tensões nesta malha é igual a zero temos:

$$0 = V_{cc} - V_{R1} - V_{Led}$$

$$-V_{cc} = -V_{R1} - V_{Led} \quad \text{e para mudar o sinal basta multiplicar os dois lados da equação por } -1.$$

ou

$$V_{cc} = V_{R1} + V_{Led}$$

Como desejamos saber o valor de V_{R1} é só isolarmos:

$$V_{cc} = V_{R1} + V_{Led}$$

$$V_{R1} = V_{cc} - V_{Led}$$

$$V_{R1} = 9 - 1,7$$

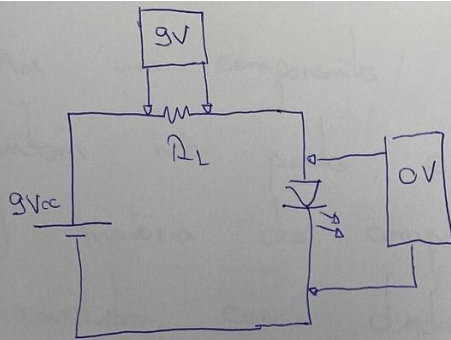
$$V_{R1} = 7,3 \text{ Volts}$$

Caso soubéssemos o valor de R poderíamos, aplicando a lei de ohm, calcular a corrente no circuito, veja:

$$I = \frac{V_{R1}}{R1}$$

Se o Led estivesse polarizado corretamente nos não acendesse onde poderia estar o defeito? Vamos analisar com um multímetro e seguindo o princípio que: em uma malha fechada, toda a tensão ficará sobre o componente aberto ou que impede a circulação de corrente.

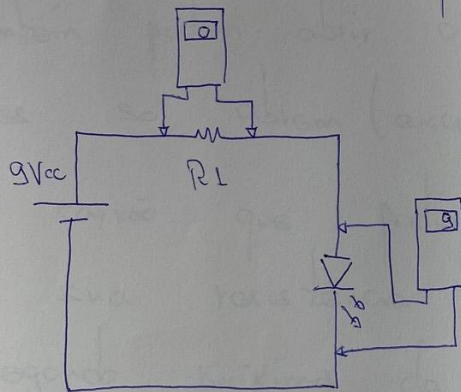
Vamos medir:



45

Como toda a tensão está sobre o resistor R_1 é ele quem está aberto.

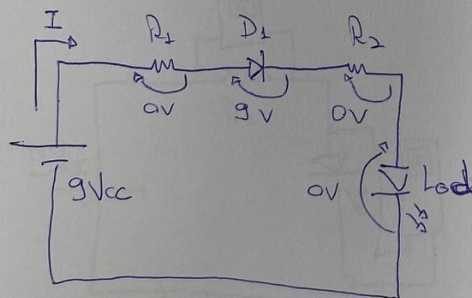
outra possibilidade



Como toda a tensão está sobre o Led é ele quem está aberto.

Exercício

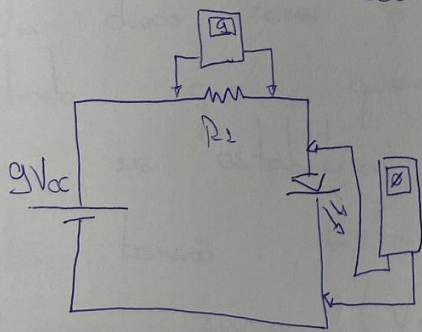
No circuito abaixo quem está aberto



Mas um componente só pode abrir? Ele ⁽⁴⁶⁾ também não pode entrar em curto!

A maioria dos componentes, que utilizam material semicondutor, como diodos, leds, transistores, etc podem tanto abrir como entrar em curto. Capacitores também podem abrir ou entrar em curto, resistores só abrem (exceto alguns resistores antigos de carbono que podiam, devido ao aquecimento, ter sua resistência reduzida, em alguns casos, chegando próximo de um curto, $\emptyset$ ohms).

Mas neste caso como identificar o defeito de um circuito? Vamos, por exemplo, analisar o circuito com um led e o resistor:



Dizemos que se o resistor estiver ~~aberto~~ aberta toda a tensão ficaria sobre ele e isto é correto, porém se o led estiver em curto o ~~circuito~~ sintoma é a

distribuição de tensões seria igual. Como saber, (47)
então, qual componente está com defeito?

Existem algumas formas para isto, vamos ver:

- Meça a corrente no circuito, se existir corrente o led está em curto e é por isto que toda a tensão está sobre o resistor.

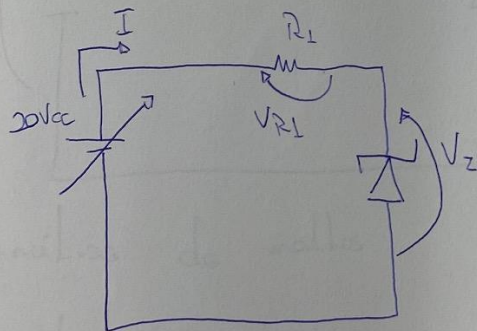
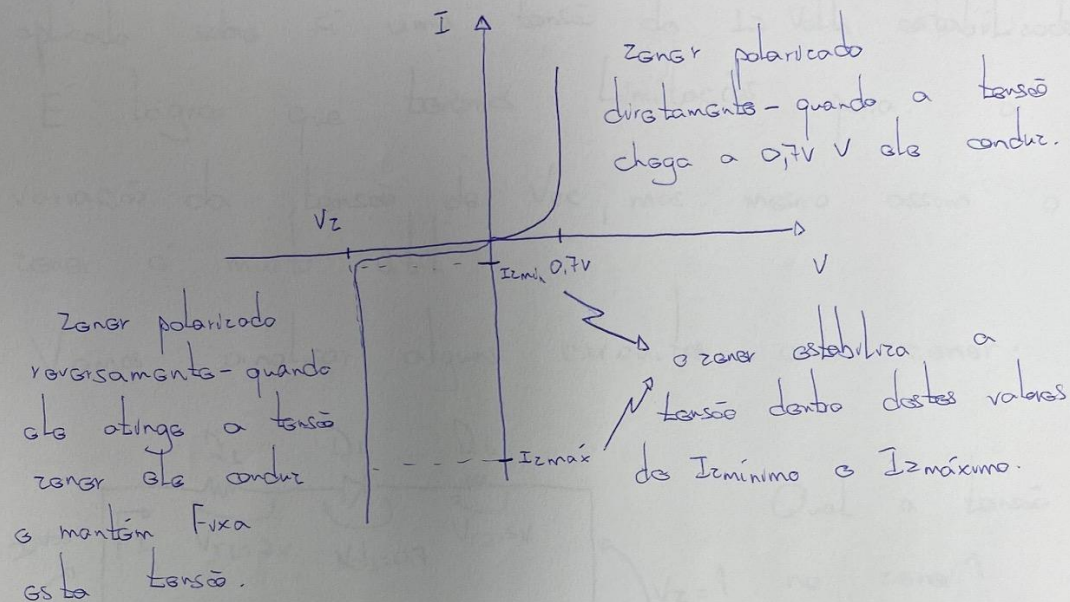
Se não existir corrente o resistor está aberto e por isto toda a tensão está sobre ele.

Tente sempre utilizar esta forma de raciocínio para analisar circuitos.

Usando diodos zener

Um diodo zener é um tipo especial de diodo que quando polarizado inversamente, vai se estabilizar com um determinado valor de tensão. Esta tensão recebe o nome de tensão zener (V_z). Para isto ele deve estar devidamente polarizado com resistores.

Para simplificar vejamos um gráfico do diodo zener e um circuito. (48)



no caso o zener seja o LN4742 a tensão V_Z será de 12V, a diferença dos 20V ficarão sobre R_1 , ou

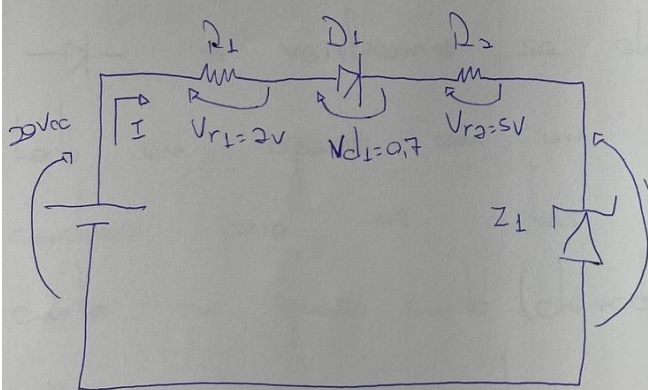
seja a tensão sobre R_1 será de 8Volts.

$$V_{R1} = V_{cc} - V_Z = 20 - 12 = 8 \text{ volts.}$$

Caso a tensão de V_{cc} varie o zener (49) irá manter as 12 Volts Fixas. Sendo assim, qualquer componente colocado em paralelo com ele, terá aplicado sobre si uma tensão de 12 Volts estabilizada.

É lógico que teremos Limitações para a Variação da tensão de V_{cc} , mas mesmo assim o zener é muito útil.

Vamos analisar alguns circuitos com zener:



Qual a tensão no zener?
Para descobrirmos isto é só aplicarmos

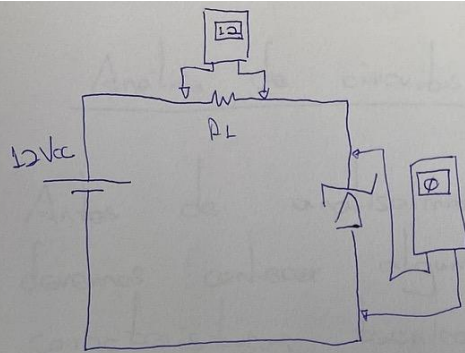
análise de malhas:

$$V_{cc} = V_{r1} + V_{d1} + V_{r2} + V_z$$

$$20 = 2 + 0.7 + 5 + V_z$$

$$V_z = 20 - 2 - 0.7 - 5$$

$$V_z = 12.3 \text{ Volts}$$

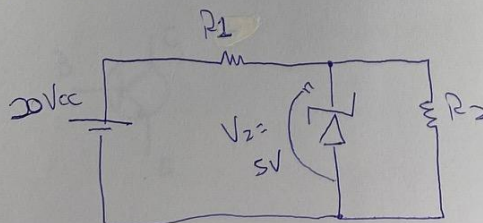


De acordo com as medições qual componente está com defeito?

- Se existir corrente pelo circuito o zener estará em curto e toda a tensão fica sobre R_1 . Para testar o zener usamos a escala de Ohms ou $\rightarrow$ e verificamos se ele só conduz para um lado ou apenas em um sentido. Se ele conduzir para os dois lados ele estará em curto ou quase curto (chamado de fuga).
- Se não existir corrente no circuito R_1 estará aberto.

Exercício:

Qual a tensão sobre R_2



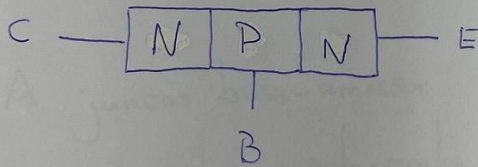
Análise de circuitos com transistores

(51)

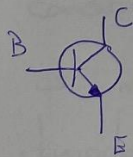
Antes de analisarmos um circuito transistorizado devemos conhecer algumas considerações teóricas e características técnicas dos mesmos. Cabe lembrar que estamos falando sobre transistores bipolares ou "comuns", outros tipos de transistores como: UJT, FET, etc não serão analisados nesta apostila.

Existem dois tipos básicos de transistores bipolares, os NPN e os PNP. O que diferencia um do outro é a polaridade de seus terminais, veja as figuras abaixo:

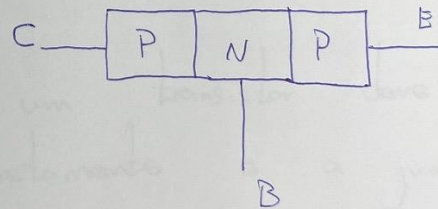
Transistor NPN



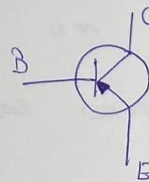
Símbolo



Transistor PNP



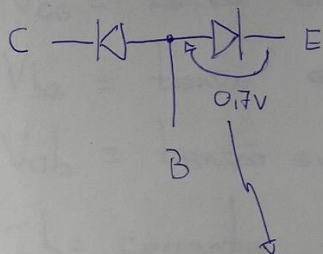
Símbolo



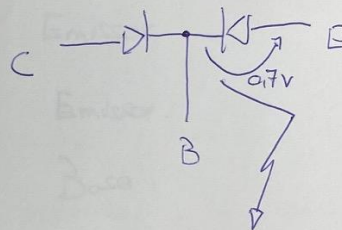
C = coletor
B = base
E = emissor

Hoje em dia a maioria dos transistores bipolares são feitos a base de silício, devido a isto tem, quando em funcionamento, uma tensão de $0,7V$ entre base e emissor. Podemos perceber isto representando os transistores de uma forma bem simples:

Transistor NPN



Transistor PNP



Como a junção BE (base-emissor) é um diodo, se a polarizarmos diretamente, teremos sobre ela uma tensão de $0,7V$.

A junção base-emissor de um transistor deve sempre estar polarizada diretamente e a junção base-coletor deve estar polarizada reversamente.

Nestas condições poderemos usar um transistor para montar as mais diversas circuitos como: amplificadores, misturadores, chaveadores, etc.

Um transistor irá apresentar, quando em funcionamento, tensões entre seus terminais e correntes circulando através dos mesmos.

Como já sabemos um transistor bipolar tem 3 terminais que são base, coletor e emissor.

Podemos ter então:

V_{CE} = tensão entre Coletor e Emissor.

V_{BE} = tensão entre Base e Emissor.

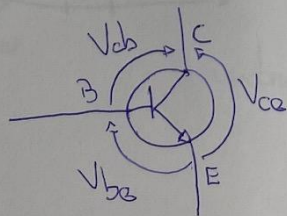
V_{CB} = tensão entre Coletor e Base.

I_B = corrente de Base.

I_C = corrente de Coletor.

I_E = corrente de Emissor.

Existem algumas relações entre estas tensões e correntes. Por exemplo a tensão de V_{CE} deve sempre ser igual a soma da tensão V_{BE} + V_{CB} , temos então:



$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

(54)

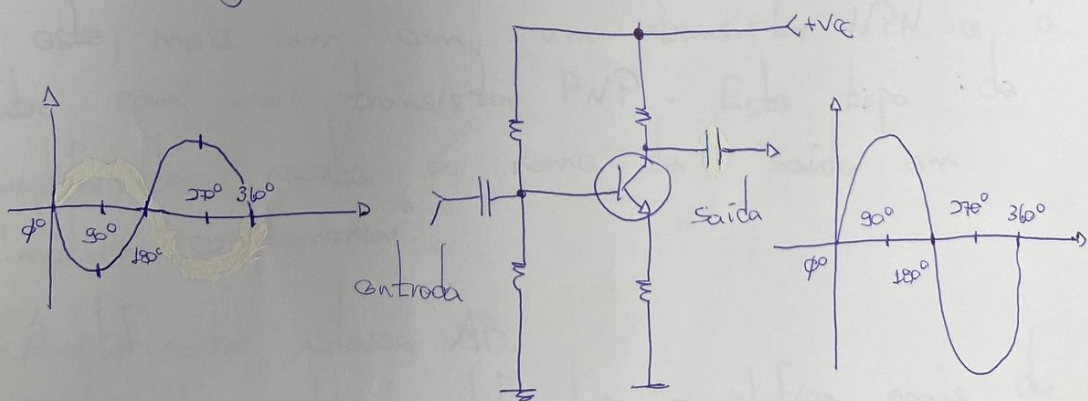
Isto se este transistor estiver fazendo uma Função de amplificador classe A ou AB.

Mas o que é isto de amplificador classe A, AB, isto?

É que um transistor pode ser polarizado de forma a funcionar de várias maneiras.

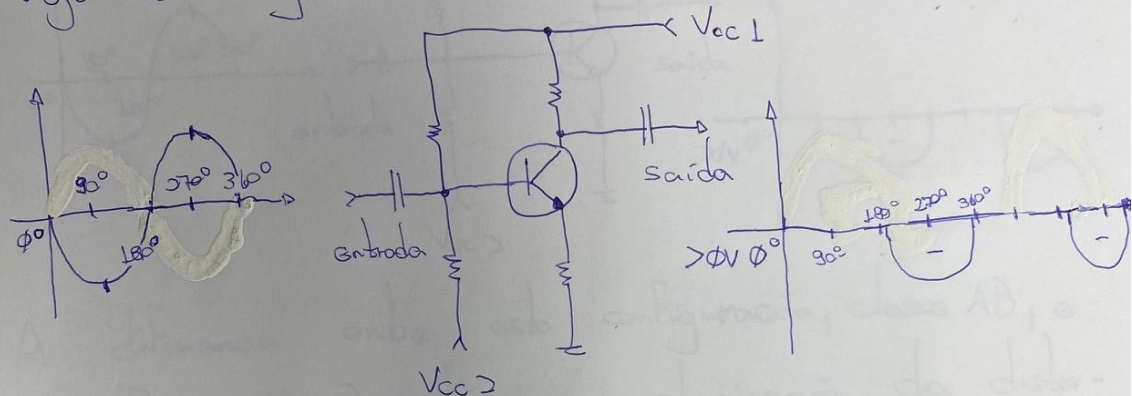
- Amplificador classe A

Neste tipo de polarização um transistor estará sempre conduzindo corrente e dissipando potência, mesmo quando não está amplificando nenhum sinal. Teoricamente dizemos que ele estará apto a amplificar as 360° de uma senoíde. Veja o circuito:



- Amplificador classe B

Este tipo de amplificador só amplifica metade da senoide, pois está polarizado para isto. Veja a Figura:

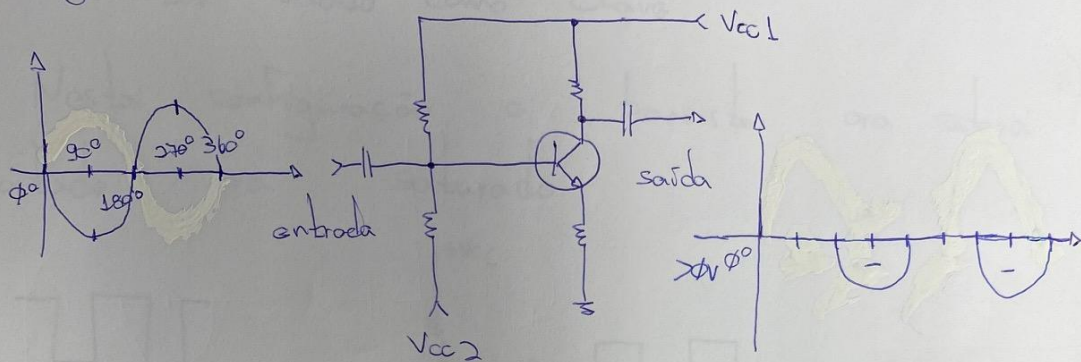


Dá para perceber que ele só amplifica um semiciclo, sendo assim, podemos perceber que este tipo de amplificador não serve para amplificar áudio. Para amplificarmos a senoide completa precisaríamos montar dois conjuntos semelhantes a este, mais um com um transistor NPN e o outro com um transistor PNP. Este tipo de amplificador recebe o nome de "saída em simetria complementar".

- Amplificador classe AB

Este tipo de amplificador amplifica mais da

que 180° e menos do que 360° . Na verdade (56) ele amplifica só um pouco mais de 180° .
 Veja a Figura:



A diferença entre esta configuração, classe AB, e a configuração B, está na eliminação da distorção do sinal amplificado com dois circuitos iguais a este montados em simetria complementar. Na configuração B teremos uma distorção, chamada de crossover, que é consequência do transistor só começar a conduzir a partir da tensão de $0,7V$ entre base e emissor. Na configuração classe AB, como o transistor já tem a tensão de $0,7V$ entre base e emissor, esta distorção não acontece.

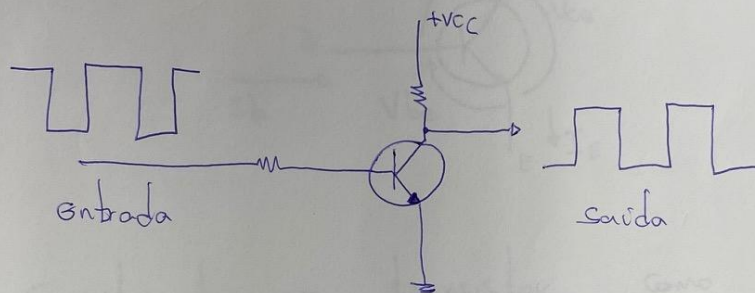
— Amplificador classe C

Este tipo de amplificador conduz menos

do que 180° . Esta configuração é comum em amplificadores e osciladores de Rádio Frequência. (57)

— transistor usado como chave

Nesta configuração o transistor ora estará cortado ora saturado



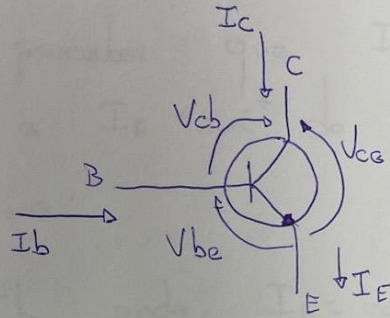
Repare que o sinal da saída está invertido em relação ao da entrada. Este mesmo efeito ocorre nas configurações anteriores.

Para medir as tensões em transistores devemos ter estes exemplos em mente e levá-los em consideração.

Existem outras montagens com transistores, por exemplo a classe D e a classe E, mas não vamos citá-las nesta apostila.

As diferenças nas polarizações A, AB, B e C são definidas pela polarização e/ou valor dos resistores e tensões de polarização e alimentação.

Vamos relembrar algumas características, em relação às tensões e correntes nos transistores bipolares, para começar, depois, as análises de circuitos. (58)



Considerando um transistor como uma malha fechada e levando-se em conta o sentido das tensões, podemos perceber que a soma das tensões é igual a zero, ou seja:

$$V_{ce} - V_{cb} - V_{be} = 0 \quad \text{portanto}$$

$$V_{ce} = V_{cb} + V_{be}$$

As correntes I_b , I_c e I_e também tem uma relação entre si, veja:

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} \quad \text{onde:}$$

I_b = corrente de base
 I_c = corrente de coletor
 β = beta ou ganho do transistor. Esta grandeza é fornecida pelo fabricante.

Podemos perceber que I_c e I_b "entram" no transistor e I_E "sai" de mesmo. Desta forma dissemos que:

$$I_E = I_c + I_b \quad \text{onde: } I_E = \text{corrente de emissor}$$

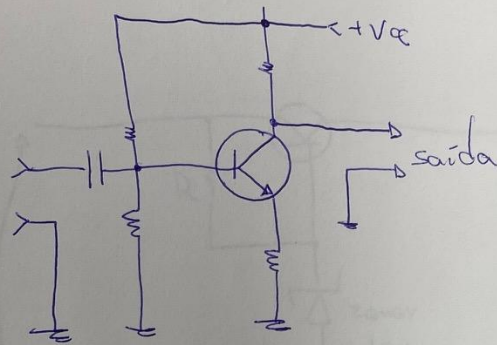
Quando o β é maior do que 100 podemos dizer que $I_c \approx I_E$ pois a corrente de base será muito pequena.

O β (beta) também pode ser representado por H_{FE} .

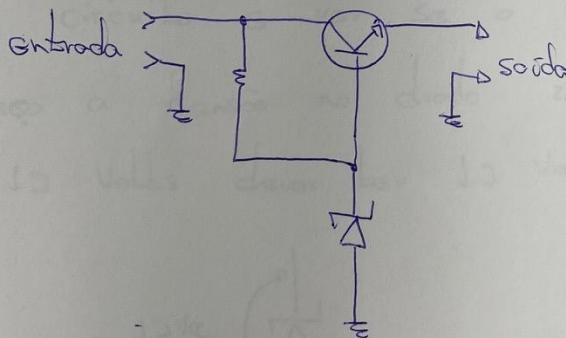
Em nossos exemplos, quase sempre, estaremos usando transistores NPN pois são os mais utilizados.

Os transistores tem 3 tipos de montagens básicas: coletor comum, emissor comum e base comum.

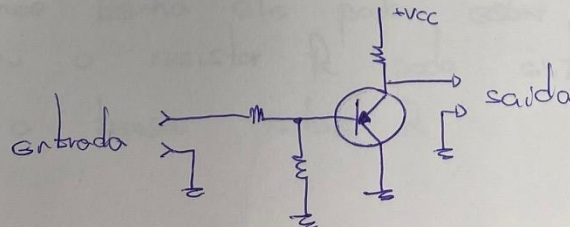
Na montagem emissor comum o emissor é (60)
comum tanto na saída como na entrada, veja:



Na montagem base comum a base faz
parte da entrada como da saída.

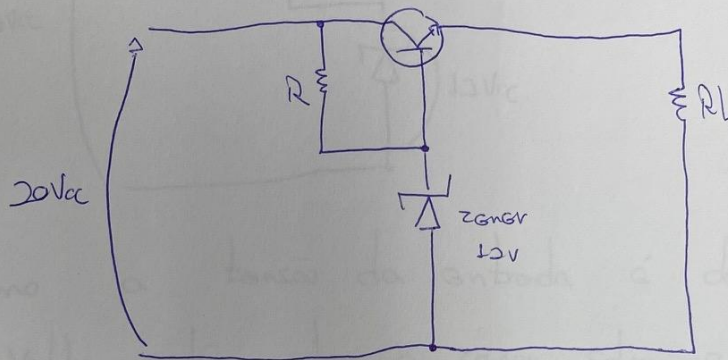


Na montagem coletor comum o coletor faz
parte tanto da entrada como da saída.



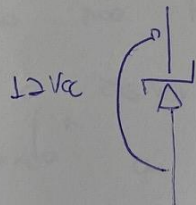
Analisando circuitos transistorizados

61



Usando um multímetro na escala de tensão contínua podemos facilmente identificar as tensões neste circuito e ver se o mesmo está O.K.

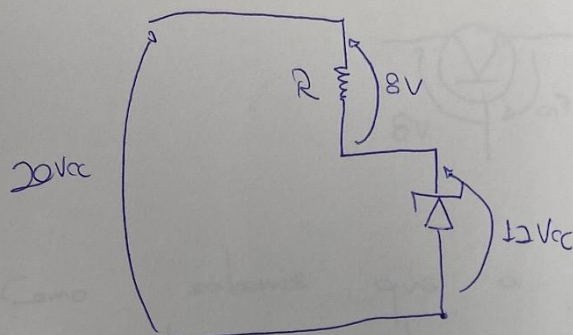
- Meça a tensão no diodo zener, como ele é de 12 Volts dever ter 12 Volts sobre ele.



Caso não tenha ele poder estar com fuga ou em curto ou o resistor R pode estar aberto.

- Meça a tensão sobre R

(62)

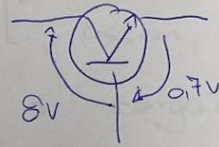


Como a tensão da entrada é de 20V e 12 Volts estão sobre o zener, sobre o R deverá ter 8 volts. Esta parte pode ser analisada como uma malha fechada:

$$20V_{cc} = 8 + 12$$

Caso a tensão sobre ele seja menor ou 0 volts a junção coletor-base pode estar em curto. Caso não haja nenhuma tensão sobre ele e sobre o zener, provavelmente não está "chegando" a tensão de 20V.

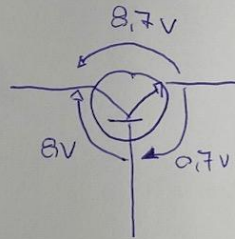
- A tensão entre coletor e base deve ser igual a 8 volts pois estão em paralelo com o resistor R.



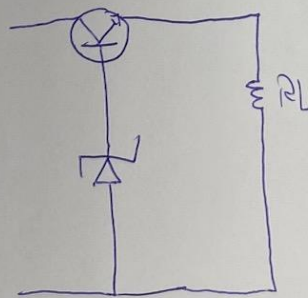
Como sabemos que a tensão entre base e emissor é de 0,7V podemos calcular e depois medir a tensão entre coletor e emissor:

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

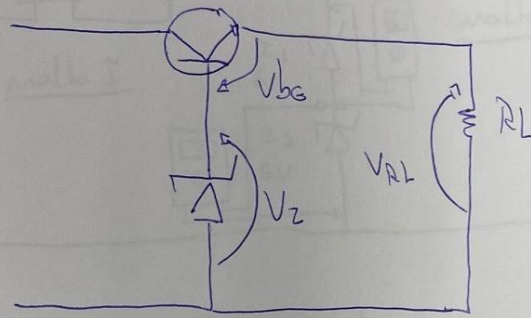
$$V_{CE} = 8 + 0,7 = 8,7V$$



Olhando, agora para a saída do circuito



podemos perceber que também é uma malha 64
fechada, fica fácil, assim, descobrirmos qual é
a tensão sobre a carga (R_L).



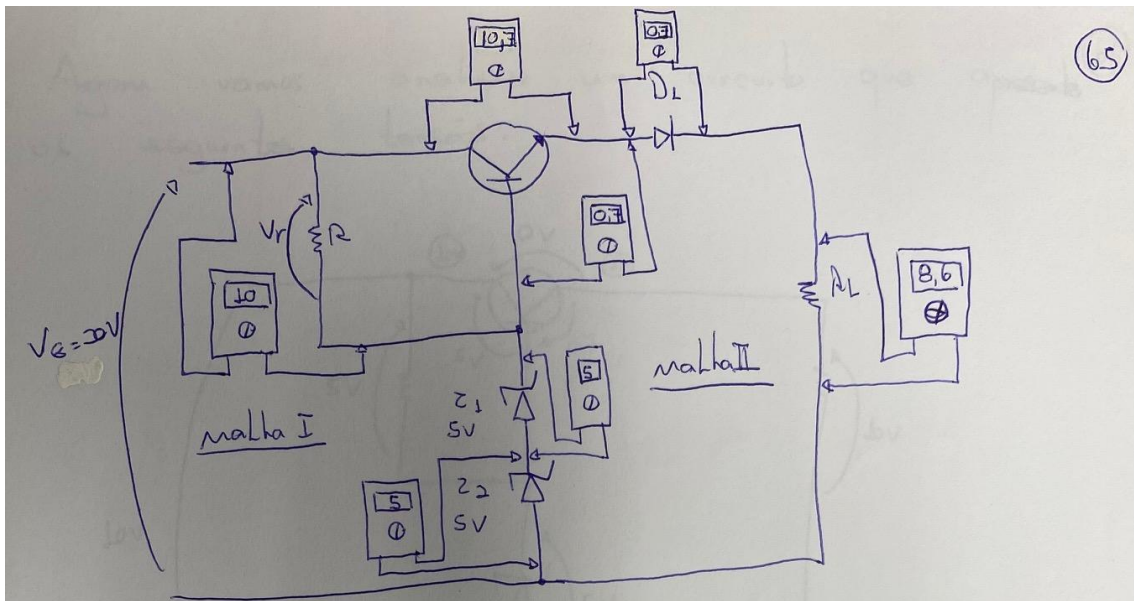
$$\phi = V_Z - V_{be} - V_{RL}$$

$$V_{RL} = V_Z - V_{be}$$

$$V_{RL} = 12 - 0,7 = 11,3V$$

Pronto, com um multímetro e um pouco de
lógica descobrimos todas as tensões no circuito
proposto.

Outros exemplos:



Todas as medições estão corretas, mas podemos confirmar isto analisando as malhas.

$$\phi = V_g - V_r - V_{Z1} - V_{Z2}$$

$$\phi = 20 - 10 - 5 - 5$$

$$\phi = \phi$$

→ malha I

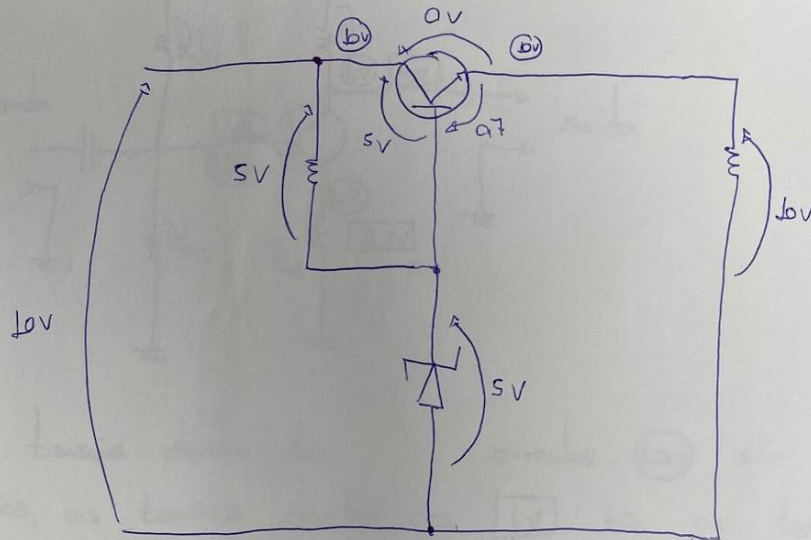
$$\phi = V_{Z1} + V_{Z2} - V_{D1} - V_{RL}$$

$$\phi = 5 + 5 - 0.7 - 0.7 - 8.6$$

$$\phi = \phi$$

→ malha II

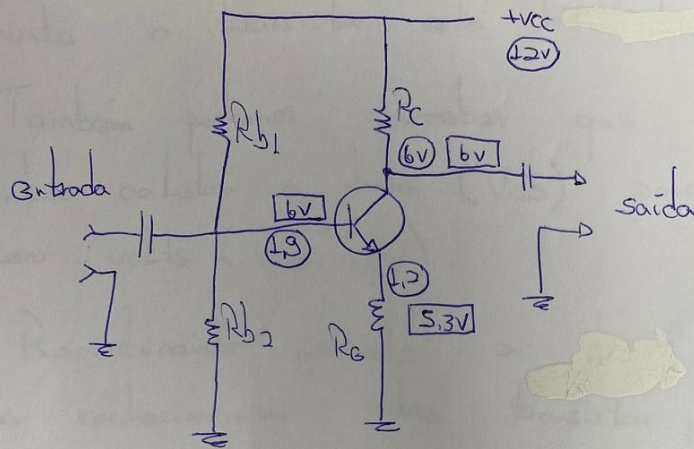
Agora vamos analisar um circuito que apresenta os seguintes tensões: (66)



Onde está o problema neste circuito?

Sabemos que em um transistor a tensão V_{ce} deve ser a soma de $V_{be} + V_{cb}$ o que daria 5,7 Volts. Podemos ver, através das tensões que simulam as leituras, que $V_{ce} = 0V$. Com certeza a junção Coletor-emissor está em curto e o transistor deve ser trocado. As tensões dentro de um círculo indicam que foram medidas em relação ao terra.

Qual componente está defeituoso no circuito abaixo? (67)



As tensões dentro dos círculos (12V) são as tensões corretas, as tensões dentro dos [6V] são as tensões medidas. Todas as tensões foram medidas em relação ao terra.

Uma das maneiras de se descobrir o defeito é medindo-se a tensão e fazendo análise de malhas, ou por comparação com as tensões indicadas como corretas.

Neste exemplo a tensão correta sobre o resistor de emissor deve ser de 12V e a tensão na base 4.9V, mas estão errados.

Podemos medir as tensões V_{ce} , V_{cb} e V_{be} e verificar se eles estão corretos:

- $V_{ce} = 0.7V$ deveria ser igual a 4.8V.
- $V_{cb} = 0V$ deveria ser igual a 4.1V.
- $V_{be} = 0.7V$ deve ser igual a 0.7V.

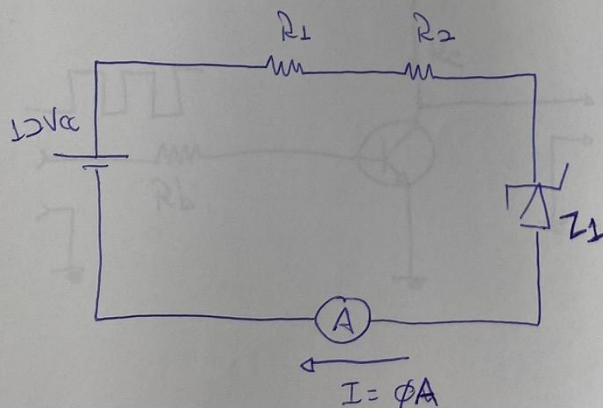
As tensões V_{ce} e V_{cb} estão erradas e, provavelmente, o transistor está danificado. (68)

Também podemos perceber que não existe tensão entre coletor e base (V_{cb}) pois ela é igual a zero volts ($V_{cb} = 0V$).

Raciocinando usando a Lei de Ohm e os conhecimentos sobre transistor, perceberemos que: se não há tensão entre coletor e base é porque a resistência é muito baixa, ou seja, a junção está em curto.

" $V = R \times I$ quando menor o valor de R menor será o valor de V ."

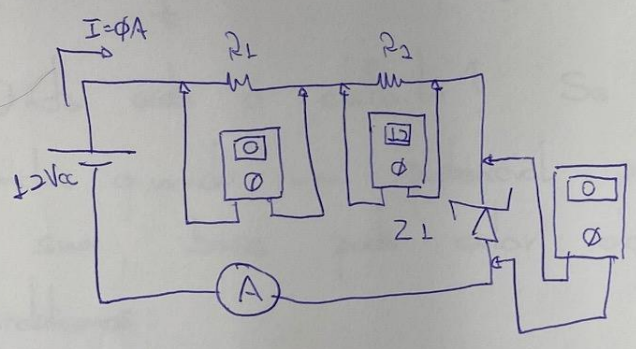
Veja este outro circuito:



(69)

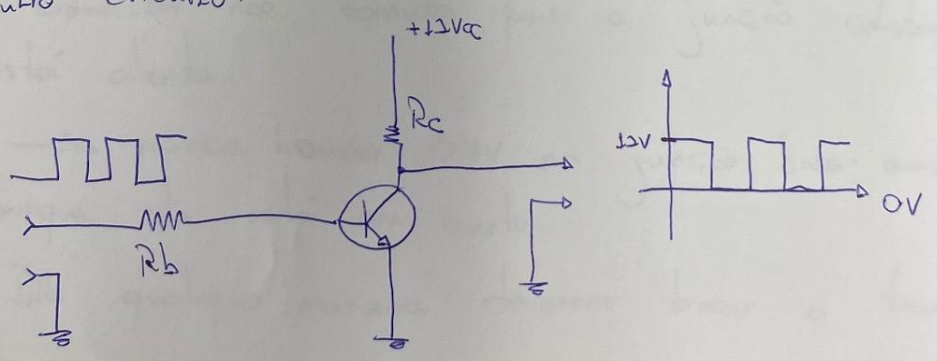
A corrente nele, marcada pelo amperímetro $\textcircled{A}$, é igual a ϕA . Qual o componente defeituoso?
Como já sabemos em um circuito série, por onde não circula corrente, toda a tensão estará aplicada sobre o componente que está aberto e impede a circulação da corrente.

Vamos as medições:

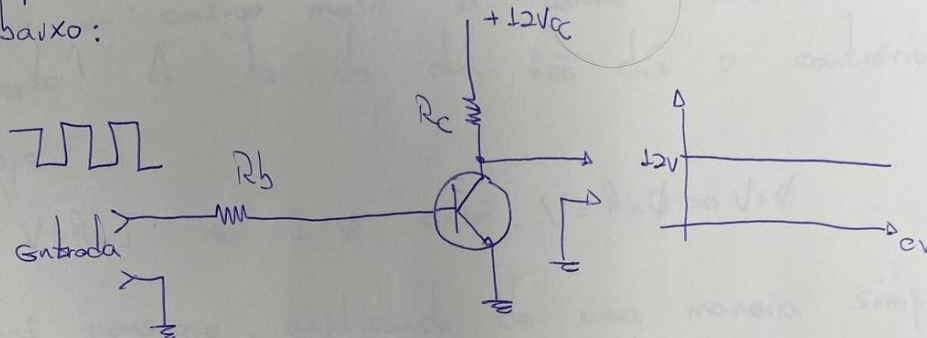


O componente defeituoso é o resistor R_2 .

Outro circuito:



Funcionando corretamente as Formas de onda
devem ser as desenhadas no circuito, mas vamos
supor que aconteça o que indica a Figura
abaixo:



Onde está o defeito? Se o transistor não
conduz quando um potencial positivo é aplicado
a sua base pode estar acontecendo dois
problemas:

- se medirmos 0,7V na junção base-emissor quando
um pulso positivo é aplicado na entrada provavelmente
o transistor não comuta pois a junção coletor-emissor
está aberta.

- se nunca houver 0,7V na junção base-emissor é
porque ela está em curto.

De qualquer maneira devemos trocar o transistor.

Questões importantes

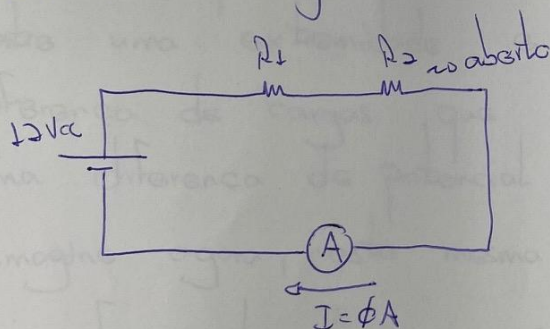
1a)

Se em um circuito aberto não existe corrente, como eu consigo medir a tensão sobre um componente aberto? A lei de Ohm não diz o contrário?

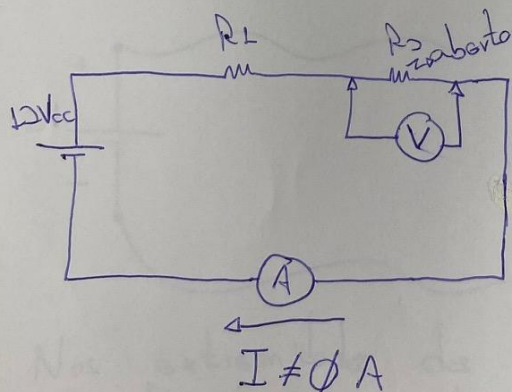
Veja:

$$V = R \times I \quad \text{se } I = \emptyset \quad \text{então: } V = R \times \emptyset = 0 \quad V = \emptyset$$

Você consegue, explicando de uma maneira simples, porque a corrente existirá, ela circulará pelo multímetro. Veja:



Ao colocar o multímetro teremos:

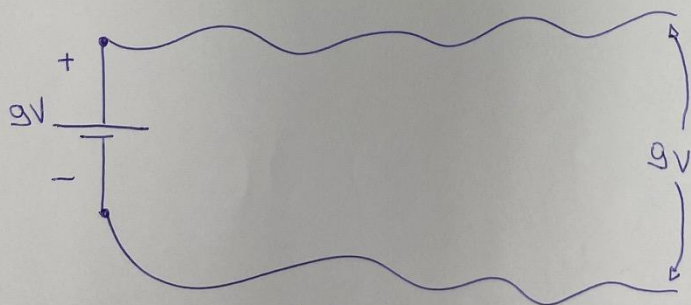


Como a resistência interna do multímetro (V) é alta, toda a tensão ficará sobre ele.

Podemos utilizar, também, de outro raciocínio para entender isto. Imagine uma bateria de 9V: (72)

$$9V \frac{+}{-}$$

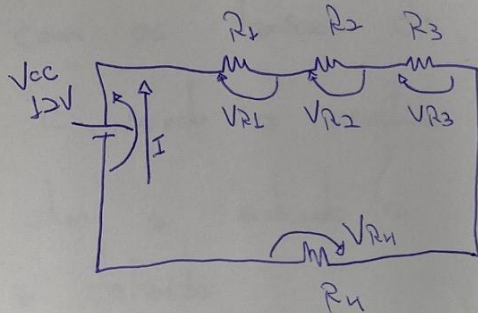
O seu lado positivo está cheio de cargas positivas e o seu lado negativo cheio de cargas negativas. Elas ficam separadas devido ao eletrólito que forma a bateria. Temos então, entre uma extremidade e outra da bateria uma diferença de cargas que é a mesma coisa que uma diferença de potencial que é a tensão. Imagine agora, esta mesma bateria, ligada com dois fios longos.



Nas extremidades dos fios teremos 9 volts. É como se o fio fizesse parte da bateria. Podemos aplicar

este mesmo raciocínio em circuitos eletrônicos. (73)

2ª) A tensão resultante em uma malha fechada será sempre igual a zero volts. Veja:



$$V_{R1} = 5V$$

$$V_{R2} = 5V$$

$$V_{R3} = 1V$$

$$V_{R4} = 1V$$

$$\phi = V_{CC} - V_{R1} - V_{R2} - V_{R3} - V_{R4}$$

$$\phi = 12 - 5 - 5 - 1 - 1$$

$$\phi = \phi$$

Antes de consertar um circuito tente analisá-lo da melhor forma possível. Veja a distribuição das tensões e, se possível, das correntes. Compare-as com as tensões do esquema, se possível.

É, usando a análise de malhas, a lei de ohm e sabendo a função dos componentes o que o defeito.

Só agora, com o auxílio do ohmímetro, teste ohmicamente o componente.

Boa Sorte.

Índice

75

- 02 - Lei de Ohm
- 04 - malha fechada (Leis de Kirchhoff)
- 13 - circuito série
- 14 - circuito paralelo
- 18 - circuito misto
- 24 - considerações importantes
- 26 - usando multímetro
- 31 - teorema da superposição
- 38 - circuitos com diodos
- 42 - circuitos com Led
- 47 - usando diodos zener
- 51 - transistor bipolar
- 61 - analisando circuitos transistorizados.
- 71 - Questões importantes.
- 75 - índice.