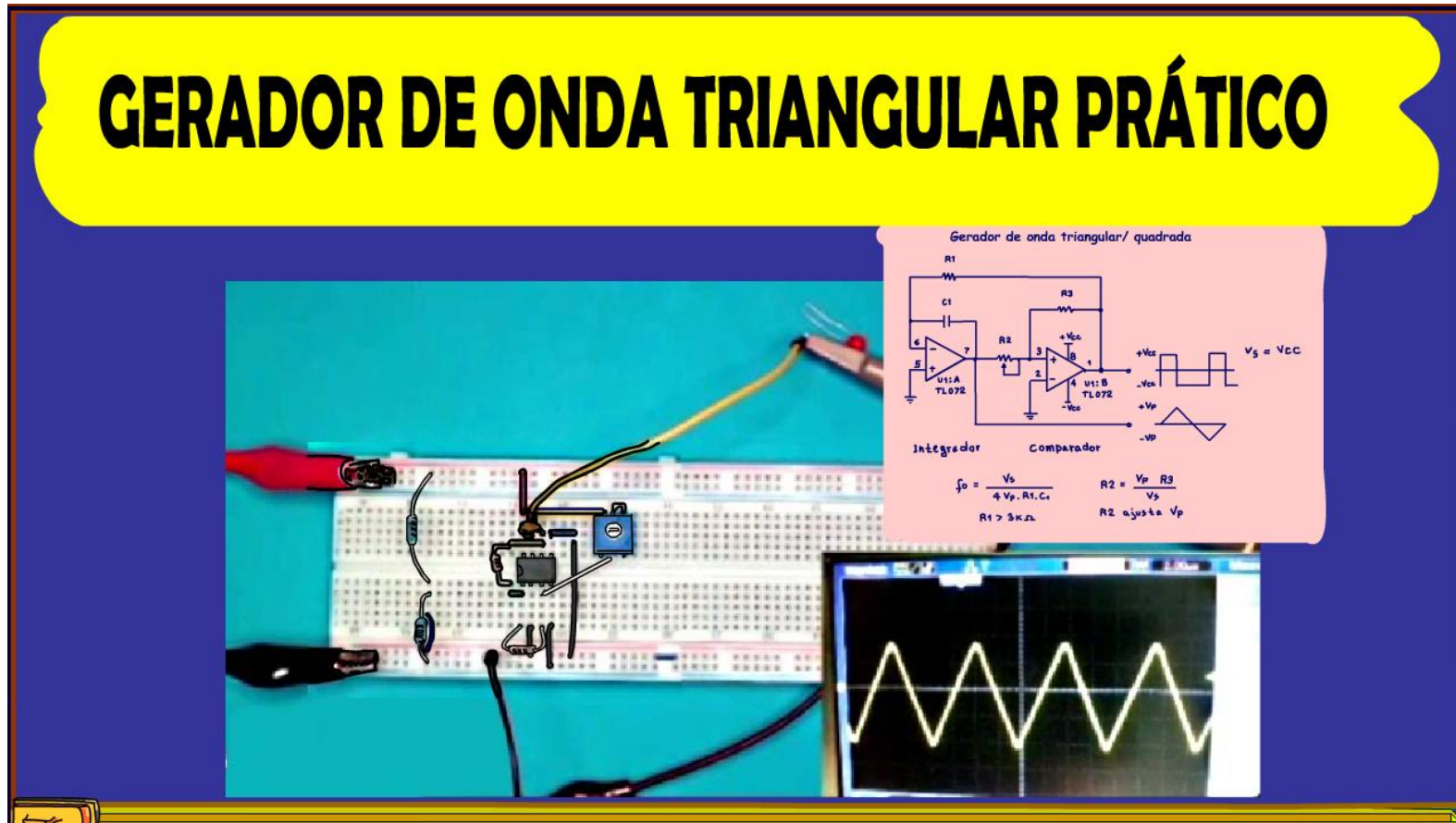


GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO



Professor Bairros (18/09/2024)

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO



The screenshot shows the homepage of the website 'bairrospd'. At the top left is the logo with the text 'bairrospd BAIROS PROJETOS DIDÁTICOS E ELETRÔNICOS'. Below the logo is a green banner with the text 'ESTUDE ELETRÔNICA NO SITE WWW.BAIROSPD.COM!'. The main content area features a navigation menu with 'HOME', 'CURSOS', 'BIBLIOTECA', 'TUTORIAIS', 'VOCÊ SABIA?', and 'CONTATO'. A prominent yellow banner reads 'APRENDA A LER RESISTORES'. To the right, there is a section titled 'Procure aqui:' with a search bar and a text box containing 'O QUE SIGNIFICA GASTAR ENERGIA ELÉTRICA: Uma questão de Potência.'. At the bottom, a blue banner asks 'AULAS OU ASSESSORIA COM O ENGENHEIRO E PROFESSOR ROBERTO BAIROS?' with a 'CLIQUE AQUI' button.

**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>

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

Sumário

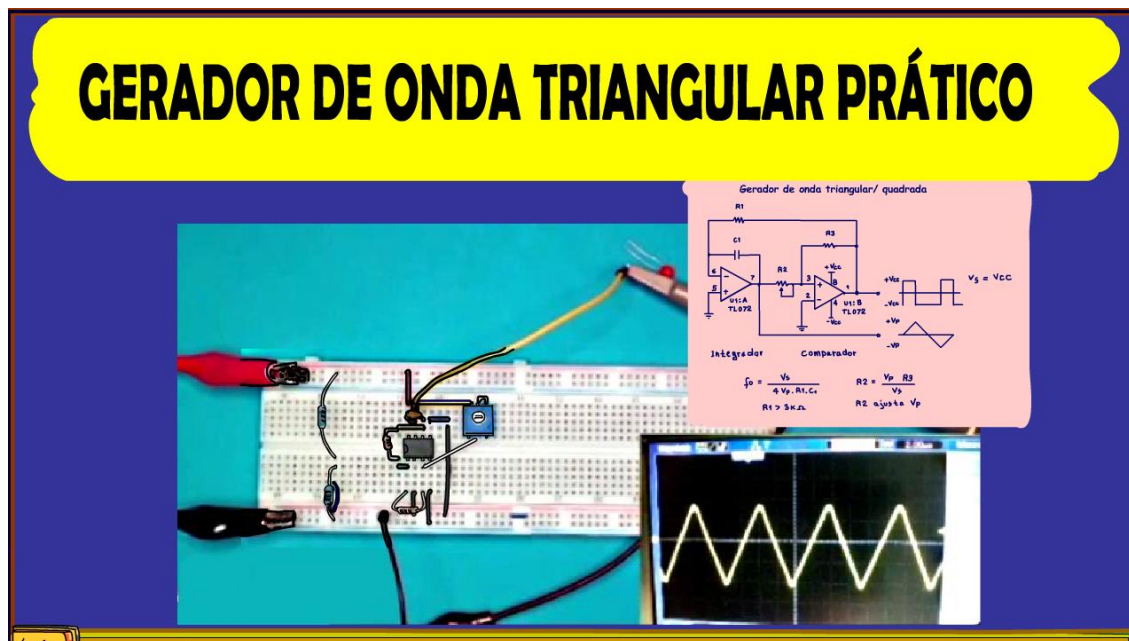
1. Introdução.	5
2. O circuito.	6
3. O funcionamento.	7
4. O ponto V+.	8
5. O circuito equivalente.	9
6. A análise.	10
7. O momento da transição.	11
8. O integrador.	12
9. Se A saída VB for negativa.	13
10. Se a saída VB for positiva.	14
11. O comparador.	15
12. O ponto transição t0.	16
13. A carga do capacitor para -6V.	17
14. A tensão V+ máxima.	18
15. Completando a carga.	19
16. O ponto de transição t1.	20
17. Tensão Va=0V.	21
18. O ponto de transição t2.	22

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

19.	O ciclo se repete.	23
20.	O projeto.	24
21.	Circuito para 40 kHz.	25
22.	O circuito para 120 kHz.	26
23.	O circuito otimizado.	27
24.	A montagem.	28
25.	Conclusão.	29
26.	Créditos.....	30

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

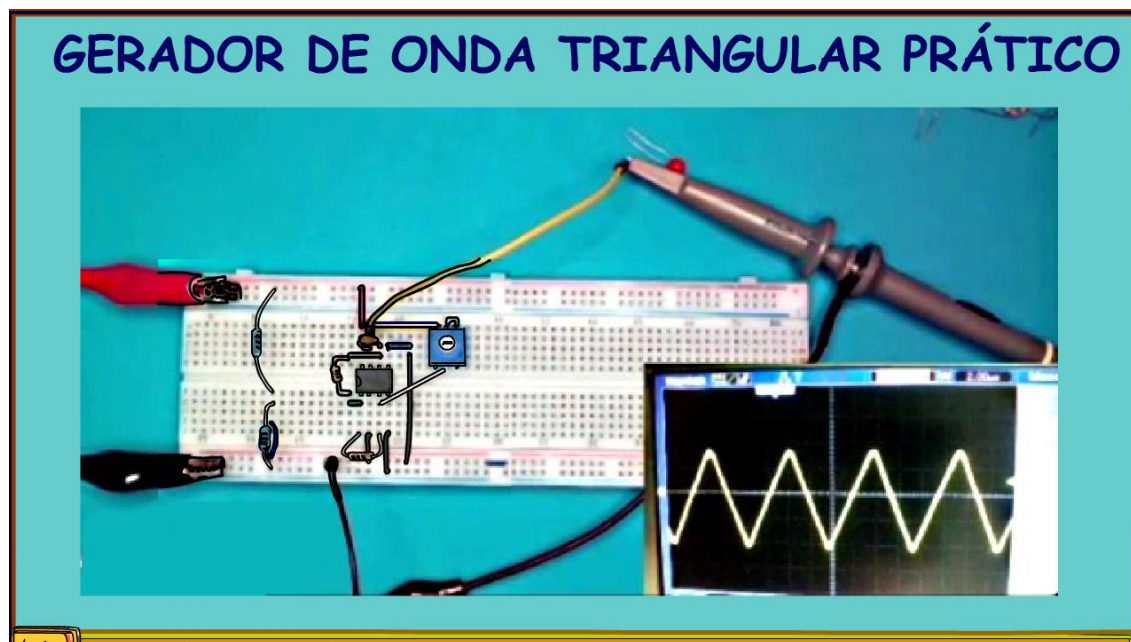
GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO



YOUTUBE: <https://youtu.be/fhTCJNtY4IE>

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

1. INTRODUÇÃO.

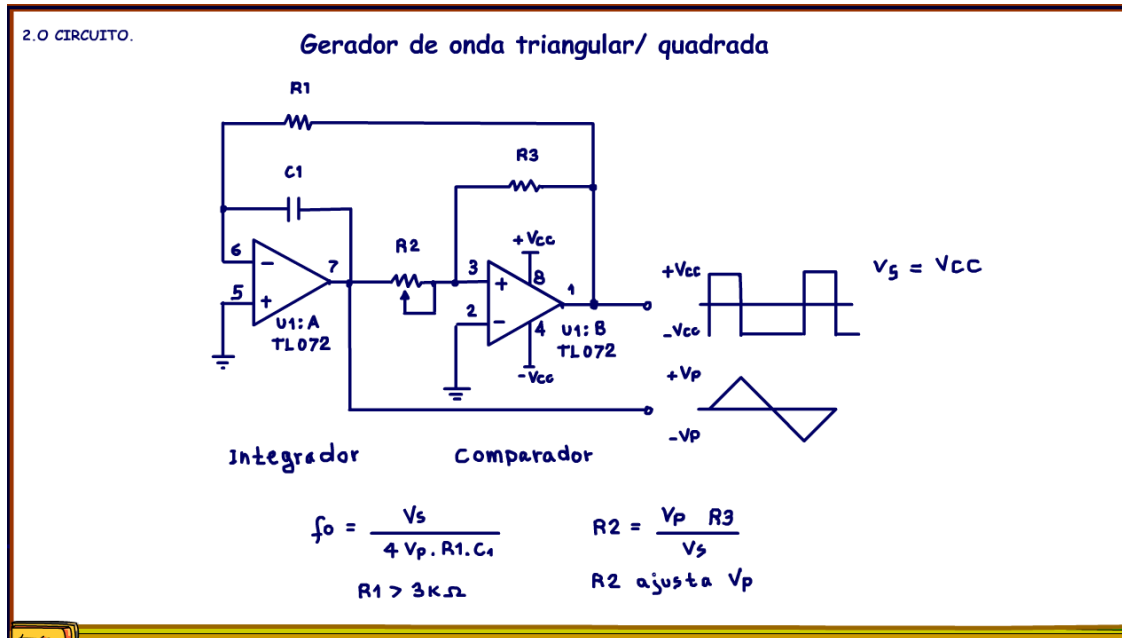


Nesse tutorial eu vou mostrar um circuito para gerar uma onda triangular muito simples, fácil de montar, o coração de qualquer PWM, inclusive o SPWM para construção de inversores ou amplificadores Classe-D, um circuito que funciona realmente mesmo em frequências da ordem de 60 kHz a 100 kHz.

Vamos lá.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

2. O CIRCUITO.



O circuito é mostrado na figura.

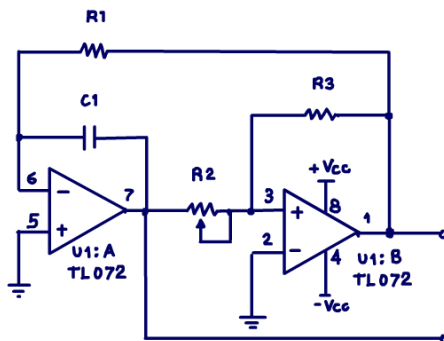
Esse circuito consiste em duas etapas, a primeira etapa é um circuito integrador que é o responsável por gerar uma rampa de tensão linear e a segunda etapa é um comparador por zero, a entrada inversora está ligada no terra, essa etapa gera na saída uma onda quadrada, então esse circuito gera duas ondas, uma quadrada e uma triangular, você compra um tutorial e leva dois.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

3. O FUNCIONAMENTO.

3. O FUNCIONAMENTO.

Gerador de onda triangular/ quadrada

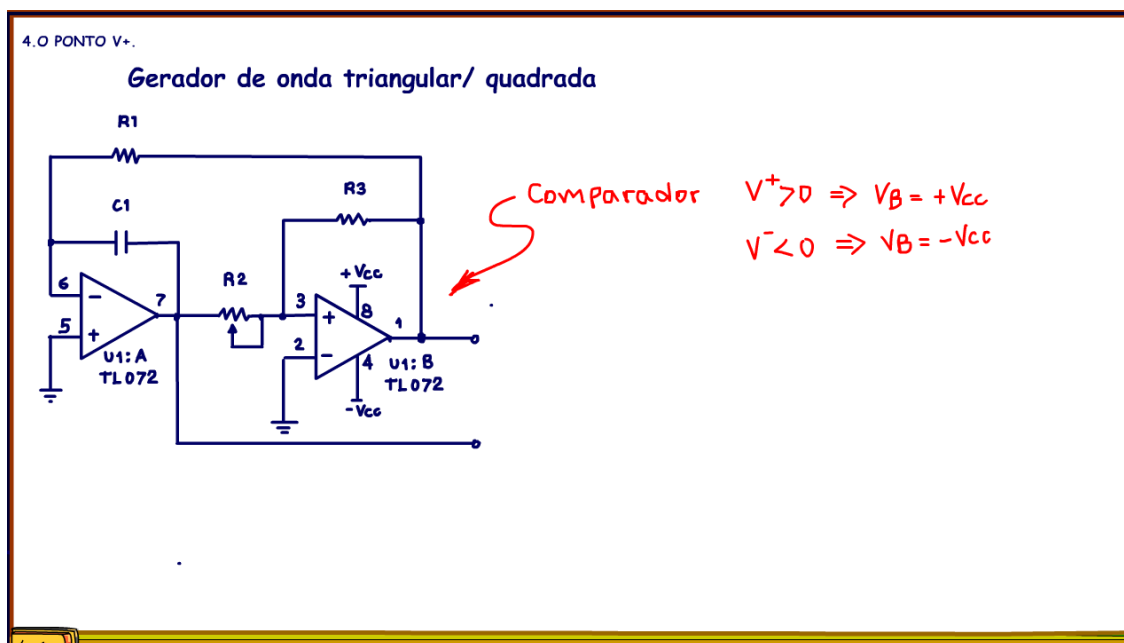


Vou mostrar como tudo funciona olhando para o osciloscópio.

No circuito temos dois pontos de medições, o ponto VA, na saída o AMPOP A, e o ponto B na saída do AMPOP B, no ponto A aparece uma onda triangular, o astro no nosso tutorial, e no ponto B aparece uma onda quadrada, o bônus desse tutorial.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

4. O PONTO V+.



O ponto V+ é o ponto de comparação com o terra, se a tensão nesse ponto for maior do que zero, então a saída VB será positiva, se for menor do que zero a saída VB será negativa.

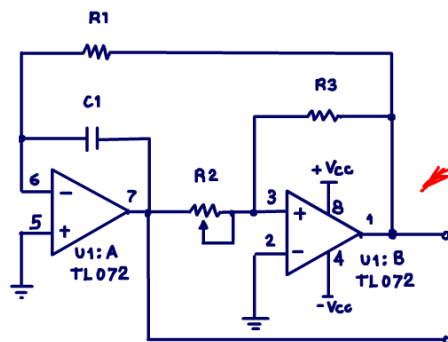
O circuito do operacional B é um comparador por zero.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

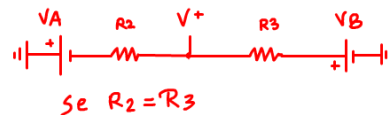
5. O CIRCUITO EQUIVALENTE.

5. O CIRCUITO EQUIVALENTE.

Gerador de onda triangular/ quadrada



Comparador $V^+ > 0 \Rightarrow V_B = +V_{CC}$
 $V^+ < 0 \Rightarrow V_B = -V_{CC}$



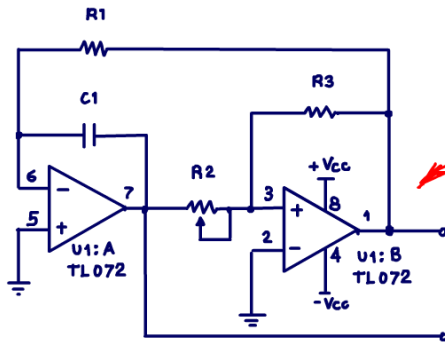
O circuito equivalente olhando para o ponto da entrada V^+ é esse da figura, um divisor de tensão formado por R_3 e R_2 , e em cada ponta uma fonte de tensão representando a saída V_A e V_B , o ideal é que os valores das duas resistências sejam exatamente os mesmos, por isso o trimpote para um ajuste preciso.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

6. A ANÁLISE.

6.A ANÁLISE.

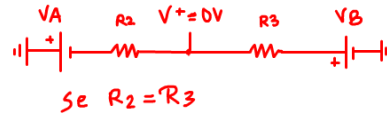
Gerador de onda triangular/ quadrada



Comparador

$$V^+ > 0 \Rightarrow V_B = +V_{CC}$$

$$V^+ < 0 \Rightarrow V_B = -V_{CC}$$



$$\text{se } R_2 = R_3$$

$$V^+ = \frac{V_B + V_A}{2}$$

Toda a nossa análise vai ser para determinar a tensão no ponto V^+ , se essa tensão for maior do que zero a saída V_B será positiva, se for menor do que zero, então a saída V_B será negativa.

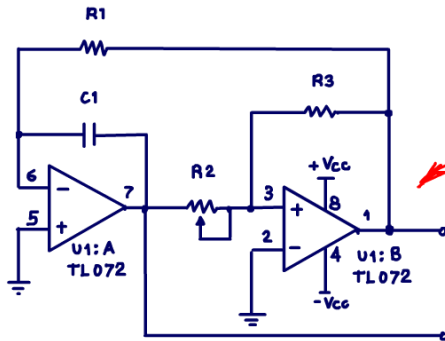
As saídas dos operacionais só podem assumir dois valores, na teoria seriam $+V_{CC}$ e $-V_{CC}$, na prática essas tensões ficam um pouco abaixo, para fins didáticos vou considerar essas tensões iguais a $+6V$ e $-6V$.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

7. O MOMENTO DA TRANSIÇÃO.

7.0 MOMENTO DA TRANSIÇÃO.

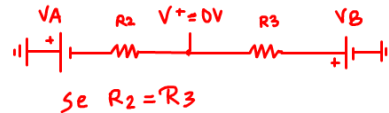
Gerador de onda triangular/ quadrada



Comparador

$$V^+ > 0 \Rightarrow V_B = +V_{CC}$$

$$V^+ < 0 \Rightarrow V_B = -V_{CC}$$



$$\text{se } R_2 = R_3$$

$$V^+ = \frac{V_B + V_A}{2} = 0 \text{ V}$$

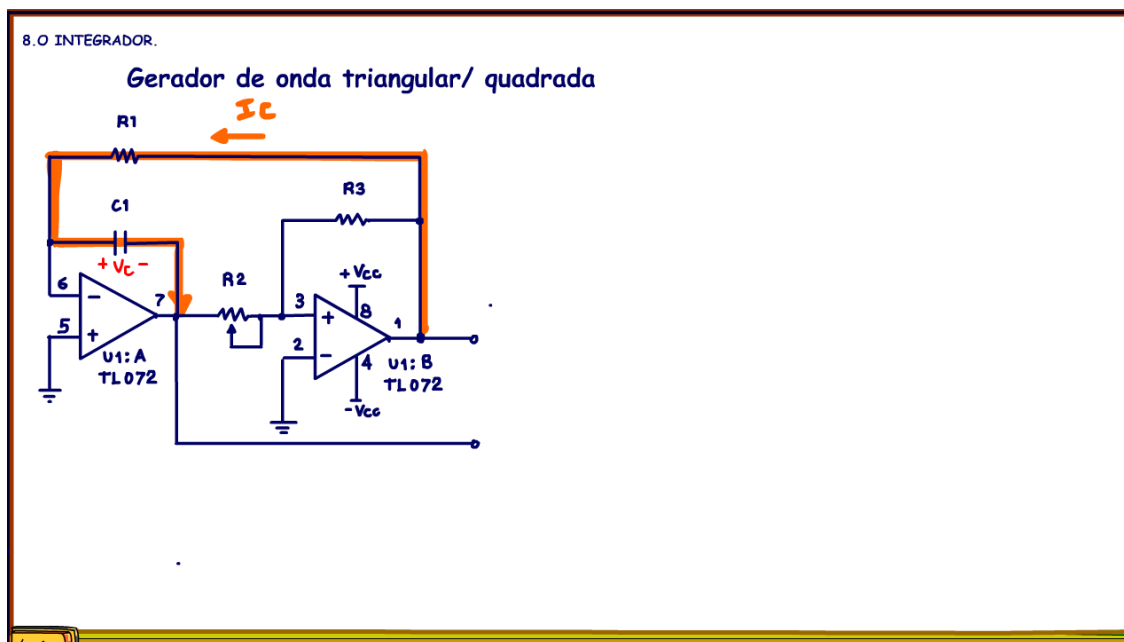
$$V_B = -V_A$$

O momento exato que a saída V_B troca de estado, se estava positiva troca para negativa, se estava negativa troca para positiva é chamado de momento da transição.

O momento da transição vai acontecer quando a tensão V^+ for igual a zero, para que isso ocorra as tensões V_A e V_B tem que ter o mesmo valor, mas sinais opostos, uma saída vai anular a outro, esse é o pulo do gato para entender esse circuito.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

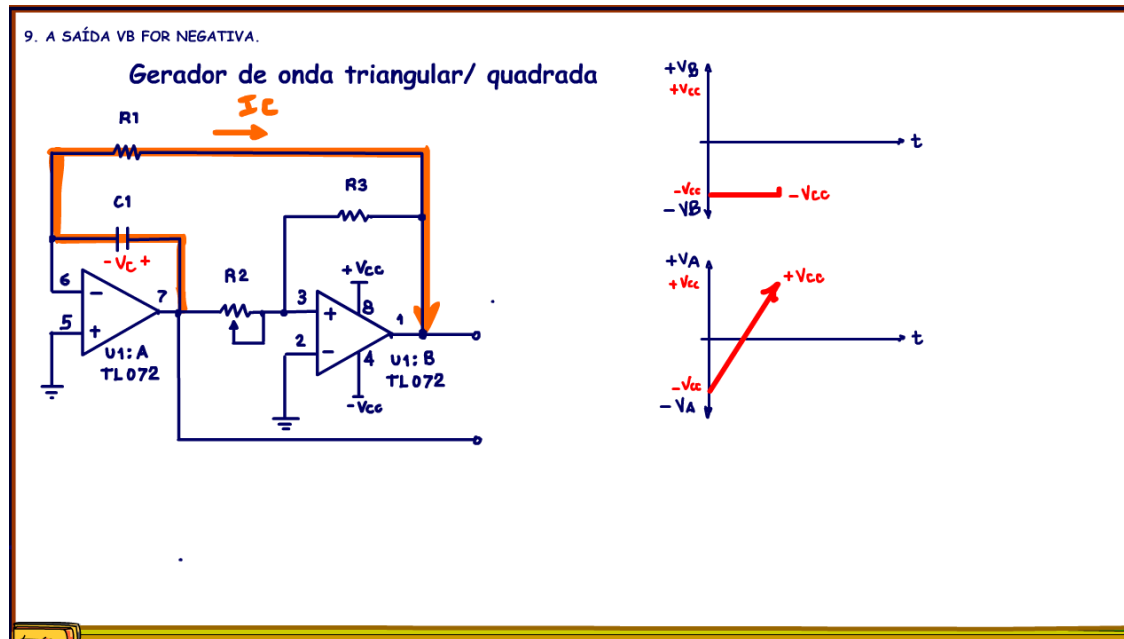
8. O INTEGRADOR.



O circuito do operacional A é um integrador, o capacitor C1 é carregado e descarregado com uma corrente constante gerada pela saída VB e a resistência R1.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

9. SE A SAÍDA VB FOR NEGATIVA.

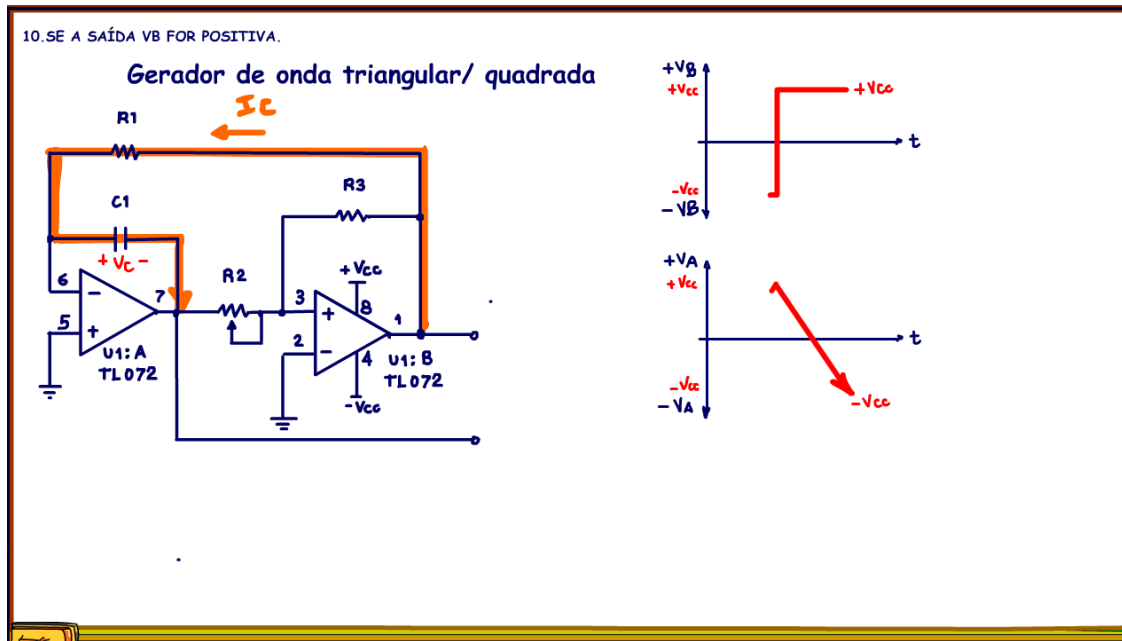


Nesse circuito quando a tensão V_B é negativa, a corrente circula entrando no operacional B, corrente negativa, essa corrente circula pelo capacitor e gera uma tensão no capacitor com o positivo para o lado da saída V_A , na verdade é operacional A que empurra essa corrente pelo capacitor para dentro do operacional B.

O capacitor vai se carregar em direção a máxima tensão positiva, e essa carga aparece na saída V_A como uma rampa linear, tendendo ao valor máximo positivo que é a tensão de $+V_{CC}$, ou mais +6 no nosso exemplo.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

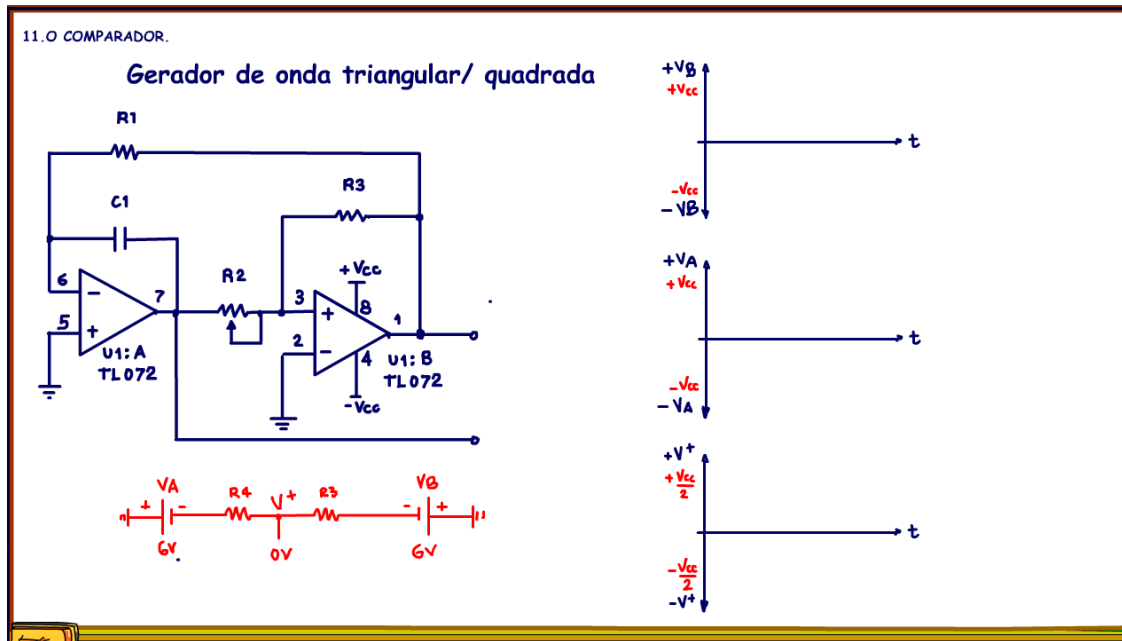
10. SE A SAÍDA VB FOR POSITIVA.



Se a saída VB inverter, for igual a $+V_{CC}$, então o capacitor vai se carregar de forma linear com a polaridade invertida, agora o negativo do capacitor fica para a saída VA e o capacitor vai se carregar em direção a máxima tensão negativa, a tensão igual $-V_{CC}$, ou $-6V$ no nosso exemplo.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

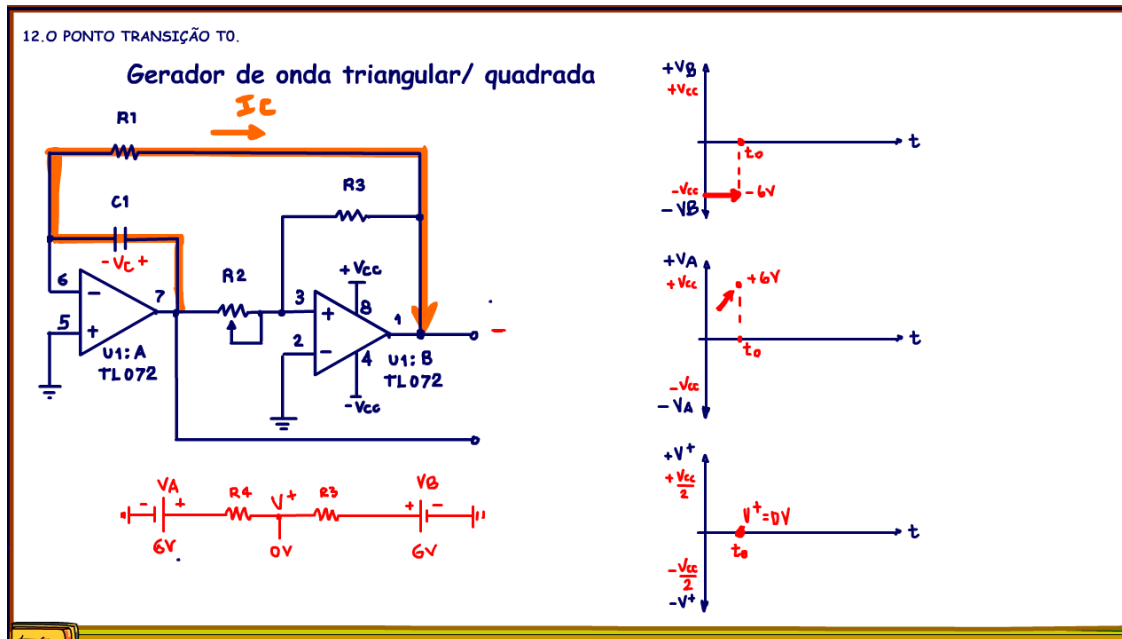
11. O COMPARADOR.



Para o comparador o que interessa é a tensão no ponto V^+ que é a tensão no meio divisor de tensão formado por R_3 e R_2 de mesmo valor, vou desenhar o divisor separado e mais, vou desenhar um gráfico da tensão V^+ , agora vamos analisar a tensão nesse ponto e entender como esse circuito funciona, a chave é analisar a tensão na entrada V^+ do operacional B.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

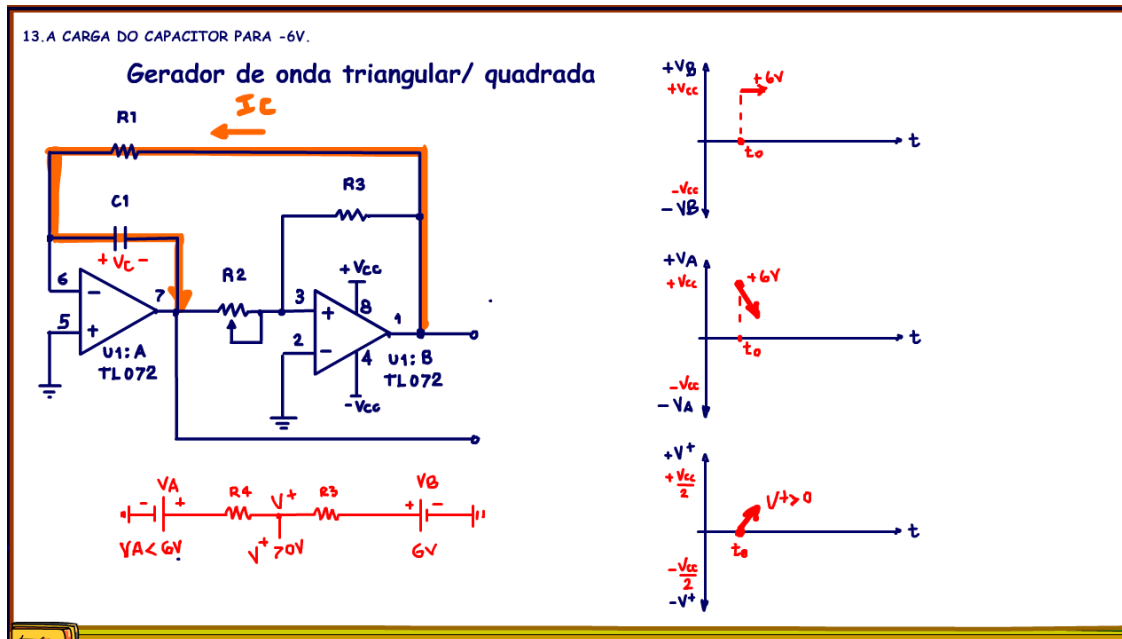
12. O PONTO TRANSIÇÃO T0.



Vamos supor que a tensão na saída V_B é igual a máxima tensão negativa, para deixar mais didático, vou assumir a máxima tensão igual a $-6V$. O capacitor vai se carregar e a saída V_A vai para a máxima tensão positiva, bem no tempo t_0 temos a condição da transição as duas tensões de mesmo valor, mas polaridades opostas, a tensão do ponto V^+ para o terra será zero volt.

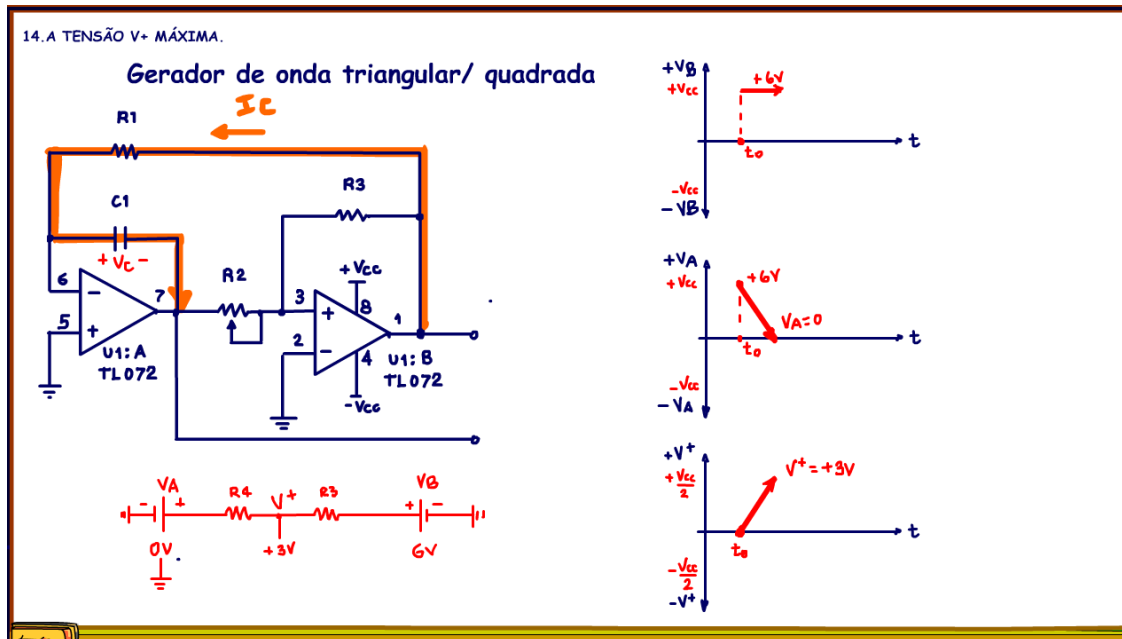
GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

13. A CARGA DO CAPACITOR PARA -6V.



Agora o capacitor começa a carregar em direção a tensão máxima negativa, a tensão na saída VA começa a ir na direção a -6V, mas a tensão na saída VB continua firme em +6V, como VA vai diminuindo a tensão no ponto V+ continua crescendo para o positivo, isso mantém a saída VB no positivo, V+ é maior do que zero.

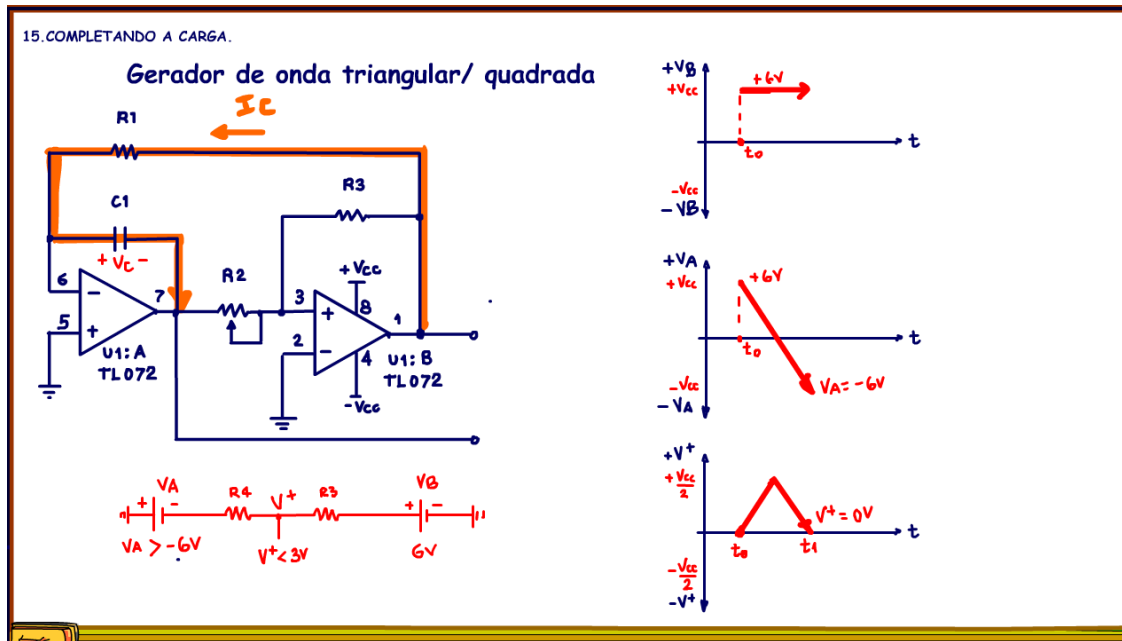
GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

14. A TENSÃO V^+ MÁXIMA.

A tensão V_B vai descendo em direção ao $-6V$, tem um momento que ela passa pelo zero volt, isso equivale a aterrar a saída V_a , nessa condição a tensão V^+ é exatamente igual a metade da tensão V_B , $+3V$, essa é a máxima tensão positiva de V^+ .

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

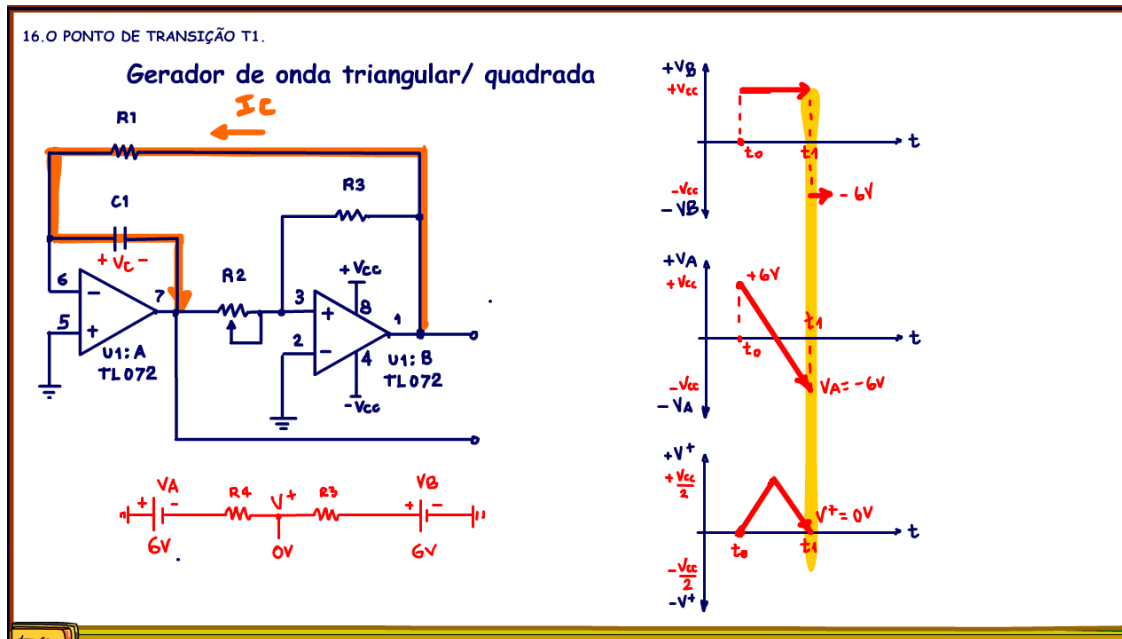
15. COMPLETANDO A CARGA.



A partir desse ponto a tensão na saída VA começa a ficar negativa, ela vai direto em direção a tensão -6V, a tensão no ponto V+ agora começa a descer pois o negativo da saída VA começa a compensar o positivo da saída VB.

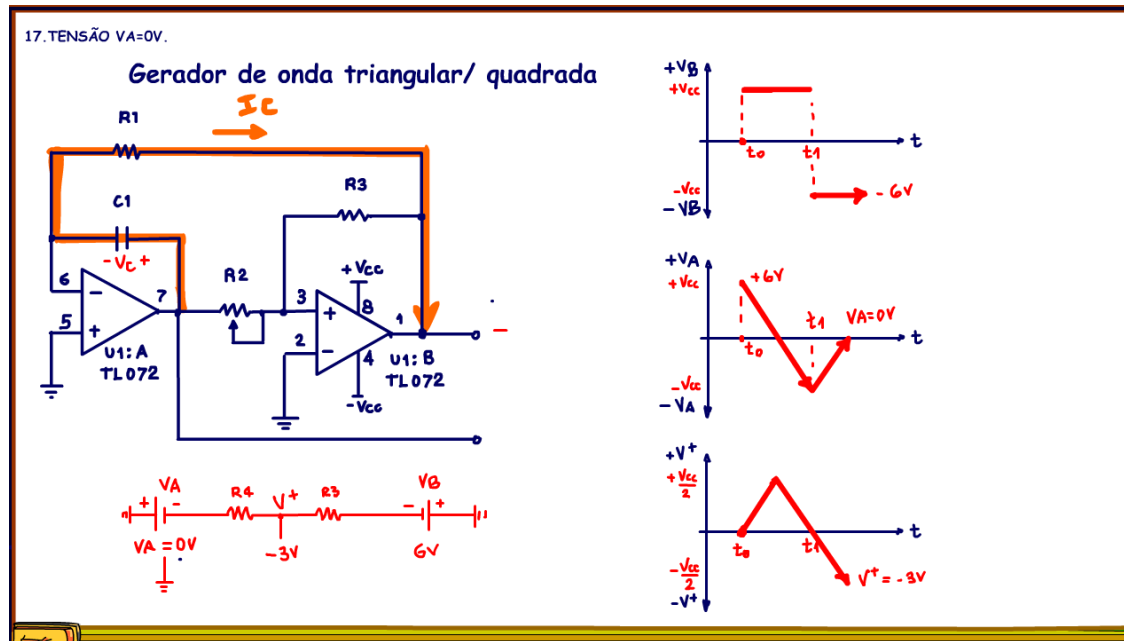
GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

16. O PONTO DE TRANSIÇÃO T1.



No tempo t_1 a tensão na entrada V_A é oposta a tensão V_B e pronto temos novo ponto de transição a tensão na saída V_B troca de positivo para negativo.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

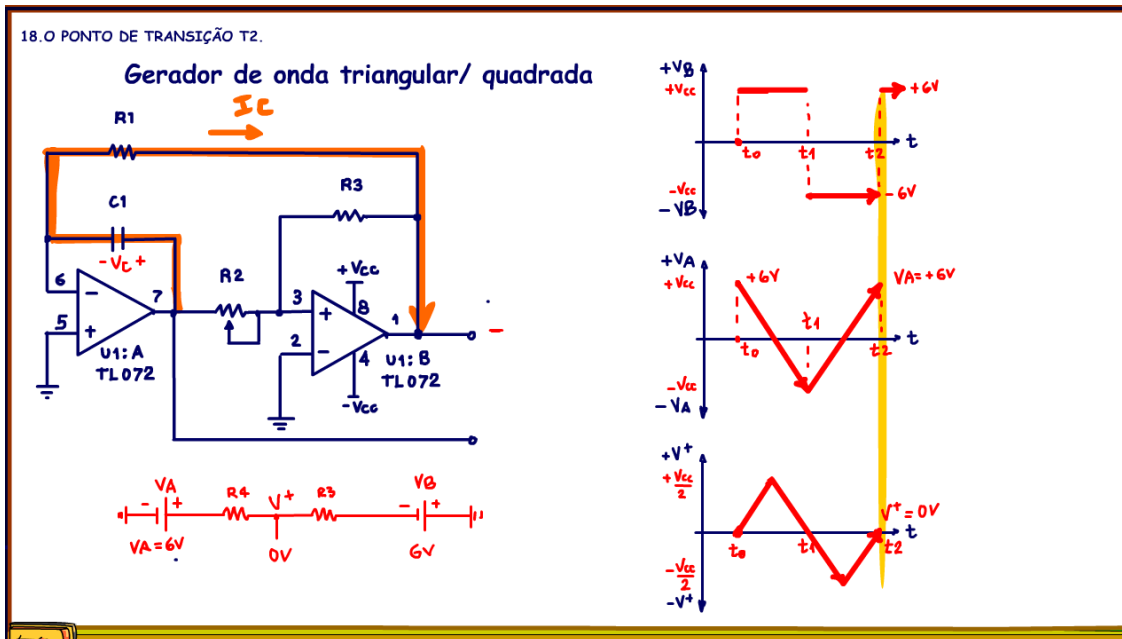
17. TENSÃO $V_A=0V$.

Agora acontece um ciclo oposto ao visto antes, mas similar.

Quando a tensão V_A for igual a $0V$, a tensão V^+ será igual a $-3V$, a partir desse ponto a tensão V_A passará a ser positiva.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

18. O PONTO DE TRANSIÇÃO T2.

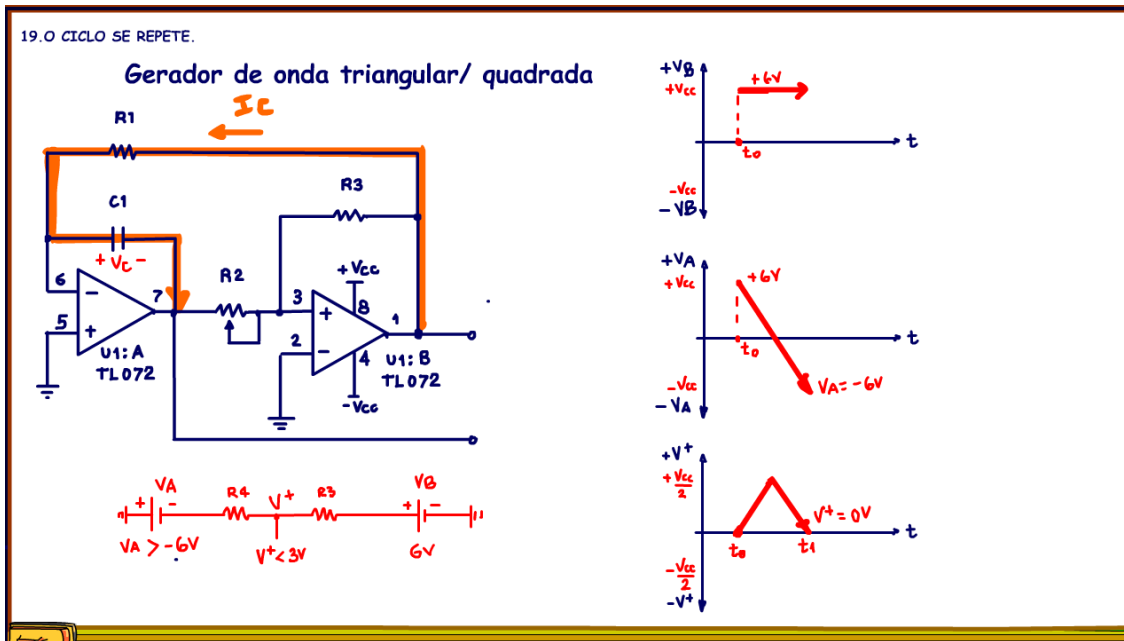


A tensão VA continua subindo agora com a polaridade positiva, e a tensão V+ agora desce de valor.

Quando a tensão V+ alcança 0V temos outro momento de transição, o tempo t2, nesse momento a tensão VA está no máximo positivo +6V e a saída VB troca de negativo para positivo, voltando ao ciclo do t0.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

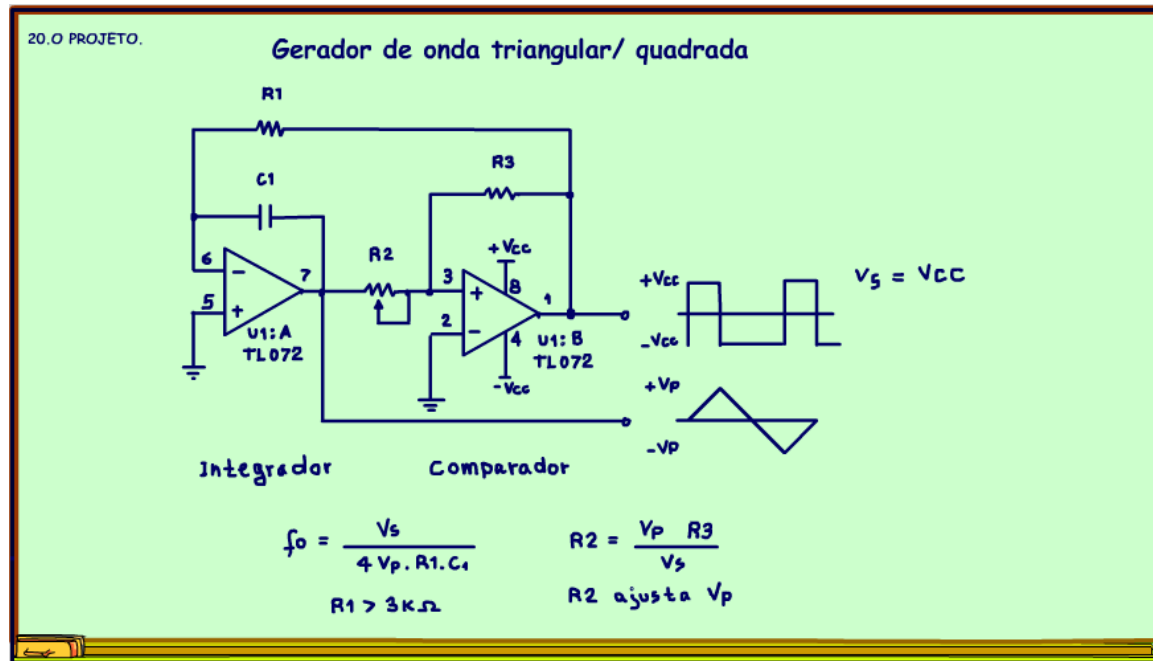
19. O CICLO SE REPETE.



A partir daí o ciclo se repete e na saída VA aparece uma onda triangular e na saída VB uma onda quadrada.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

20. O PROJETO.



Na figura você encontra todas as equações, note o trimpote R2 serve para ajustar a amplitude da saída e disparar o circuito, então ao ligar gire o trimpote R2 até que a onda triangular apareça na saída, e aí será possível ajustar o nível máxima da saída, é o V_p da equação, essa tensão é próxima de VCC, mas vai depender do operacional.

A equação da frequência também é mostrada na figura, onde V_s é a tensão de alimentação.

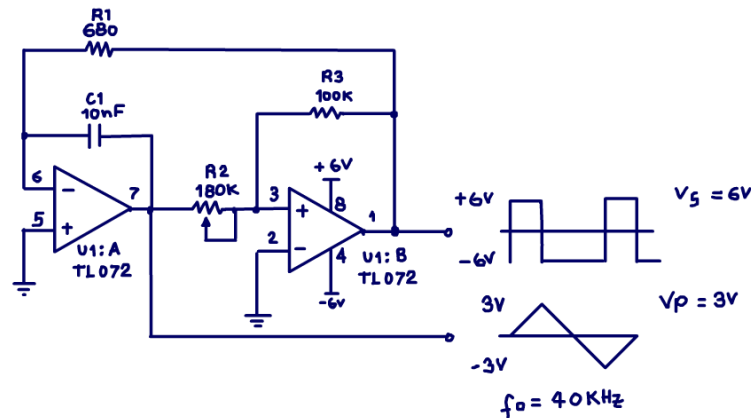
O valor de R1 deve ser maior do que 3 kOHM.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

21. CIRCUITO PARA 40 KHZ.

21. CIRCUITO PARA 40 KHZ.

Gerador de onda triangular/ quadrada



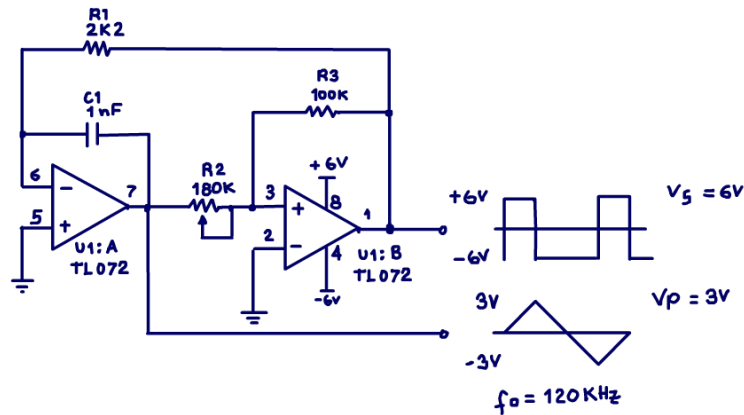
Eu montei e testei o circuito para 40 kHz, veja os valores na figura, esse circuito será útil para amplificadores Classe-D, a alimentação é simétrica de +6V e -6V, esse circuito gerou uma onda triangular perfeita.

Eu montei com o TL072, mas acho que com o TL082 funciona bem também.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

22. O CIRCUITO PARA 120 KHZ.

22.O CIRCUITO PARA 120 KHZ.



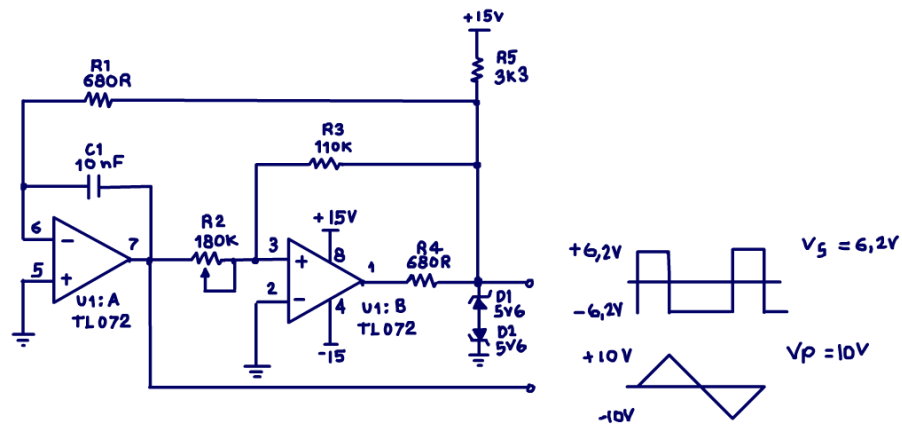
Esse é um circuito para altas frequências, esses são os valores para 120 kHz, podendo ser usado em um inversor com PWM ou até SPWM, a onda triangular é ponto fundamental para gerar o PWM e esse circuito funciona muito bem nessas aplicações.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

23. O CIRCUITO OTIMIZADO.

23.O CIRCUITO OTIMIZADO.

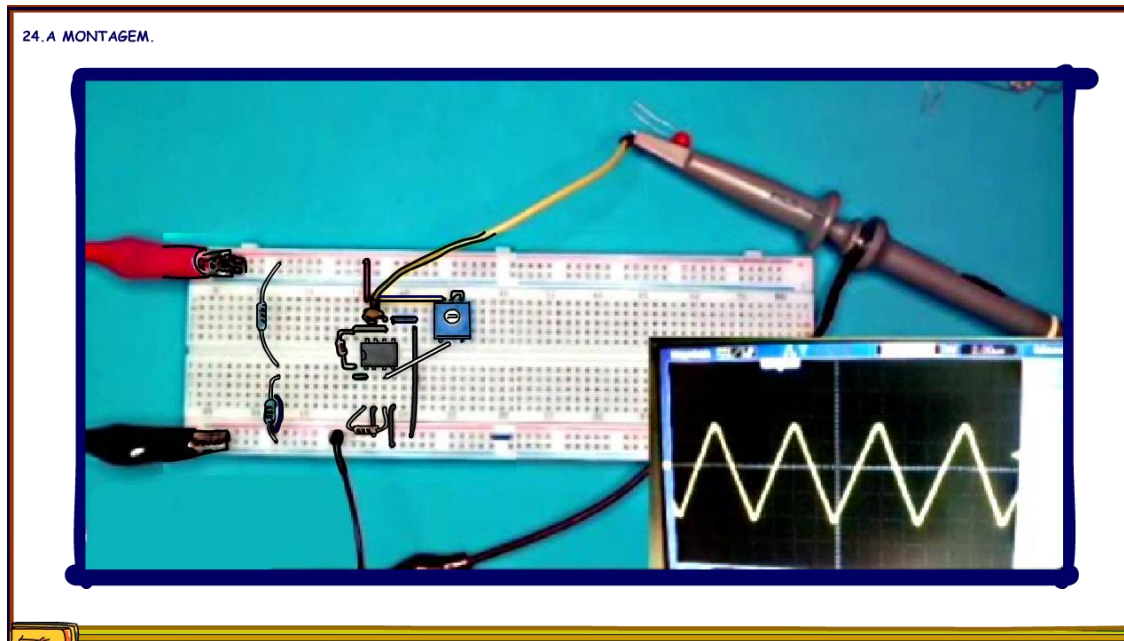
Gerador de onda triangular/ quadrada



O circuito da figura pode ser usado com qualquer tensão de alimentação, os zeneres na saída fixam a tensão VP e VS independente da tensão de alimentação dos operacionais.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

24. A MONTAGEM.

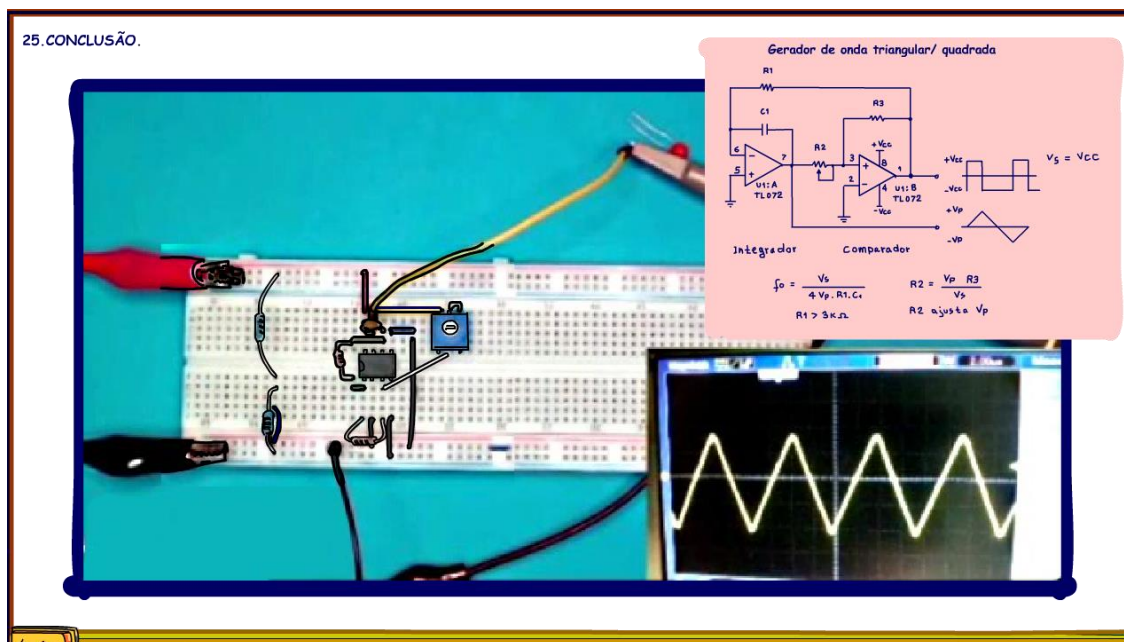


Vejam a montagem na protoboard e a imagem do osciloscópio mostrando a forma de onda, eu cheguei a montar um pequeno inversor usando esse gerador de onda triangular e funcionou muito bem, o que vocês acham da forma de onda?

YOUTUBE: <https://youtu.be/fhTCJNtY4IE>

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

25. CONCLUSÃO.



Você viu nesse tutorial a teoria e a prática para montar um gerador de onda triangular o pilar de um circuito gerador de PWM, bom proveito.

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

26. 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)

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

20240817 GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

GERADOR DE ONDA TRIANGULAR PRÁTICO

Veja nesse tutorial eu vou mostrar um circuito muito simples, fácil de montar para gerar uma onda triangular, o coração de qualquer PWM, inclusive o SPWM para construção de inversores e que funciona realmente mesmo em frequências da ordem de 120 kHz.

CARGA CONSTANTE: O Integrador. <https://youtu.be/N0B3U1oF1yk>

Assuntos relacionados.

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

YOUTUBE: <https://youtu.be/fhTCJNtY4IE>

Gerador de onda triangular, faça você mesmo um gerador de onda triangular, gerador de onda triangular com AMPOP, gerador de onda triangular com amplificador operacional,