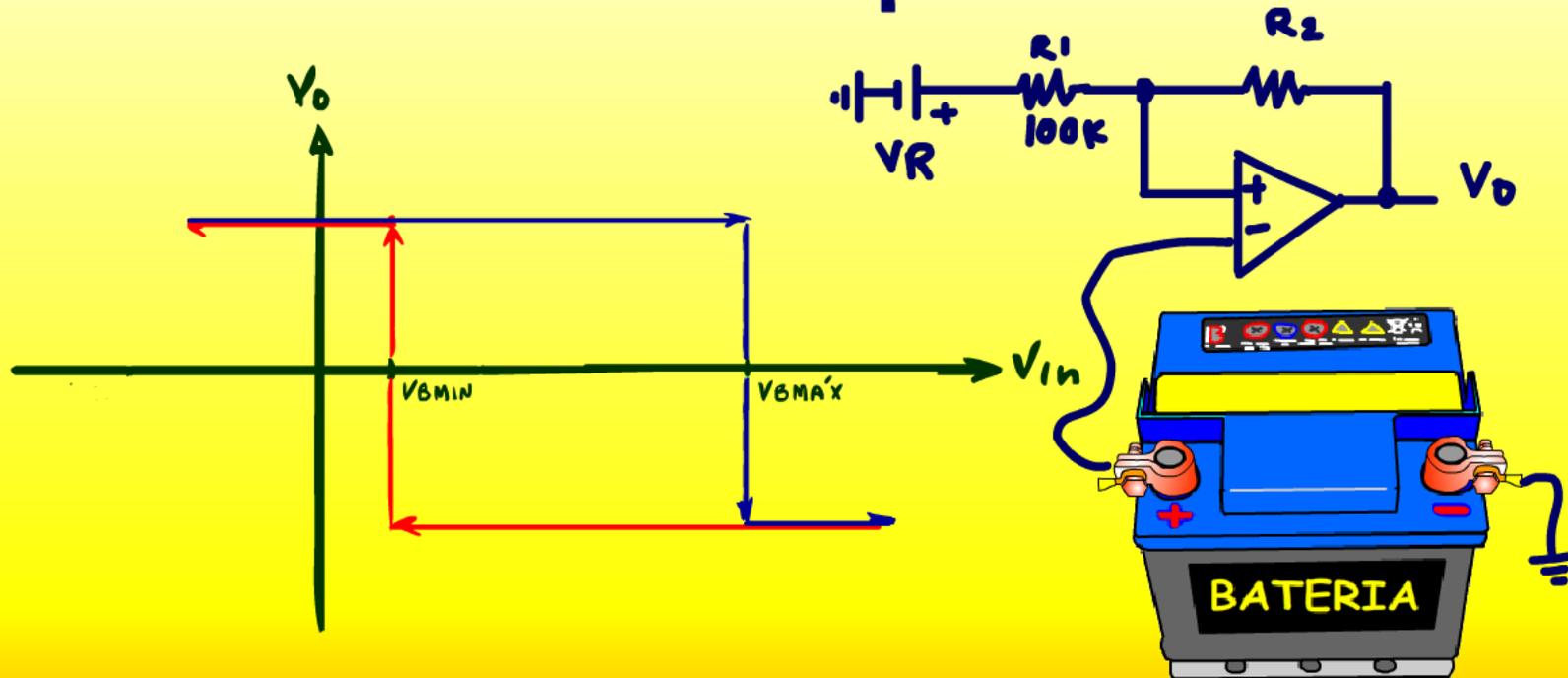


ANALISANDO O CIRCUITO COMPARADOR COM HISTERESE DE FORMA SIMPLES!

Histerese bem explicadinha



Professor Bairros (21/10/2023)



**VISITE
O NOSSO
SITE e
CANAL
YOUTUBE**
www.bairrospd.com
Professor Bairos

www.bairrospd.com

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIROS LÁ EM O PDF E MUITO MAIS.
PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE.

www.bairrospd.com

<https://www.youtube.com/@professorbairros>

Analizando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

Sumário

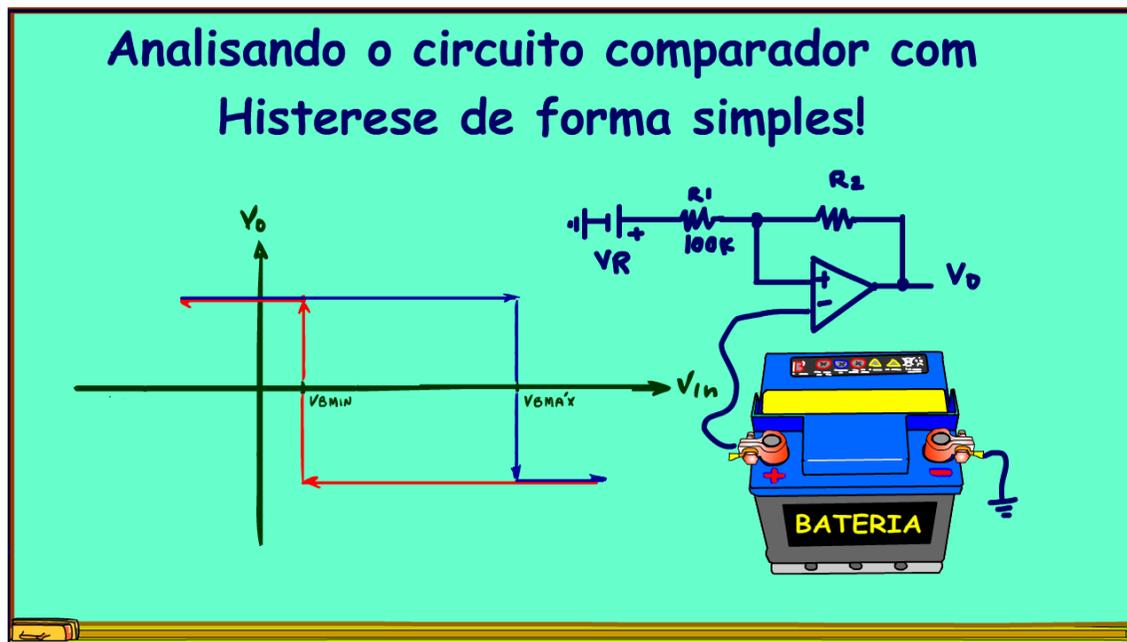
1. Analizando o circuito comparador com Histerese de forma simples!	4
2. O circuito.....	5
3. Descrição do circuito	6
4. O transistor.	7
5. A alimentação.	8
6. O operacional.....	9
7. O circuito de teste.....	10
8. A análise do circuito.....	11
9. O conceito	12
10. O comparador quando a saída é 0V.....	13
11. O comparador quando a saída é igual a +VCC.....	14
12. A equação do circuito com a saída em 0V.	15
13. A equação quando a tensão na saída for igual a +VCC.....	16
14. A equação dos nós.....	17
15. As correntes.	18
16. As equações.	19
17. Resolvendo o sistema.	20

Analizando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

18.	A substituição.	21
19.	Calculando R2.	22
20.	Calculando a tensão de referência.	23
21.	O circuito final.	24
22.	Conclusão.	25
23.	Créditos.	26

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

1. ANALISANDO O CIRCUITO COMPARADOR COM HISTERESE DE FORMA SIMPLES!

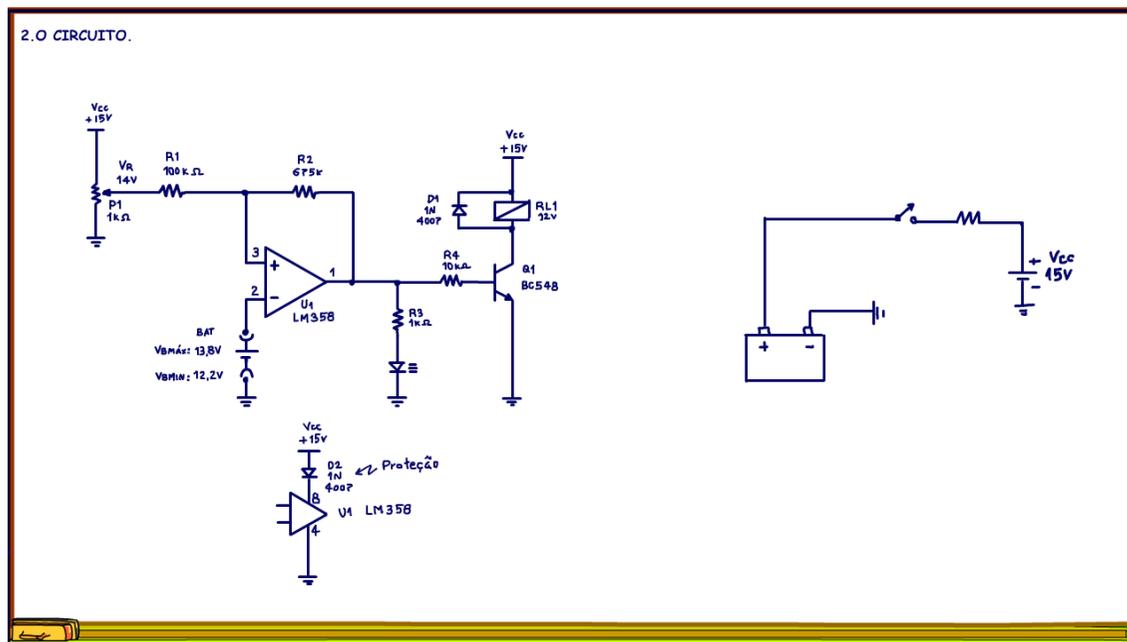


Nesse tutorial eu vou analisar o circuito comparador com histerese mandado pelo seguidor Rafael Miranda, que montou e não funcionou, eu vou montar e vamos ver se vai funcionar?

Vamos lá.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

2. O CIRCUITO.



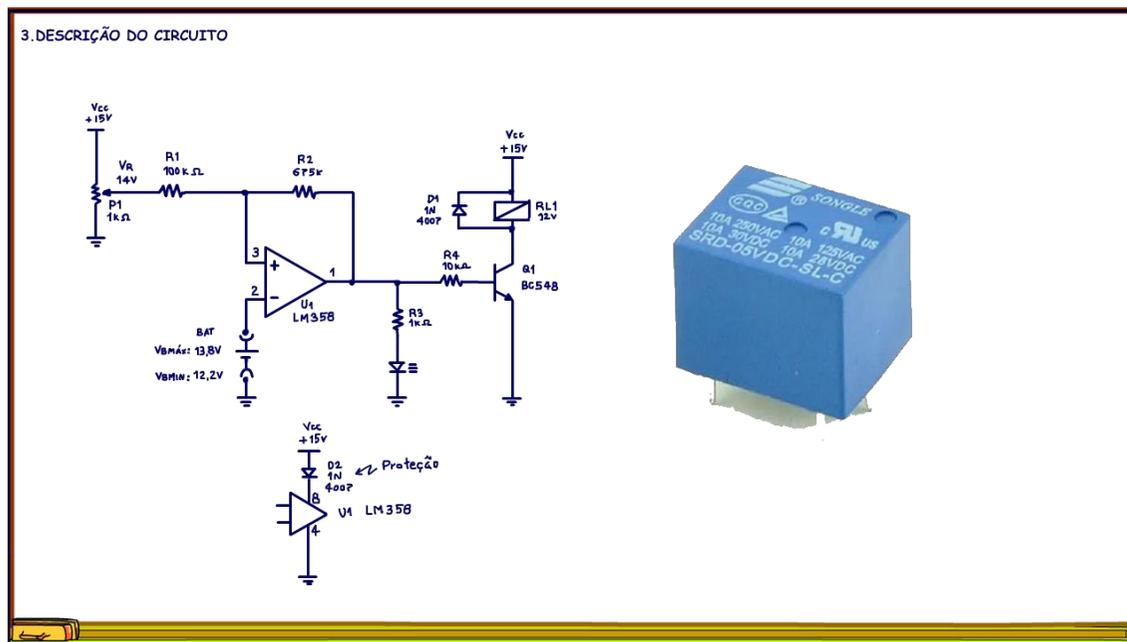
O circuito é mostrado na figura, o Rafael quer fazer um monitor de carga da bateria, quando a bateria estiver carregada desliga a carga, quando baixar a tensão volta a ligar, ele pensou no comparador por histerese para evitar aquele liga/desliga que teria no relé se fosse usado só um comparador simples.

A tensão de bateria carregada, eu chamei de tensão máxima, é de 13,8V e a tensão de bateria mínima é 12,2V, esse foi o critério adotado pelo Rafael.

Eu vou explicar tudo bem explicadinho assim você poderá aproveitar esse projeto e adaptar para o seu projeto que precise de um comparador por histerese.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

3. DESCRIÇÃO DO CIRCUITO

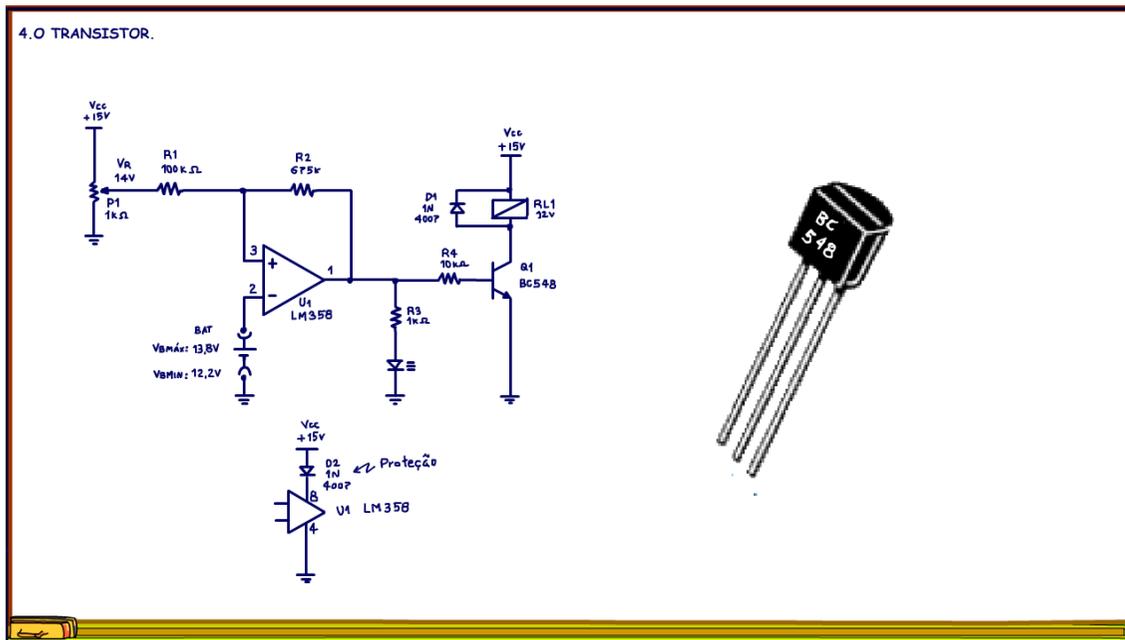


O circuito parece não ter maiores segredos e não tem mesmo, eu não coloquei o circuito da fonte de alimentação de 15V.

O único detalhe é escolher um relé com essa tensão de alimentação da bobina, no diagrama consta um relé de 12V, então teria sido melhor reduzir a tensão da fonte para 12V, mas eu imagino que o Rafael pensou que não poderia baixar a tensão da fonte para uma tensão menor do que a tensão da bateria máxima, mas o Rafael poderia ter feito uma fonte só par ao relé, vou analisar mantendo o circuito original.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

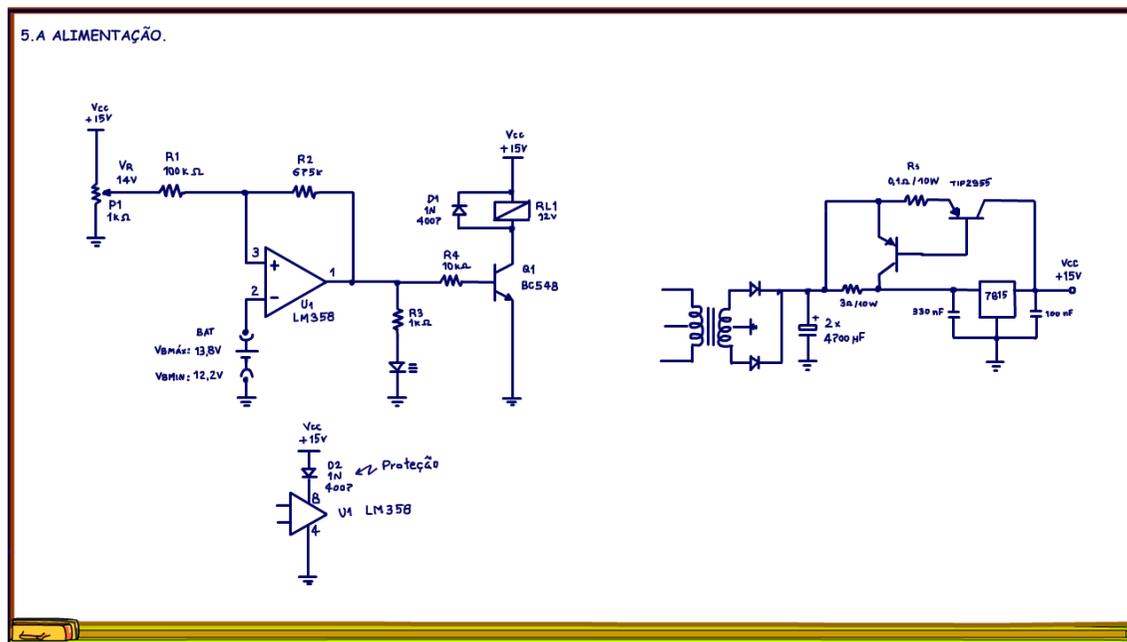
4. O TRANSISTOR.



O transistor é bem pequeno, um BC548 é para 100mA no máximo, então imagino que o relé usado seja um desses para Arduino, o melhor é usar um relé maior e trocar o transistor para um BC337 no mínimo.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

5. A ALIMENTAÇÃO.



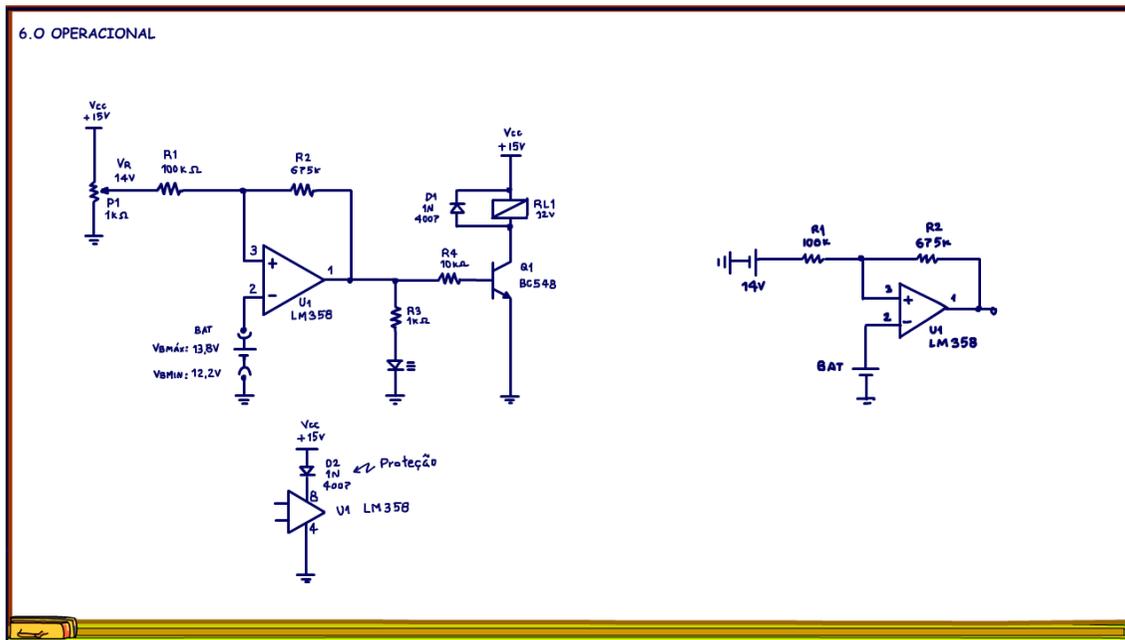
Observar que a fonte de alimentação não é simétrica, isso tem que ser levada em conta no projeto, os comparadores com histerese normalmente são montados com fontes simétricas.

Esse é o circuito montado pelo Rafael, um circuito bem elaborado e com proteção de corrente, essa deve ser a fonte que carrega a bateria também.

No circuito original tem um diodo entre a alimentação de 15V e o pino 8 do operacional com a descrição proteção, mas não precisa, sem o diodo o circuito vai ficar mais estável.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

6. O OPERACIONAL

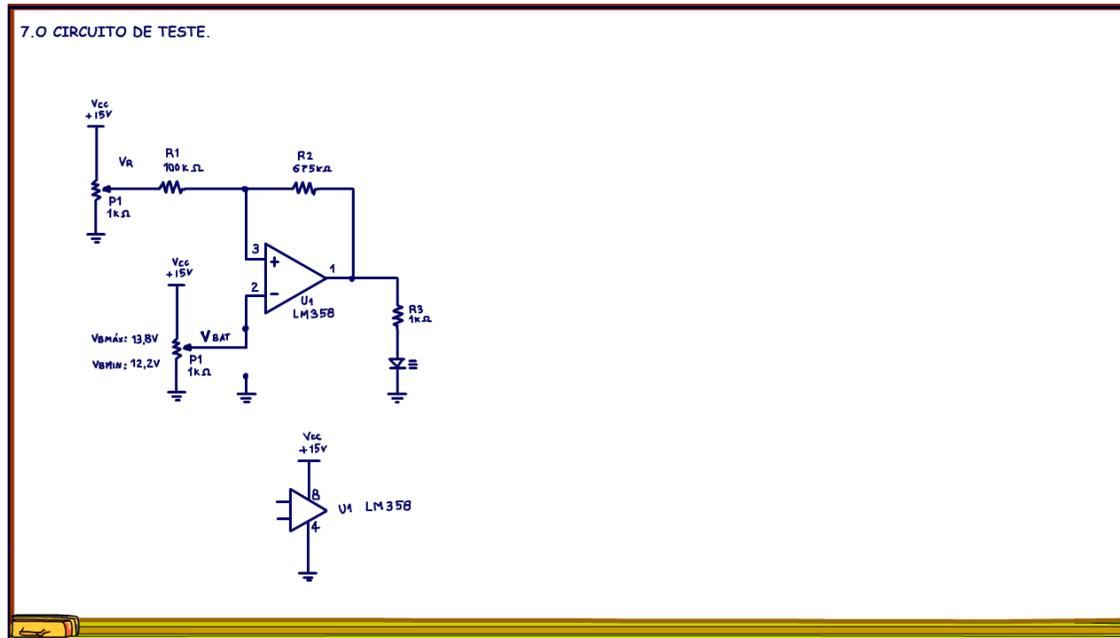


O operacional usado foi o tradicional LM358, parece apropriado.

Os valores das resistências foram calculados pelo Gabriel, ele chegou a conclusão de que a tensão referência deverá ser ajustada para 14V conforme os seus cálculos, claro que eu vou conferir tudinho.

Analizando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

7. O CIRCUITO DE TESTE.



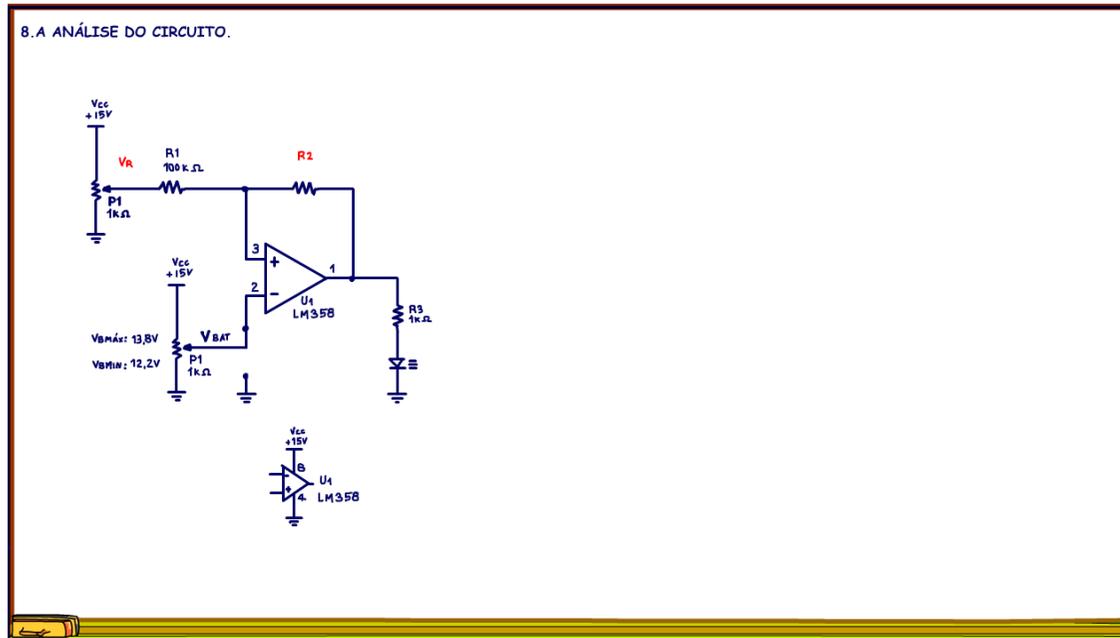
Para testar o circuito eu montei primeiro no simulador, mais tarde vou montar na protoboard.

O circuito do protótipo é esse da figura, agora só com o LED na saída e para simular a tensão da bateria eu coloquei um potenciômetro.

Será que funciona, bem vamos ver agora, primeiro na teoria de forma rápida lépida e rasteira, se os valores baterem com a teoria, então eu vou montar e testar.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

8. A ANÁLISE DO CIRCUITO.

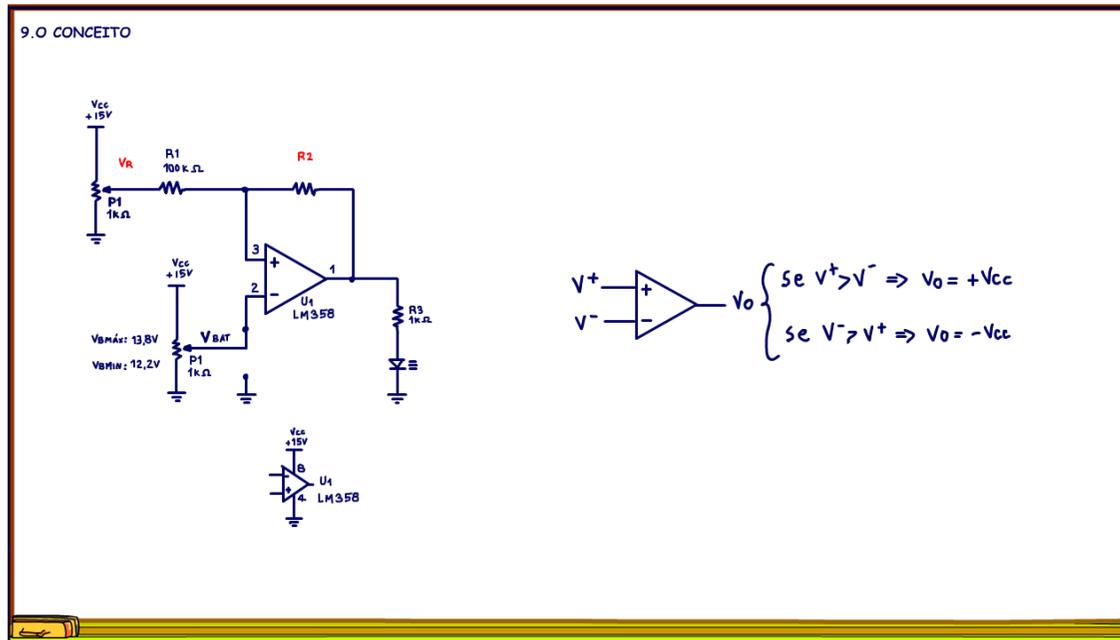


Quando o Rafael começou a pensar no circuito ele não tinha a resistência R2 nem a tensão de referência, então toda a questão seria determinar esses valores, para isso ele pegou uma equação prontinha, botou matemática em cima e chegou nos valores do circuito.

Eu vou resolver, mas agora levantando a equação, vou mostrar que é muito simples levantar as equações desse circuito, assim vocês poderão entender melhor como funciona o comparador por histerese.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

9. O CONCEITO



A primeira coisa que vem a mente quando alguém fala no comparador por histerese é que ele é muito mais complicado do que o comparador comum, que todo mundo sabe que é muito fácil.

No comparador comum a saída só pode assumir dois valores, +VCC ou -VCC, se a tensão na entrada não inversora, a com sinal mais for maior do que a tensão na entrada inversora, então a saída é mais VCC.

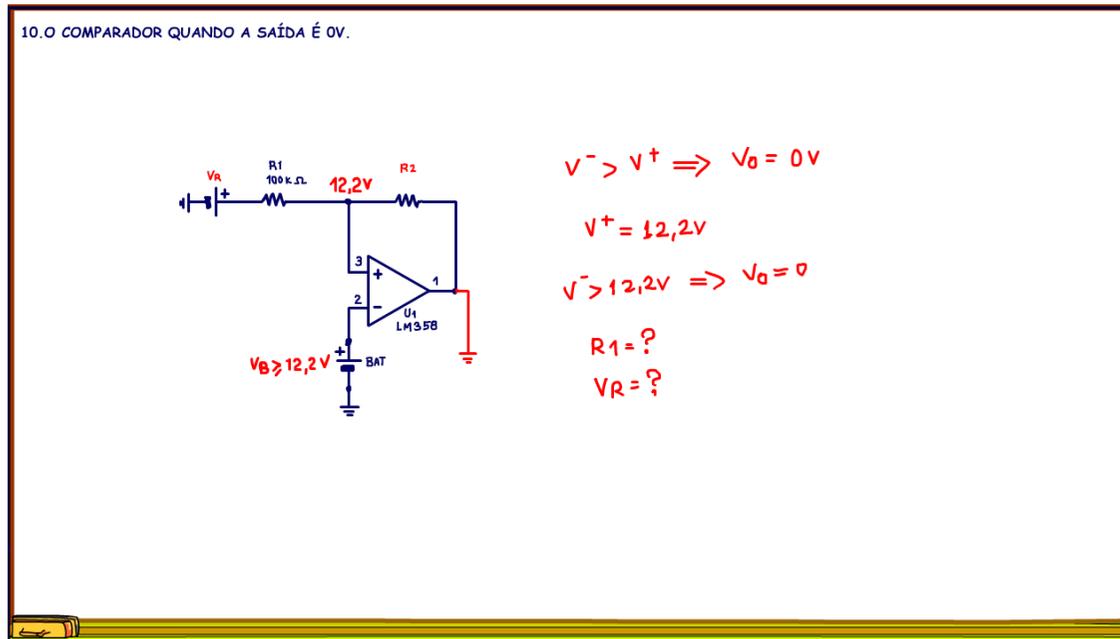
Se a tensão na entrada inversora, aquela com sinal menos é maior, então a saída é menos VCC.

Se você é desses que acha o comparador com histerese é muito complicado, então esse é o tutorial certo,

porque eu vou mostrar que o comparador com histerese não passa de dois comparadores comuns, vou mostrar agora onde eles estão.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

10.O COMPARADOR QUANDO A SAÍDA É 0V.



O primeiro comparador vai acontecer quando a tensão da bateria ligada na entrada inversora, aquela com o sinal menos, for maior do que a tensão na entrada não inversor, aquela com o sinal mais, nesse caso a tensão tenderia a $-V_{CC}$, mas esse circuito não tem fonte simétrica, então a menor tensão possível na saída é zero, esse é o circuito da figura.

Isso vai acontecer quando a tensão na bateria alcançar o valor máximo 13,8V e então for se descarregando.

Nessa situação o circuito se ajusta para esperar a bateria descarregar, por isso a tensão na entrada não inversora deverá ser igual a 12,2V a tensão mínima na bateria.

Assim, enquanto a tensão na bateria for maior do que 12,2V a saída do amplificador operacional é zero volt e o relé vai ficar desligado e a bateria não é carregada.

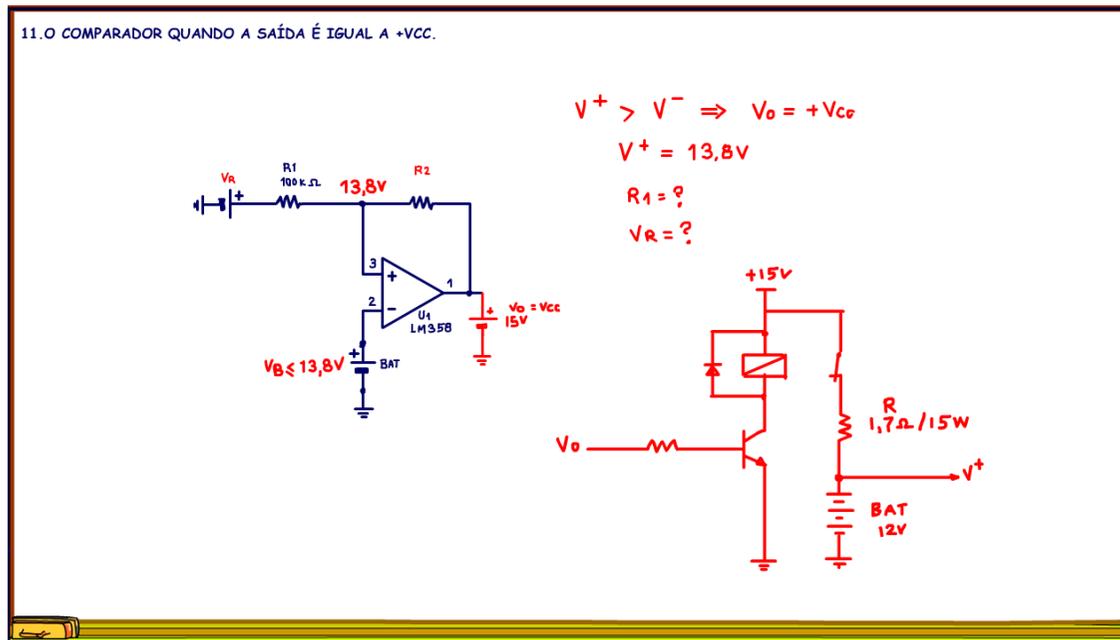
Como ajustar os valores da resistência R1 e da tensão de referência VR para que isso aconteça?

Só com esse circuito não é possível, por isso vamos ver o segundo circuito comparador que é gerado com a histerese.

Quando a bateria descarregar e alcançar o valor de 12,2V, a saída troca para +VCC.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

11.O COMPARADOR QUANDO A SAÍDA É IGUAL A +VCC.



Esse é o segundo circuito comparador, agora com a saída igual a +VCC, isso acontece porque a tensão na bateria é menor do que a tensão na entrada não inversora, a entrada com o sinal mais, por isso a saída vai para +VCC.

Agora a tensão da entrada não inversora deverá ser ajustada para o valor máximo da bateria a tensão de 13,8V, assim a entrada não inversora fica esperando a bateria carregar, viu temos um novo circuito comparador, mas continuamos com duas incógnitas.

Nesse circuito a saída positiva do operacional alimenta a base do transistor que liga o relé e a bateria volta a ser carregada.

Note que ao fechar o contato a fonte não pode ser colocada direto sobre a bateria, tem que ter uma resistência para limitar a corrente de carga máxima e separar a tensão da bateria da tensão da fonte.

O valor da resistência pode ser de 1,7 OHM para uma corrente máxima de carga de 3 A e a potência pode ser de 15W

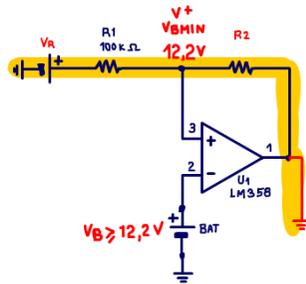
Quando a tensão da bateria alcançar 13,8V, o circuito se transforma no circuito anterior, viu temos dois circuitos comparadores.

Com dois circuitos comparadores é possível resolver as incógnitas que também são duas, vou mostrar como fazer isso.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

12.A EQUAÇÃO DO CIRCUITO COM A SAÍDA EM 0V.

12.A EQUAÇÃO DO CIRCUITO COM A SAÍDA EM 0V.



$$V^+ = V_{BMIN}$$

$$V^+ = V_R \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_R = V^+ \frac{(R_1 + R_2)}{R_2}$$

$$V_R = V_{BMIN} \frac{(R_1 + R_2)}{R_2}$$

O meu objetivo é determinar a tensão de referência e o valor da resistência R2, para isso vou começar por esse circuito, vou levantar a equação do circuito com a tensão de saída igual a zero volt.

Esse circuito tem a malha da figura, note que esse é um circuito divisor de tensão e a tensão sobre a resistência R2 é exatamente a tensão na entrada não inversora o Vmais, que nesse circuito é igual a tensão mínima na bateria VBmin, sempre observando que se a tensão parece sozinha num diagrama, ela está sendo medida em relação ao terra.

Então a tensão Vmais é igual a tensão de entrada, a tensão de referência que multiplica a resistência sobre

a qual eu quero a tensão, dividido pela soma das resistências.

Mas, nesse caso eu tenho o Vmais e quero a tensão de referência, então é só ajustar a equação e pronto essa é a tensão de referência em função da resistência R2.

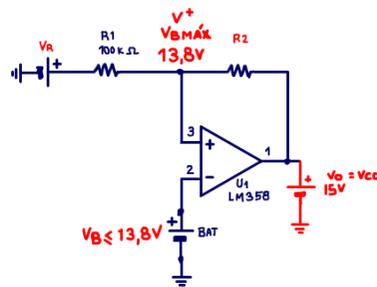
Vou colocar o valor da tensão na entrada não inversora nesse comparador que é igual a tensão mínima na bateria VBmin, o valor real é 12,2V, mas vou deixar de forma literal, se amanhã você quiser usar para outra aplicação.

Pronto essa é a equação da tensão de referência, vou usar essa equação no segundo circuito comparador.

Analizando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

13.A EQUAÇÃO QUANDO A TENSÃO NA SAÍDA FOR IGUAL A +VCC

13.A EQUAÇÃO QUANDO A TENSÃO NA SAÍDA FOR IGUAL A +VCC



Agora vamos a segunda equação, o segundo circuito comparador.

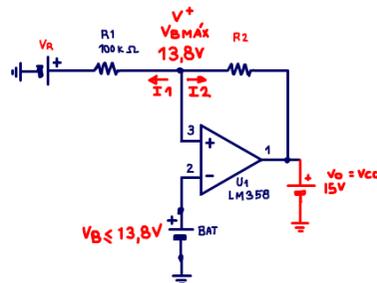
Veja que agora tem uma tensão igual a VCC na saída do operacional, a equação muda.

Aqui eu vou usar a LEI DOS NÓS para levantar a equação, vou usar a análise nodal, fica bem mais fácil, sim isso é possível, nem sempre a equação das malhas é a melhor, se você estiver trabalhando um circuito e notar que está ficando muito complicado, tente a análise nodal, se você não conhece eu deixei o link na descrição desse tutorial que fala tudo sobre a análise nodal, é bem fácil.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

14.A EQUAÇÃO DOS NÓS

14.A EQUAÇÃO DOS NÓS



$$I_1 + I_2 = 0$$

Na análise nodal a gente fixa um nó de referência, nesse caso o terra e marca os nós do circuito, nesse circuito só tem um, o nó da tensão na entrada não inversora V_{mais} .

Nesse circuito a tensão na entrada não inversora esse V_{mais} é igual a tensão máxima na bateria.

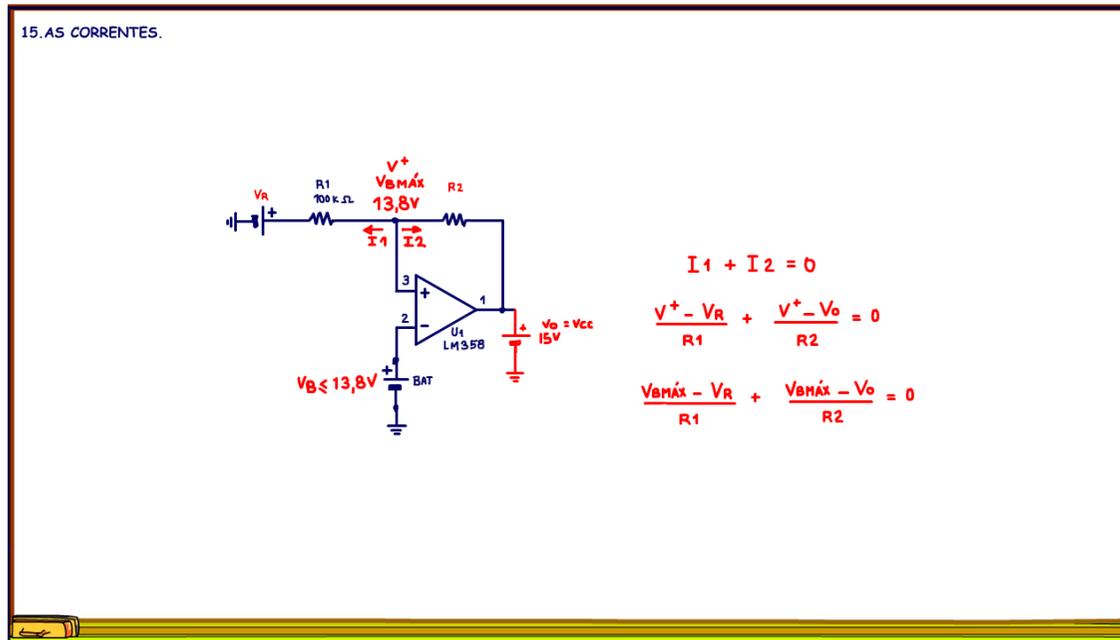
Desse nó saem duas correntes, por convenção a gente escreve todas as correntes saindo, assim, a regra para escrever as correntes será sempre a mesma.

Tem uma corrente saindo para R_1 , vou chamar de I_1 e outra para R_2 , vou chamar de I_2 .

A equação dos nós diz que a soma das correntes no nó é igual a zero, então I_1 mais I_2 é igual a zero.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

15. AS CORRENTES.



As correntes podem ser calculadas sobre as resistências, a corrente I1 pode ser calculada sobre a resistência R1, eu sei a tensão sobre essa resistência, então a corrente I1 é igual a tensão Vmais menos a tensão de referência sobre a resistência R1, simples assim.

Agora é só fazer o mesmo para I2, a corrente I2 é igual a tensão Vmais menos a tensão na saída do operacional VO sobre R2, tudo isso igual a zero.

Eu sei a tensão na entrada V+, nesse circuito é igual a tensão máxima na bateria, que a gente sabe que é igual a 13,8V, eu também sei a tensão na saída Vo, é 15V, mas vou manter assim na forma literal, só no final

vou colocar os valores.

Viu que a equação ficou muito simples usando a análise nodal.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

16. AS EQUAÇÕES.

16. AS EQUAÇÕES.

$V^+ = V_R \frac{R_2}{R_1 + R_2}$
 $V_R = V^+ \frac{(R_1 + R_2)}{R_2}$
 $V_R = V_{BMIN} \frac{(R_1 + R_2)}{R_2}$

$I_1 + I_2 = 0$
 $\frac{V^+ - V_R}{R_1} + \frac{V^+ - V_o}{R_2} = 0$
 $\frac{V_{BMAX} - V_R}{R_1} + \frac{V_{BMAX} - V_o}{R_2} = 0$

$V_B \geq 12,2V$
 $V_B \leq 13,8V$

Agora temos duas equações e duas perguntas, a tensão de referência V_R e a resistência R_2 , isso forma um sistema de equações, mas nesse caso é bem simples de resolver, vou fazer isso agora.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

17. RESOLVENDO O SISTEMA.

17. RESOLVENDO O SISTEMA.

$$\left\{ \begin{array}{l} V_R = V_{BMIN} \frac{(R_1 + R_2)}{R_2} \quad \text{EQ 1} \\ \frac{V_{BMÁX} - V_R}{R_1} + \frac{V_{BMÁX} - V_o}{R_2} = 0 \quad \text{EQ 2} \end{array} \right.$$

$$\frac{V_{BMÁX} - V_R}{R_1} = -\frac{V_o - V_{BMÁX}}{R_2}$$

$$R_2 (V_{BMÁX} - V_R) = R_1 (V_o - V_{BMÁX})$$

$$R_2 \cdot V_{BMÁX} - R_2 \cdot V_R = R_1 (V_o - V_{BMÁX})$$

$$R_2 \cdot V_{BMÁX} - R_2 \cdot V_{BMIN} \frac{(R_1 + R_2)}{R_2} = R_1 (V_o - V_{BMÁX})$$

Vou resolver para encontrar a resistência R2.

Vou resolver por substituição, vou substituir a tensão de referência VR da equação 1 na equação 2.

Antes de substituir vou trabalhar um pouco a equação 2, é simples se você der um passo de cada vez, todos os passos são bem conhecidos, esse é um dos segredos da matemática, caminhe sem pressa.

Primeiro vou passar a soma para o outro lado invertendo o sinal, isso equivale e inverter os operadores do numerador, antes era menos VO agora ficou mais VO, antes era mais VBMáx, agora é menos VBMáx.

Agora vou passar R2 para outro lado multiplicando e R1 para o outro lado multiplicando também, pronto acabei com os denominadores.

Agora vou tirar os parênteses do lado esquerdo da igualdade, multiplicando R2 pelas parcelas dentro dos parênteses, não vou fazer no lado direito porque eu conheço todos os valores, no final vai ficar só um número mesmo.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

18.A SUBSTITUIÇÃO.

18.A SUBSTITUIÇÃO.

$$R2 \cdot V_{B\text{MÁX}} - R2 \cdot V_R = R1 (V_o - V_{B\text{MÁX}})$$

$$R2 \cdot V_{B\text{MÁX}} - R2 \cdot V_{B\text{MIN}} \frac{(R1 + R2)}{R2} = R1 (V_o - V_{B\text{MÁX}})$$

$$R2 \cdot V_{B\text{MÁX}} - V_{B\text{MIN}} (R1 + R2) = R1 (V_o - V_{B\text{MÁX}})$$

$$R2 \cdot V_{B\text{MÁX}} - V_{B\text{MIN}} \cdot R1 - V_{B\text{MIN}} \cdot R2 = R1 (V_o - V_{B\text{MÁX}})$$

$$R2 \cdot V_{B\text{MÁX}} - V_{B\text{MIN}} \cdot R2 = R1 (V_o - V_{B\text{MÁX}}) + V_{B\text{MIN}} \cdot R1$$

$$R2 (V_{B\text{MÁX}} - V_{B\text{MIN}}) = R1 (V_o - V_{B\text{MÁX}} + V_{B\text{MIN}})$$

$$R2 = \frac{R1 (V_o - V_{B\text{MÁX}} + V_{B\text{MIN}})}{(V_{B\text{MÁX}} - V_{B\text{MIN}})}$$

Agora vem a substituição, onde em a tensão de referência VR, eu coloco o VR da equação 1.

Que maravilha apareceu uma simplificação, R2, agora sim ficou mais simples, não tem mais R2 no denominador.

Agora vou multiplicar VB mínimo com as parcelas dentro dos parênteses, vou acabar com os parênteses, mas cuidado com o sinal menos ele vai junto com VB mínimo.

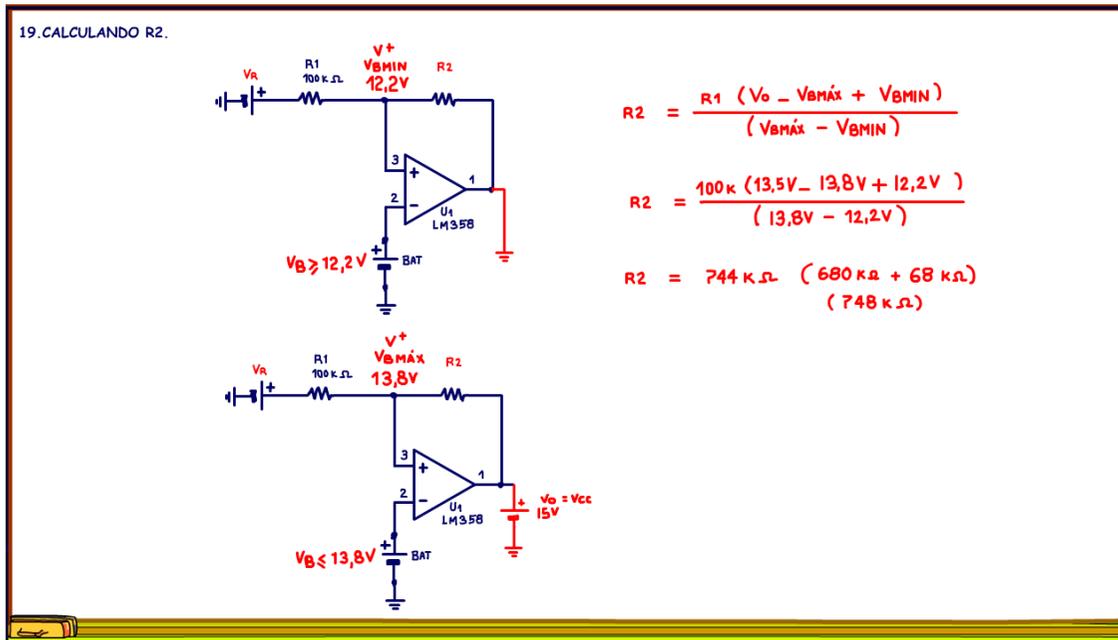
Pronto, sem parênteses fica mais fácil, agora é só passar a parcela que não tem R2 para o outro lado invertendo o sinal.

Colocar R2 em evidência, temos que isolar R2, vou colocar a resistência R1 em evidência do lado direito também.

Agora é só passar os parênteses do lado esquerdo para o lado direito dividindo e pronto, temos R2.

Analizando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

19. CALCULANDO R2.

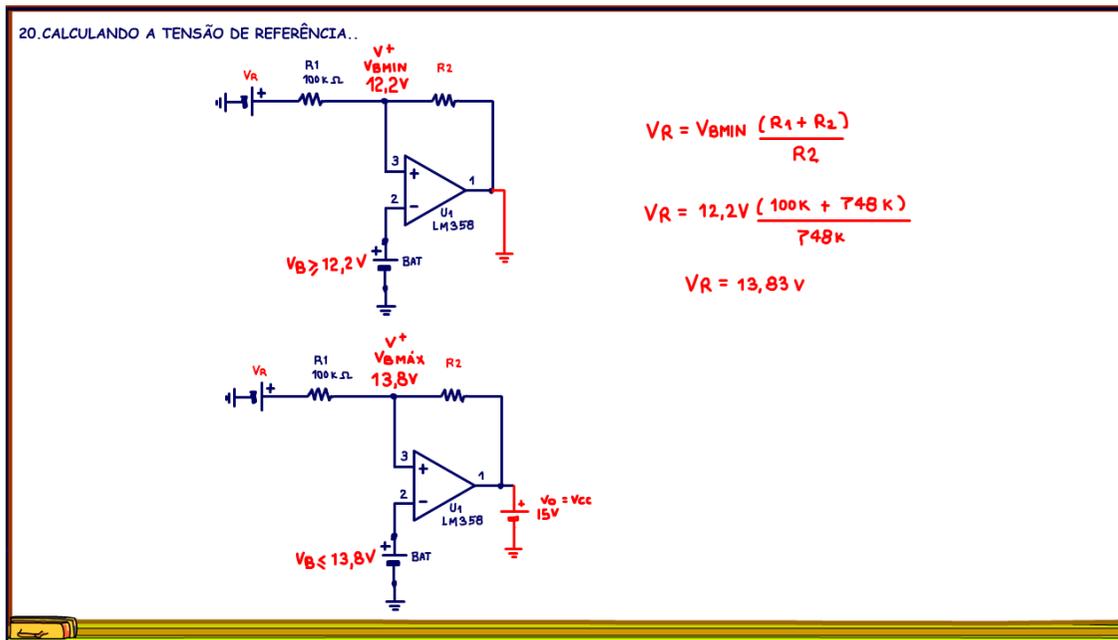


Agora é só substituir os valores considerando o circuito desse caso, mas aqui tem que aplicar aquela dose de prática, a tensão de saída V_O nunca alcança o valor de +VCC, você deve descontar pelo menos 1,5V, ou medir no seu circuito para depois acertar os valores, eu vou considerar a tensão máxima de saída do operacional como sendo 13,5V.

Calculando resulta R2 igual 744 kOHM, não é um valor comercial, então vou fazer a série 680k mais 68K para chegarmos a um valor próximo, 748 kOHM.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

20. CALCULANDO A TENSÃO DE REFERÊNCIA.

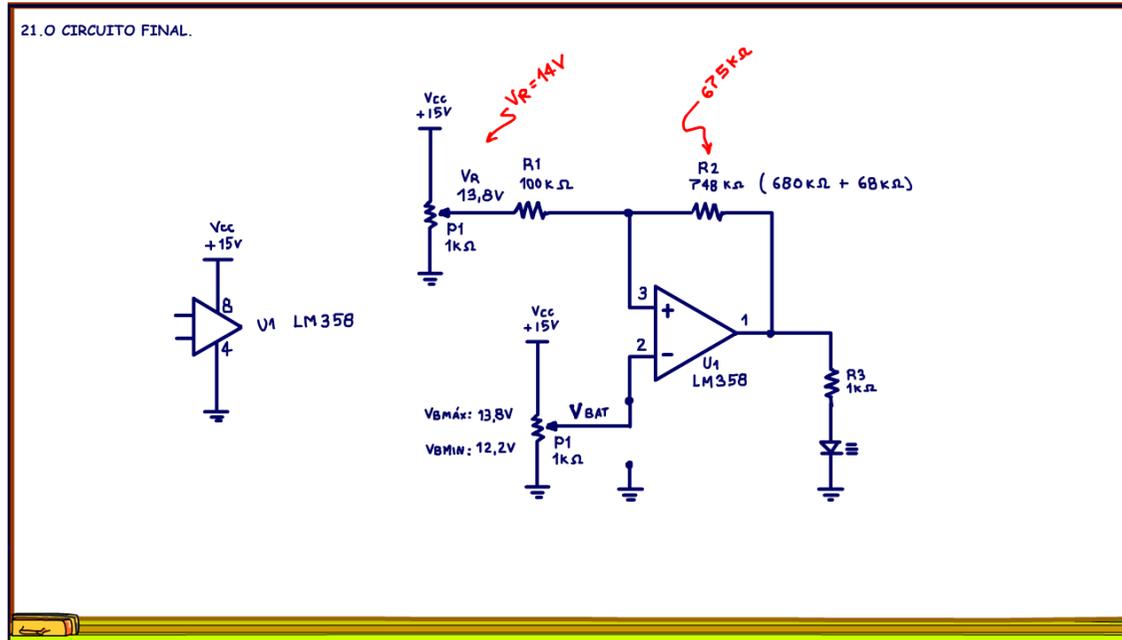


Agora é só usar a equação 1 para calcular a tensão de referência.

Substituindo os valores, eu já vou considerar a resistência R2 com o valor comercial, calculando, resulta 13,83V.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

21.O CIRCUITO FINAL.

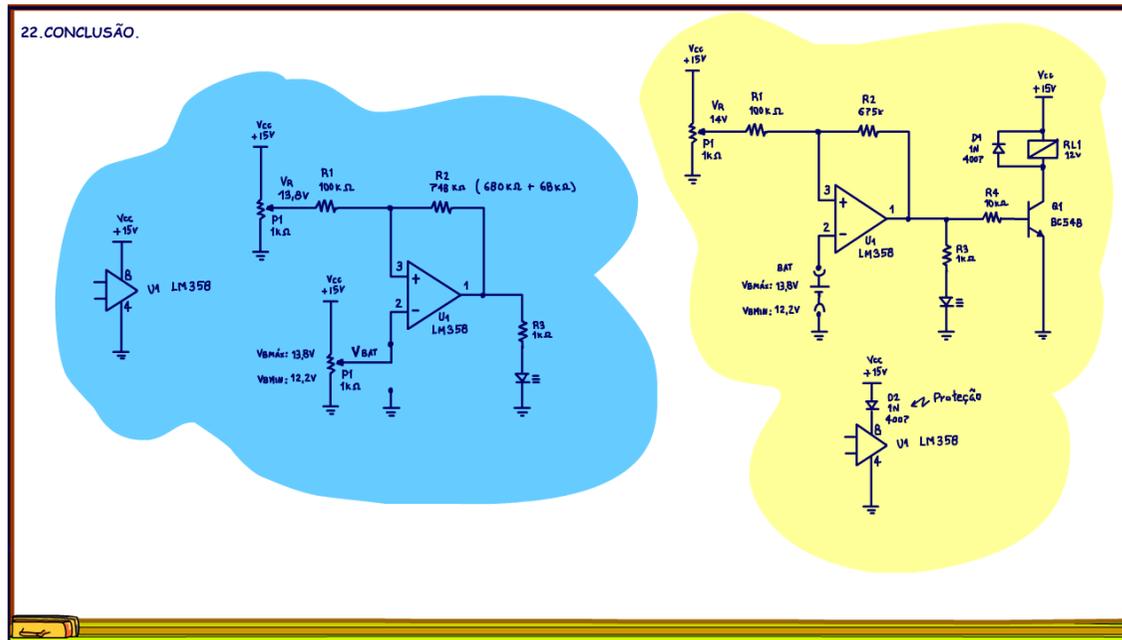


Esse é o circuito final, ficou bem próximo do calculado pelo Rafael.

Um detalhe importante é que o valor do potenciômetro P1, seja bem menor do que a resistência R1, por isso foi escolhido um valor tão alto para R1.

Analisando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

22. CONCLUSÃO.



Os valores ficaram bem próximos dos valores escolhidos pelo Rafael, então se o circuito do Rafael não funciona ele deve revisar a montagem.

Eu mostrei nesse tutorial uma forma diferente de analisar o circuito comparador com histerese, eu simulei no Proteus e funcionou bem, num próximo tutorial eu mostro o circuito montado na protoboard.

Analizando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

23. CRÉDITOS

E por favor, se você não é inscrito, se inscreva e marque o sininho para receber as notificações do canal e não esqueça de deixar aquele like e compartilhar para dar uma força ao canal do professor bairros.

Arthurzinho: E não tem site.

Tem sim é www.bairrospd.com lá você encontra o PDF e tutoriais sobre esse e outros assuntos da eletrônica

E fique atento ao canal do professor bairros para mais tutoriais sobre eletrônica, até lá!

INSCRIÇÃO YOUTUBE: <https://www.youtube.com/@professorbairros>

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIROS LÁ TEM O PDF E MUITO MAIS

PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE

www.bairrospd.com

SOM: pop alegre Mysteries -30 (fonte YOUTUBE)

Analizando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

20231019 Analizando o circuito comparador com Histerese de forma simples

Analizando o circuito comparador com Histerese de forma simples!

Nesse tutorial eu vou analisar o circuito comparador com histerese mandado pelo seguidor Rafael Miranda, que montou e não funcionou, eu vou montar e vamos ver se vai funcionar?

Assuntos relacionados.

Análise nodal: <https://youtu.be/tZEd7gor9LU>

Quanta teoria eu preciso para trabalhar com eletrônica?: <https://youtu.be/-5T6T3sljDo>

SEO:

YOUTUBE:

Comparador com histerese, análise comparador com histerese, circuito comparador com histerese, amplificador operacional, circuito com amplificador operacional,

Histerese bem explicadinha