

AULA

4

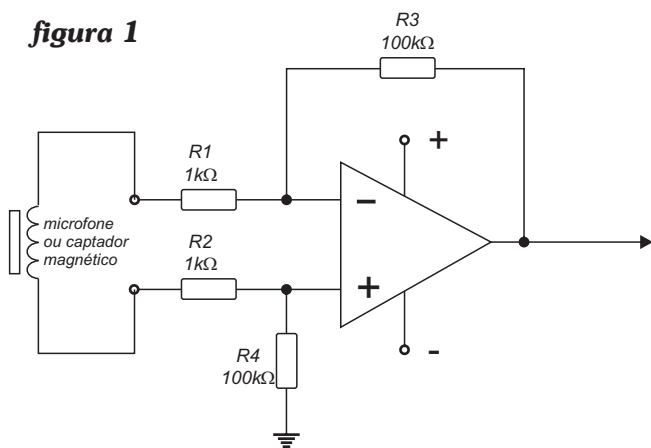
# AMPLIFICADORES OPERACIONAIS - 2

**Amplificação de sinais diferenciais - bobina magnética e HALL**  
**O circuito Schmitt Trigger analisado detalhadamente**  
**Os pontos NSD e NID (Nível Superior e Inferior de Disparo)**  
**Os filtros de frequências ativos trabalhando com operacionais**  
**As diversas aplicações para os amplificadores operacionais**  
**Circuitos limitadores com diodos e diodos zeners**

### Aplicações dos amplificadores diferenciais

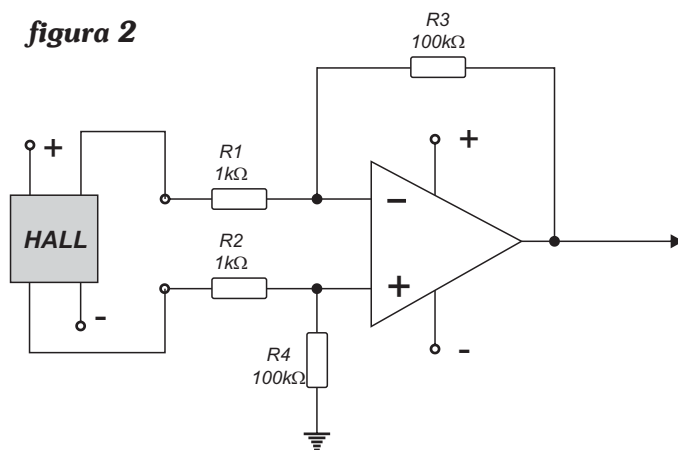
Na figura 1, podemos ver uma ligação de uma cápsula magnética qualquer, que trabalhará captando campos magnéticos ou eletromagnéticos induzidos na bobina. Como vemos, a impedância ou as resistências ligadas à bobina são de mesmos valores, em uma criação de tensão balanceada em relação à massa, ou seja, se do lado de cima foi induzido uma tensão de + 1 volt (em relação à massa), do lado de baixo haverá uma tensão induzida de -1 volt (também em relação à massa); com isto afirmamos que houve uma indução de 2Vpp sobre a bobina.

figura 1



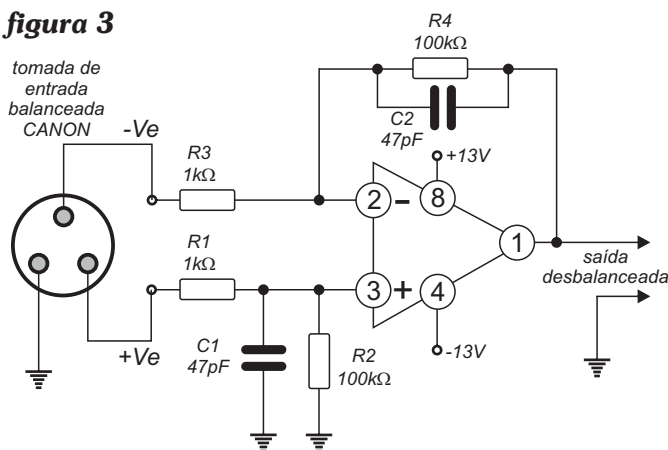
Esta tensão vai então ao amplificador operacional que amplifica o sinal de acordo com os valores dos resistores já mencionados nos circuitos anteriores. Na figura 2, temos um elemento HALL, que possui uma polarização prévia (alimentação positiva e negativa), criará uma corrente interna entre esses dois terminais. Quando incidir um campo eletromagnético transversal sobre esse elemento, haverá o desvio de cargas para saídas "H1" e "H2" sempre em contra fase, permitirá o amplificador operacional, trabalhar adequadamente. Finalmente na figura 3, temos a entrada de um conector "XLR" muito utilizado para a área profissional de conexões de microfones. Temos dois pontos de ligação (2 e 3) que apresentam as ligações "vivas" do microfone, enquanto que o pino 1 apresenta ligação da massa (blindagem). O circuito prático mostrado é realmente empregado

figura 2



para desbalancear uma entrada "XLR", conseguido-se com isto, uma redução considerável dos ruídos que vem pela linha. De uma forma geral, esta técnica de

figura 3



processamento de sinais de forma balanceada será utilizada quando temos grande incidência de ruídos na área, somada a uma distância considerável entre a fonte de sinal e seu pré-amplificador.

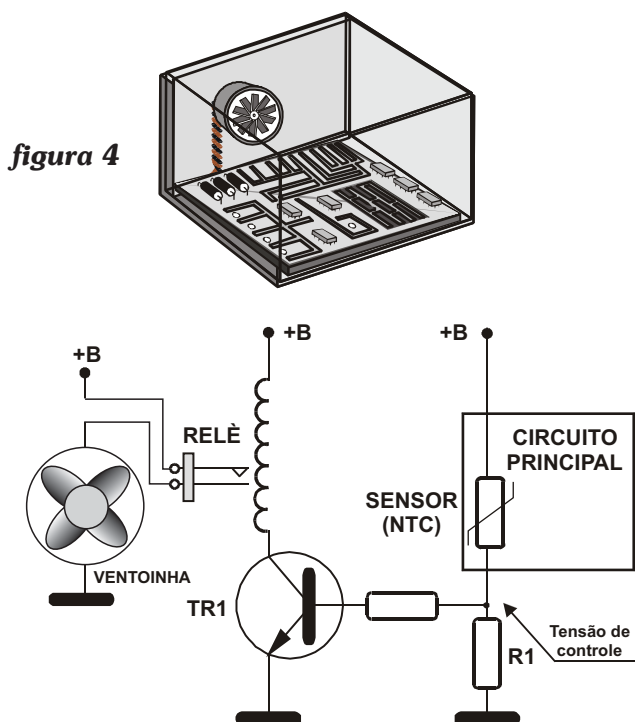
### O operacional com realimentação positiva (Schmitt Trigger)

Até aqui, estudamos uma série de aplicações para os amplificadores operacionais, criando os comparadores de tensão, até os amplificadores de sinal com realimentação negativa, mas não tínhamos apresentado a realimentação positiva, Para que possamos entender melhor a importância

do circuito schmitt trigger, vamos observar a figura 4, que é composto de um NTC e um acionador de relé, que por sua vez aciona uma ventoinha.

Quando a temperatura ambiente aumenta, dentro do gabinete ou ainda em um dissipador de calor, a resistência do NTC diminui, aumentando a tensão entre o NTC e R1. Chegará um instante que o transistor TR1 começará a ser polarizado, até que o relé, seja energizado ao ponto de acionar a ventoinha.

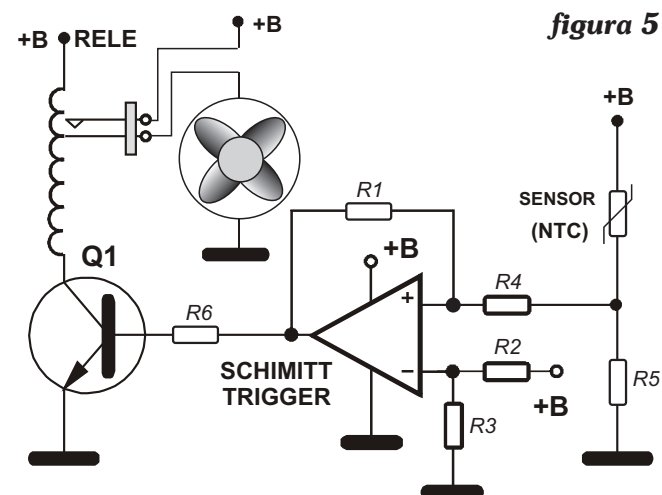
Este processo intermediário de polarização de TR1,



poderá causar alguns problemas no relé, como um acionamento deficitário, podendo levar os contatos do relé ao dano, por ligar e desligar em um determinado momento.

Para evitar isso, coloca-se um circuito chamado de schmitt trigger (figura 5), que já foi estudado na forma transistorizada no módulo 2.

Considerando que temos uma tensão de zero volt



na saída do operacional, existirá o R1 que está ligado à entrada "não inversora" e daí formando um divisor de tensão com R4, até o outro divisor de tensão formado por NTC e R5.

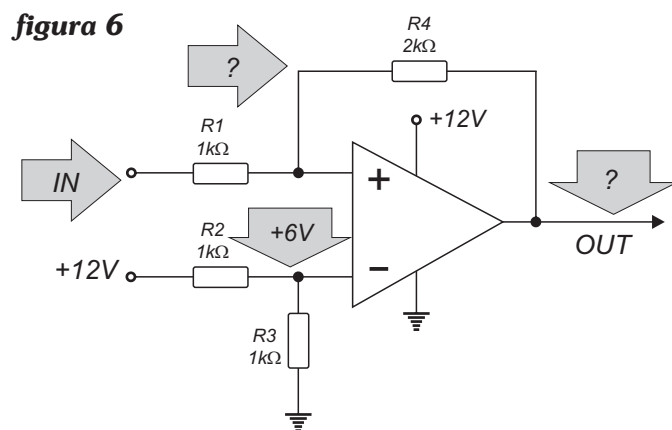
À medida que o calor vai aumentando sobre o NTC e a tensão vai subindo entre o NTC e R5, haverá um momento que a tensão da entrada "não inversora", ultrapassará a tensão da entrada "inversora" e isso provocará o aumento da tensão na saída do operacional, que por sua vez aumenta também a tensão na entrada "não inversora", levando a saída do operacional ao +B, sendo o transistor instantaneamente saturado, não permitindo uma polarização insuficiente para o relé.

O mesmo ocorrerá quando houver o resfriamento do NTC, caindo a tensão entre NTC e R5. Quando a tensão na entrada "não inversora" cair abaixo da tensão da entrada "inversora" cairá a tensão de saída do operacional, o que será levado por realimentação positiva à entrada "não inversora", levando a saída do operacional a zero volt, cortando instantaneamente o relé.

Desta forma, além do acionamento e desligamento do relé ser mais preciso, aumenta sua vida útil. Mas vamos a seguir, analisar mais precisamente como funciona a realimentação positiva e suas polarizações.

A figura 6, mostra-nos a configuração básica de um amplificador operacional funcionando com realimentação positiva, ou seja, pegando uma amostra da saída e levando-a à entrada "Não inversora". Esta configuração possibilita a criação do circuito chamado "Schmitt Trigger" ou disparador Schmitt, que transforma variações de tensão na entrada do operacional, em variações quadradas máximas (entre o mínimo e o máximo da tensão aplicada).

A tensão que pode ser definida na figura 6 é apenas

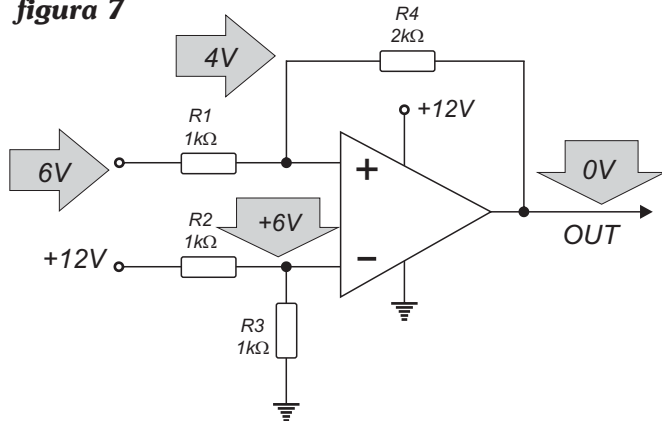


da entrada "Inversora" que apresentam potencial de 6 volts, fornecido pelo divisor de tensão na entrada, formado por R2 e R3.

Na figura 7, dizemos inicialmente que a tensão de saída deste operacional, encontra-se com zero volt e que o lado esquerdo do resistor R1 existe uma

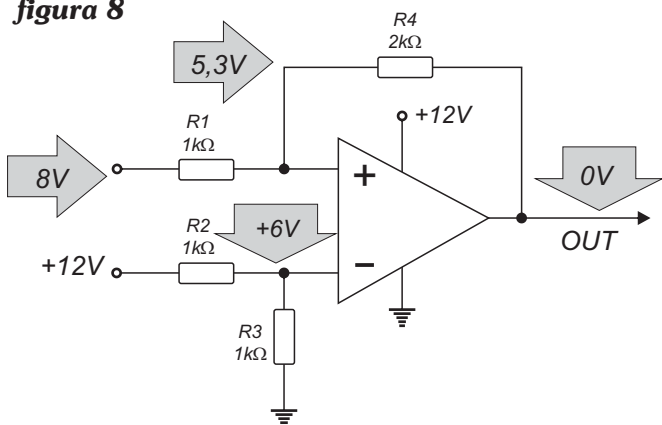
tensão de 6 volts. Como a tensão de saída está em 0 volt e existe um divisor de tensão da saída até o lado esquerdo de R 1, teremos uma queda de tensão de 4 volts sobre o resistor R 4 e somente 2 volts de queda para o resistor R1. Como a tensão da entrada "não inversora"

**figura 7**



encontra-se com 4 volts, ela manterá a saída do operacional em nível baixo (0 volt). Na figura 8, mostramos que elevamos o potencial do lado esquerdo de R 1 para 8 volts e verificamos que a entrada "Não inversora" elevou-se para 5,3 volts ainda abaixo da tensão da entrada "Inversora" (6 volts); manteve-se assim a saída do operacional em nível baixo. A figura 9, mostra que no instante que o lado

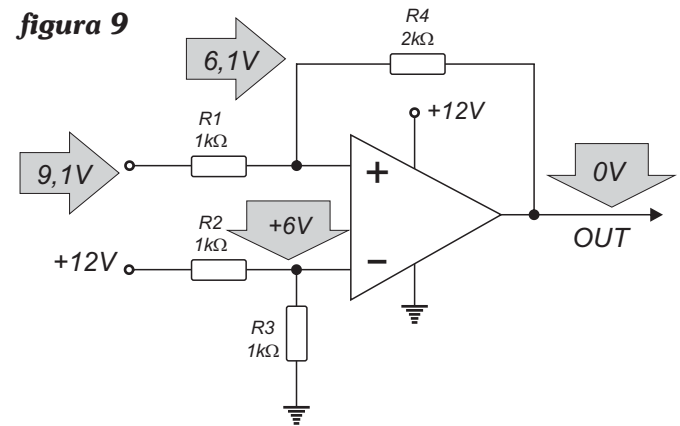
**figura 8**



esquerdo de R 1 alcança 9,1 volts, a divisão de tensão dos resistores R 1 e R 4 (com zero volt na saída) acaba deixando a entrada "Não inversora" com potencial de 6,1 volts, que é levemente superior ao potencial existente na entrada "Inversora"; com isso, imediatamente haverá subida da tensão de saída para 12 volts como mostra a figura 10, elevando também o potencial da entrada "Não inversora" para 10 volts. Com a tensão da entrada "Não inversora" mais alta do que da entrada "Inversora" será mantido o nível alto na saída do operacional. Considerando agora que o nível de entrada (lado

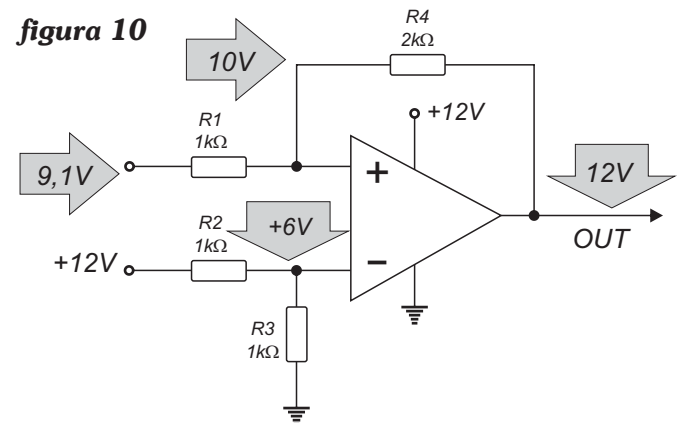
esquerdo de R 1) caiu para 6 volts, tendo ainda 12 volts na saída, acabamos tendo 8 volts na entrada "não inversora" o que garante um nível alto a saída do operacional (figura 11). Para que possamos entender o porquê da tensão

**figura 9**



de 8 volts na entrada "não inversora", será necessária observar que R1 tem metade do valor de R4, sendo assim de 6 volts (lado esquerdo de R1) para 12 volts (saída do operacional) temos uma queda de tensão de 6 volts, que será distribuída entre R1 e R4; como R4 possui o dobro do valor, haverá 4 volts sobre R4 e somente 2 volts sobre R1. É importante observar que após a variação da saída do operacional para nível alto ou baixo, esta se

**figura 10**



mantém, esperando uma grande variação de tensão na entrada. Na sequência da figura 12, se abaixarmos a tensão para 4 volts (lado esquerdo de R 1), teremos como resultante na entrada "Não inversora" uma tensão de 6,6 volts, que manterá a tensão de saída em nível alto. Somente quando a tensão de entrada chegar a 2,9 volts (como mostra a figura 13) é que haverá na entrada "Não inversora" uma tensão menor do que a entrada "Inversora", mudando rapidamente a saída do operacional para zero volt, como mostra a figura 14. Nessa mudança, a tensão da entrada "Não inversora" acaba caindo para dois volts, mantendo a saída em zero volt. Elevando o potencial do lado esquerdo de R 1

figura 11

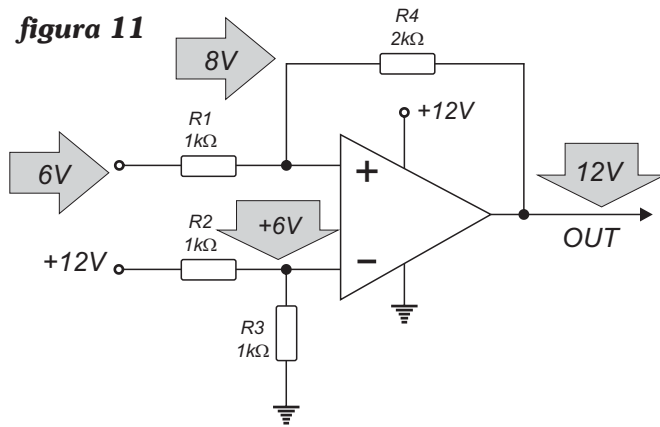


figura 12

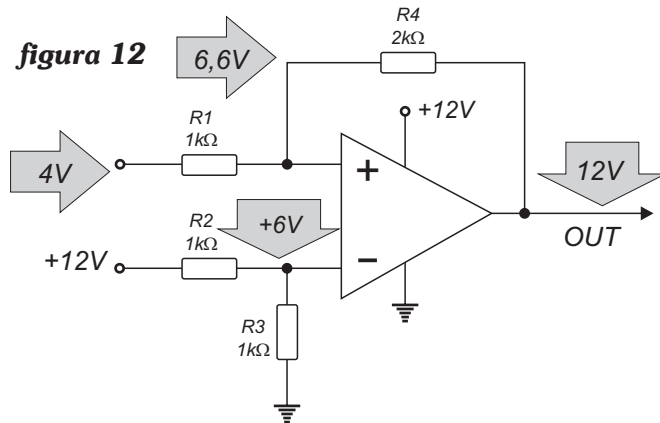
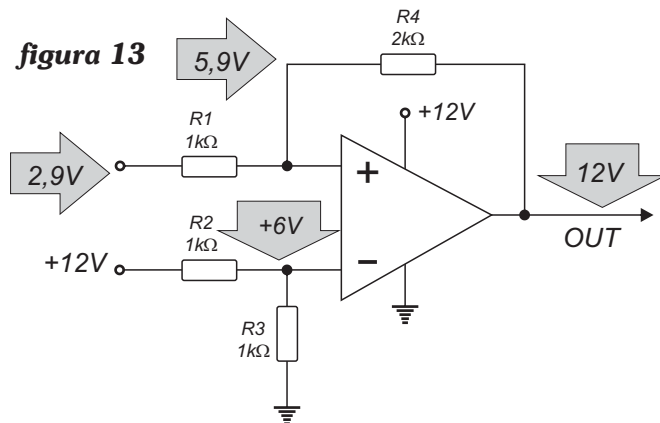
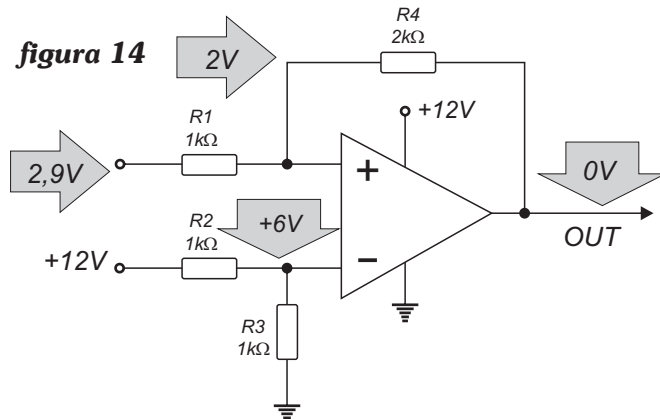


figura 13



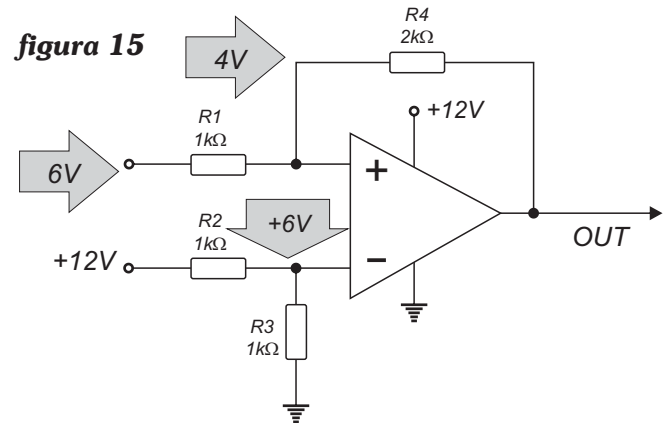
novamente para 6 volts, teremos na entrada "Não inversora" um potencial de 4 volts, garantindo o nível baixo (0 volt) para saída do integrado. Na figura 16a, temos as formas de onda da entrada

figura 14



e saída do operacional, onde em 60a, podemos ver o sinal com ruídos, ou variações indesejáveis. Podemos ver também picos de tensões mais altas,

figura 15



ultrapassando 9 volts e mais baixas, caindo abaixo de 3 volts. São esses extremos que queremos detectar e assim, toda vez que a tensão da entrada ultrapassar 9 volts, haveria mudança brusca na tensão de saída do operacional, alterando-se para 12 volts e permanecendo assim até que a tensão de

figura 16a

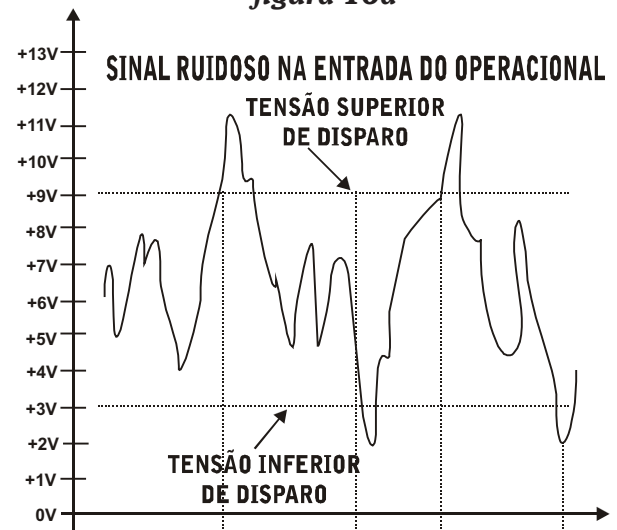


figura 16b



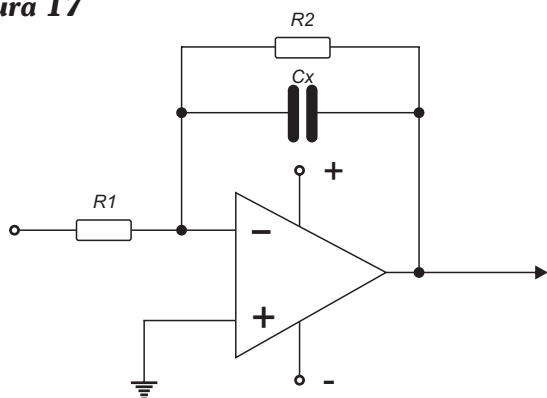
entrada caia abaixo de 3 volts (veja figura 16b, onde temos a variação da saída do operacional).

A sensibilidade do Schmitt Trigger pode ser ajustada alterando o valor do resistor de realimentação positiva. Quanto menor valor, maior deverá ser a variação do sinal da entrada (esquerda de R 1) para conseguir a mudança do operacional. Quanto maior o valor do resistor de realimentação positiva, menor variação de sinal será necessária na entrada para alterar a saída do operacional.

**O operacional como integrador e diferenciador**

O amplificador operacional poderá trabalhar também como integrador ou diferenciador, como mostramos na figura 17 em diante.

**figura 17**

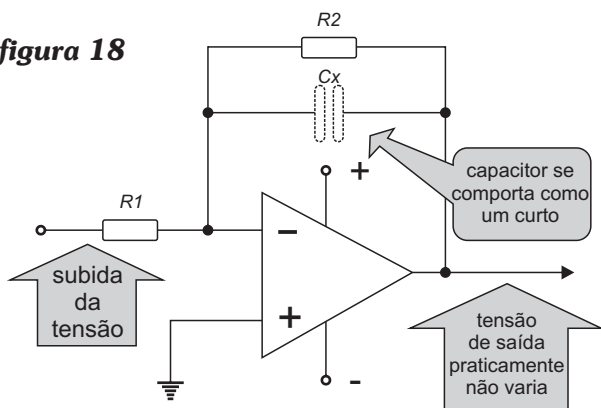


a) **circuito integrador:** o circuito integrador pode ser encarado como um passa baixas frequências, pois caso a variação de tensão ocorrer de uma forma muito rápida, haverá na saída do operacional uma variação lenta.

A figura 17, mostra o circuito integrador de forma muito simples, onde um capacitor Cx, faz o papel de realimentação negativa.

Quando a tensão do lado esquerdo de R 1 sobe bruscamente (observem a figura 18), haverá uma tendência da tensão de saída do operacional não variar, pois o capacitor se comportará como um curto. Como a tensão da entrada "Inversora" tende a ficar igual à da entrada "não inversora", ou seja,

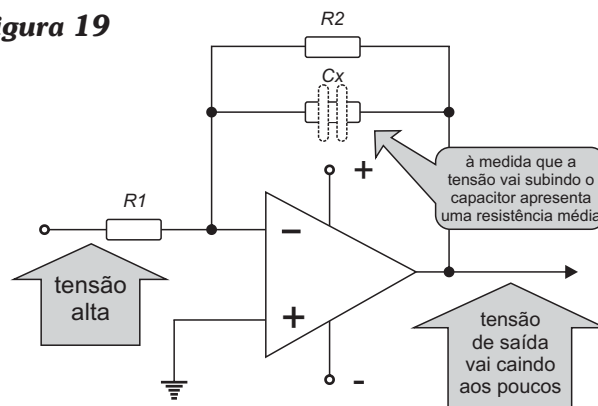
**figura 18**



0V, podemos dizer que o curto do capacitor, obrigará a tensão de saída a sair de sua estabilidade.

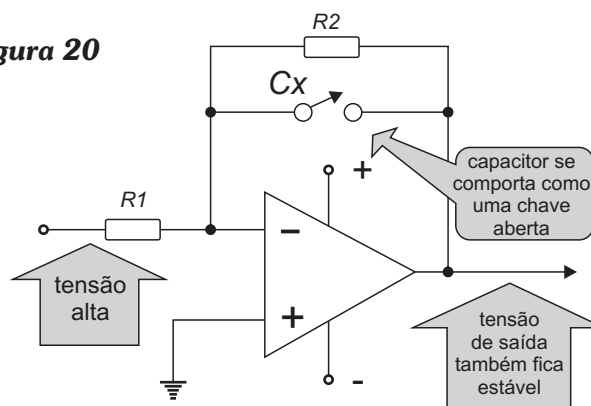
Na figura 19, vemos que a tensão de saída começa a cair aos poucos, à medida que o capacitor vai se carregando e apresentando uma resistência que vai aumentando com o passar do tempo.

**figura 19**



Na figura 20, vemos que após um tempo, o capacitor será considerado um circuito aberto, além de agora somente o valor da resistência R 2 que ficará na malha de realimentação negativa.

**figura 20**



Nas figuras 21 a, b e c, podemos ver como fica a tensão de saída comparando-as com a tensão de entrada. Na figura 21a, temos uma variação de onda quadrada, onde podemos destacar nesta, a rápida variação do potencial de tensão zero para um potencial positivo, que ocorre quase que instantaneamente. Essa variação rápida, fará com que o capacitor funcione como um curto, impedindo que a saída do operacional varie com a tensão de entrada. Teremos então na figura 21b uma variação de tensão caindo lentamente, até que chega a um ponto de estabilização (tempo t2), onde a tensão atinge uma estabilidade devido a malha de realimentação formada por R 2 e R1.

Quando a tensão na entrada de R 1 sofre nova mudança brusca, variando de nível alto para nível baixo, fará novamente o operacional variar, de forma que a tensão irá subir paulatinamente, até que se torne positiva. Na figura 21c, vemos que a

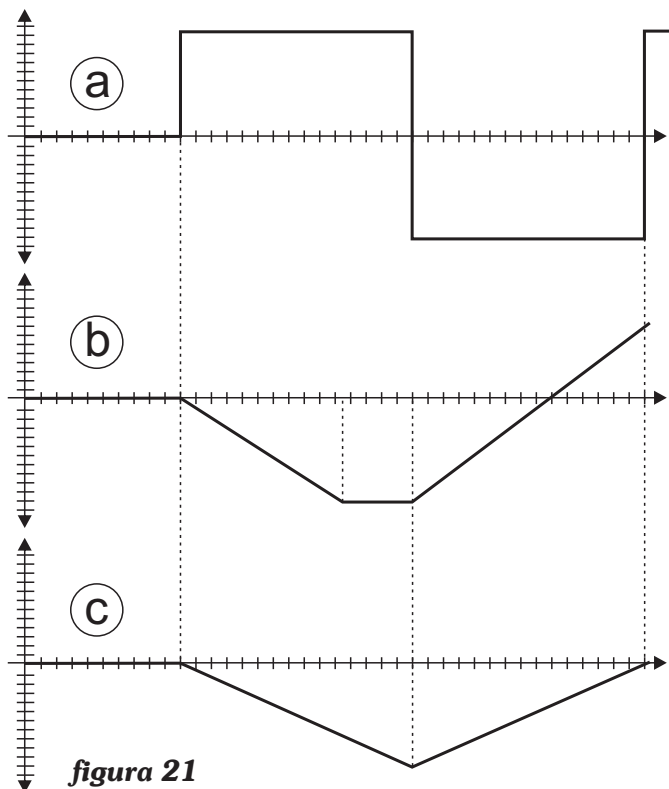
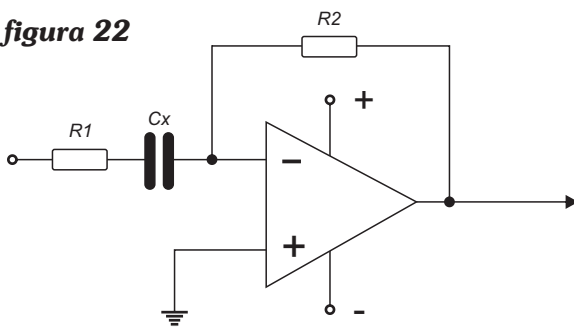


figura 21

variação ocorre de forma mais lenta, isto devido a um capacitor de valor maior colocado na realimentação negativa.

b) **circuito diferenciador:** o circuito diferenciador permite que por um circuito qualquer, somente passe variações de alta frequência, barrando variações de tensão em baixa frequência. O circuito básico pode ser visto na figura 22, onde vemos um capacitor  $C_x$  em série com  $R_1$ .

figura 22



Na figura 23, consideramos que está havendo uma subida de tensão, fazendo com que  $C_x$  comporte-se como um curto. Isto coloca o resistor  $R_1$  ligado a entrada "inversora" do operacional, fazendo com que haja para saída dele, a manifestação da variação de tensão, ou seja, ela acaba caindo bruscamente.

Na figura 24, já vemos que o capacitor  $C_x$  está aumentando sua reatância devido à estar se carregando, obrigando a tensão na saída do operacional a subir, até que a tensão atinja zero volt, quando o capacitor estará completamente

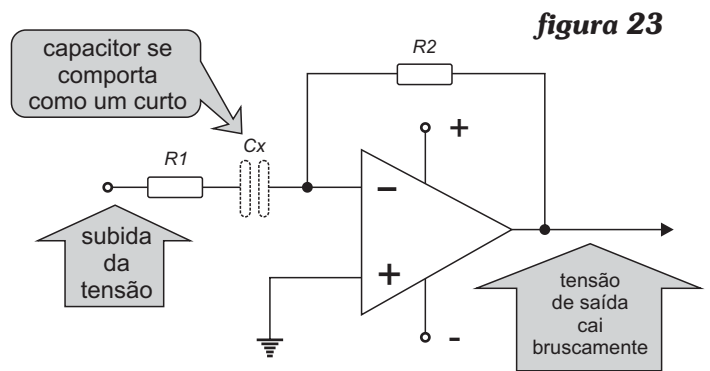


figura 23

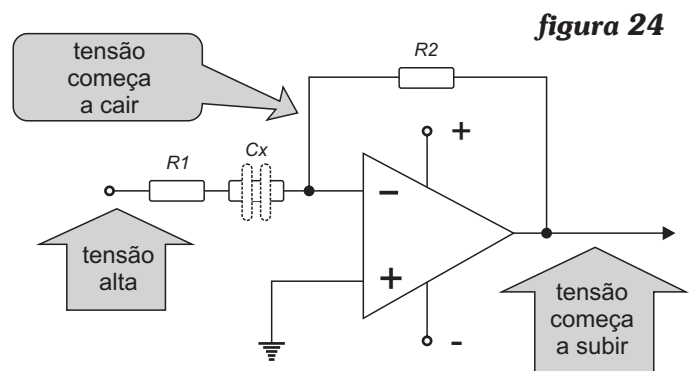


figura 24

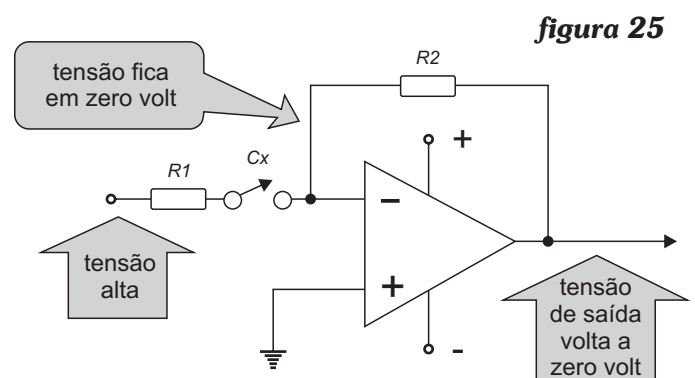


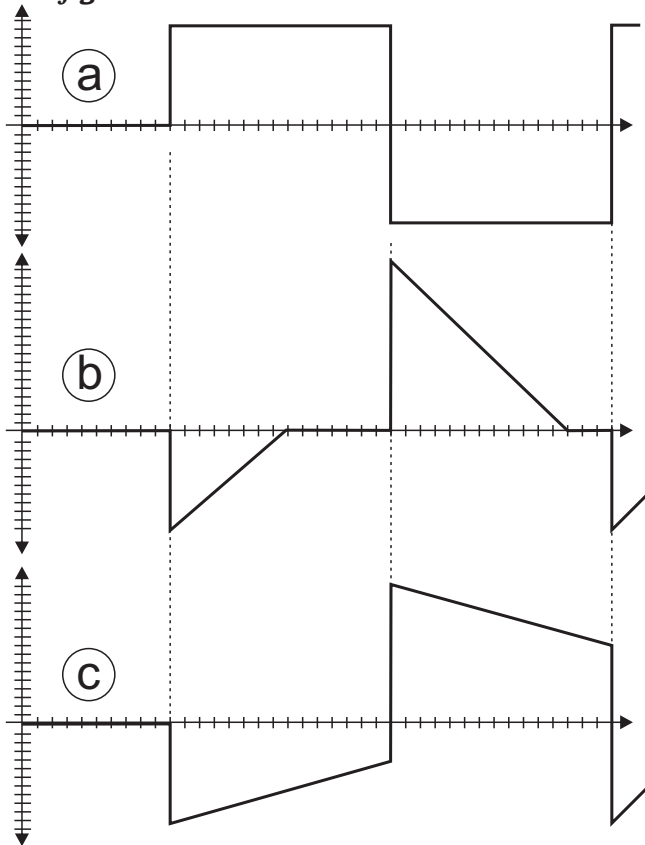
figura 25

carregado, comportando-se com um circuito aberto (figura 25).

Na figura 26a, podemos ver a forma de onda no lado esquerdo de  $R_1$ , tendo a resultante na saída do operacional mostrada na figura 26b, que cai bruscamente respondendo ao sinal na entrada; logo em seguida, podemos vê-la subindo até que chega novamente a zero volt (capacitor já carregado).

Com a tensão de entrada caindo bruscamente para um potencial negativo, haverá agora uma tensão armazenada no capacitor (igual a tensão aplicada), fazendo com que a entrada "Inversora" receba uma tensão bem mais negativa, fazendo sua saída subir em uma proporção dobrada, como mostra o tempo  $t_3$  em diante. Após, com a des-carga do capacitor de sua carga invertida, acaba a tensão de saída voltando a zero volt.

**figura 26**

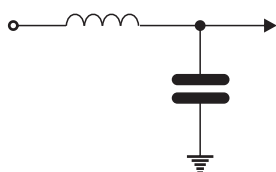


Na figura 26c, podemos ver as variações de tensões ocorridas para um capacitor de valor maior.

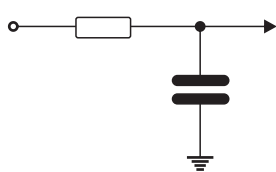
**O filtros de frequência utilizando operacionais**

Antes de mencionar os o trabalho dos operacionais, façamos uma passagem rápida pelos vários tipos de filtros existentes.

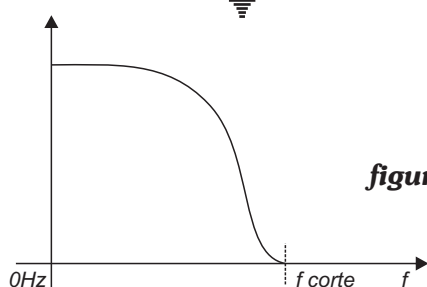
Na figura 27a, temos um indutor em série com o sinal, o que causará uma baixa reatância (resistência) à sinais de frequências baixas e de alta



**figura 27a**



**figura 27b**

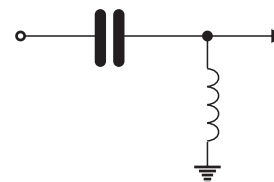


**figura 27c**

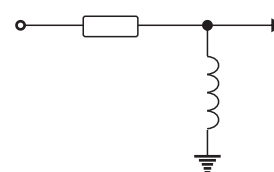
reatância à sinais de frequências altas. O capacitor na sequência, fará a integração das frequências altas, deixando passar para o circuito posterior, as frequências baixas. Assim temos o filtro passa baixas frequências ou L.P.F. (Low Pass Filter). A forma de onda da banda passante do circuito pode ser vista na figura 27c, onde temos uma grande amplitude de sinal nas frequências baixas (próximas à zero hertz); à medida que a frequência vai aumentando, vemos que o gráfico vai perdendo amplitude até chegar a zero, onde chamamos de frequência de corte.

O circuito simplificado de L.P.F. pode ser visto na figura 27, onde temos apenas um resistor e um capacitor, fazendo função semelhante ao circuito da figura 27a.

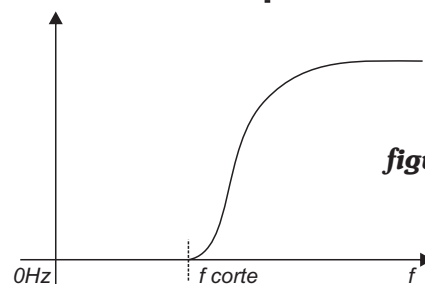
Na figura 28a, podemos ver um filtro passa altas frequências ou H.P.F. (High Pass Filter). Nas frequências baixas, o indutor se comportará como um curto, levando todo sinal para massa; com o aumento da frequência, a reatância do indutor aumentará e assim haverá queda de tensão sobre ele, sinal este que seguirá adiante. Na figura 28c, vemos como ficaria a curva de resposta de frequência desse filtro, onde as frequências baixas apresentam a amplitude zerada, enquanto que a partir de uma determinada frequência, começa a ter tensão sobre o indutor, indo até uma frequência muito alta. Um filtro H.P.F. utilizando capacitor de



**figura 28a**



**figura 28b**



**figura 28c**

acoplamento pode ser visto na figura 28a.

Na figura 29a, vemos um filtro passa banda ou passa faixa, também conhecido como B.P.F. (Band Pass Filter), onde nas baixas frequências, o indutor comportar-se como um curto, impedindo a passagem dessas frequências; já para as altas frequências, será o capacitor que se comportará como um curto. Assim, em uma determinada

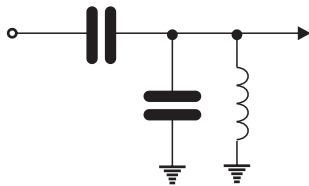


figura 29a

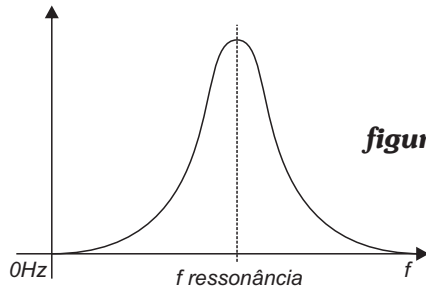


figura 29b

frequência média, teremos uma média reatância, tanto para o indutor como para o capacitor, o que causará a existência de determinada amplitude sobre eles, amplitude que seguirá adiante. A frequência em que os dois componentes possuem a mesma reatância é chamada de "frequência de ressonância". A figura 29b, mostra curva de

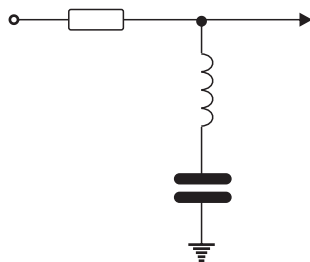


figura 30a

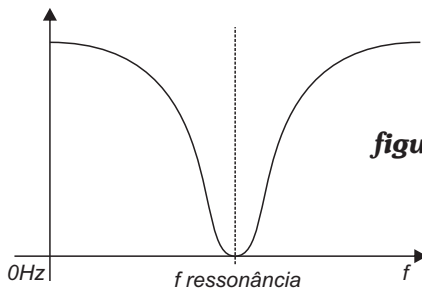
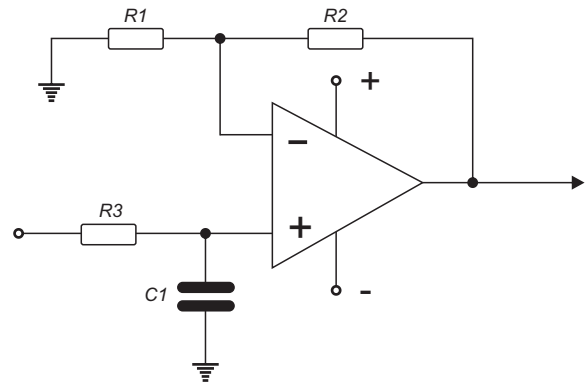


figura 30b

resposta para o B.P.F. A figura 30a, mostra uma armadilha ou TRAP, onde em uma determinada frequência baixa, o indutor deixar passar o sinal, mas não passando pelo

capacitor; e na frequência alta, haverá uma baixa reatância para o capacitor e mais alta para o indutor. Finalmente uma frequência média a reatância do indutor e capacitor serão baixas, matando uma frequência de faixa específica. A curva de resposta

figura 31



da armadilha ou TRAP, pode ser vista na figura 30b. Todos os filtros vistos, são chamados de passivos, pois apesar de desempenharem seus papéis, aplicam perdas ao sinal da entrada. Já os filtros utilizando amplificadores operacionais, como vemos na figura 31, deixam passar determinada

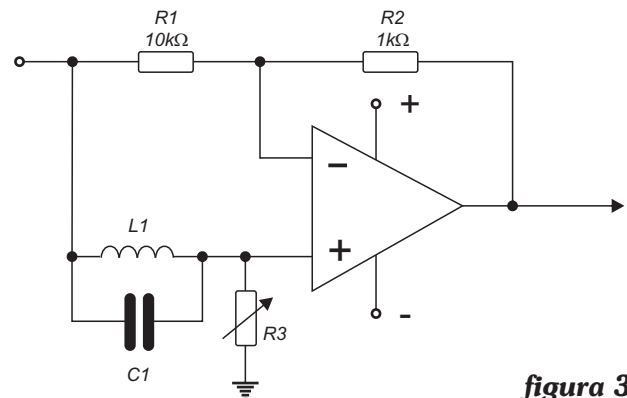
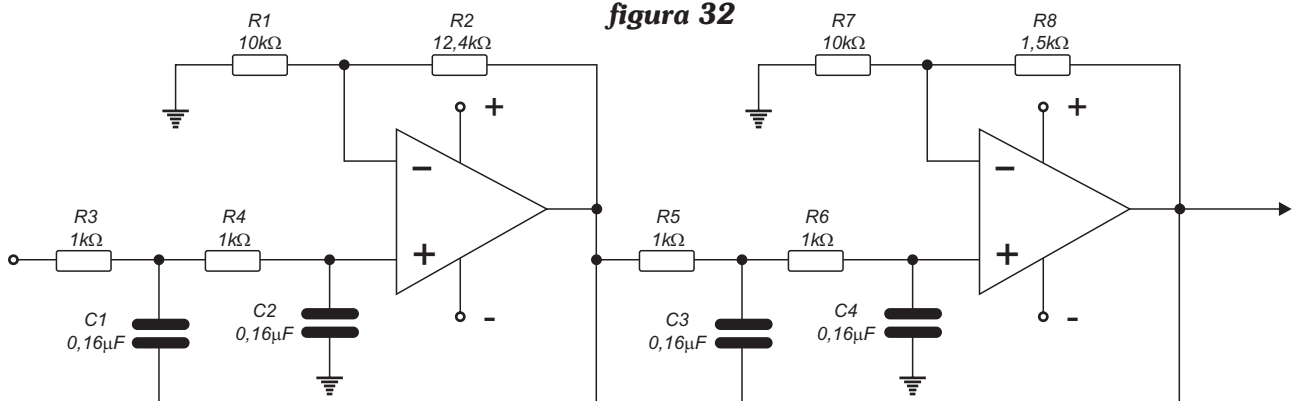


figura 33

frequência dando ganho à mesma. A figura 32, mostram um filtro passa baixa ativo, onde o capacitor C2 e C4 deixam passar somente as frequências baixas, cabendo aos capacitores C1 e C3 realimentar positivamente estas baixas

figura 32





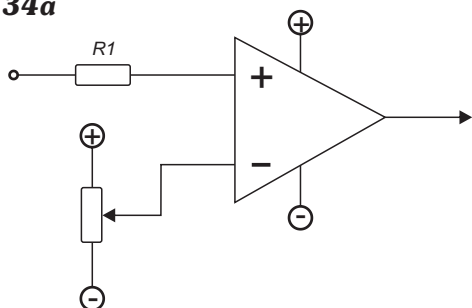
frequências para a entrada, aumentando consideravelmente seus níveis.

A figura 33, mostra um circuito TRAP ou armadilha ativo, onde podemos ver que em uma determinada frequência baixa, haverá um curto no indutor, permitindo que a tensão da entrada "não inversora" seja a mesma da entrada "inversora" mantendo o ganho de saída igual a 1. Já para as frequências altas, será o capacitor que comportar-se-á como um curto, mantendo também a saída igual a 1. Mas em uma determinada frequência, haverá queda de tensão sobre indutor e o capacitor, fazendo com que a entrada "não inversora" tenda a ficar com a tensão diferenciada da entrada "inversora" fazendo com que o ganho, possa ser comandado pelos valores dos resistores. Como temos R2 10 vezes menor que R1, o ganho acaba sendo de 0,1 ou 10% em relação à entrada.

**Comparadores de tensão**

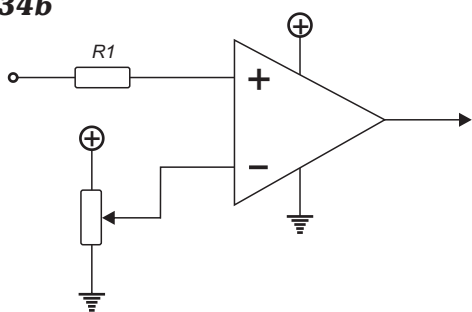
Uma outra aplicação para os amplificadores operacionais é a comparação de tensão, ou seja, quando queremos que haja uma indicação ou variação sempre que uma determinada tensão atingir um determinado nível. As figuras 34a e 34b, mostram como seriam os comparadores de tensão

**figura 34a**



utilizando fonte simétrica ou fonte convencional. A explicação sobre estes circuitos limitam-se as figuras, pois nos primeiros comentários sobre amplificadores operacionais, todos os exemplos

**figura 34b**



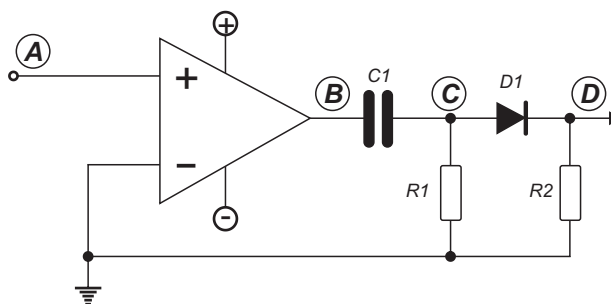
foram feitos em cima de comparadores de tensão. **Aplicações gerais de amplificadores operacionais**

Podemos utilizar os operacionais para inúmeras

aplicações como veremos adiante, e circuitos que podem ser gerados a partir deles está limitado a imaginação do projetista em eletrônica.

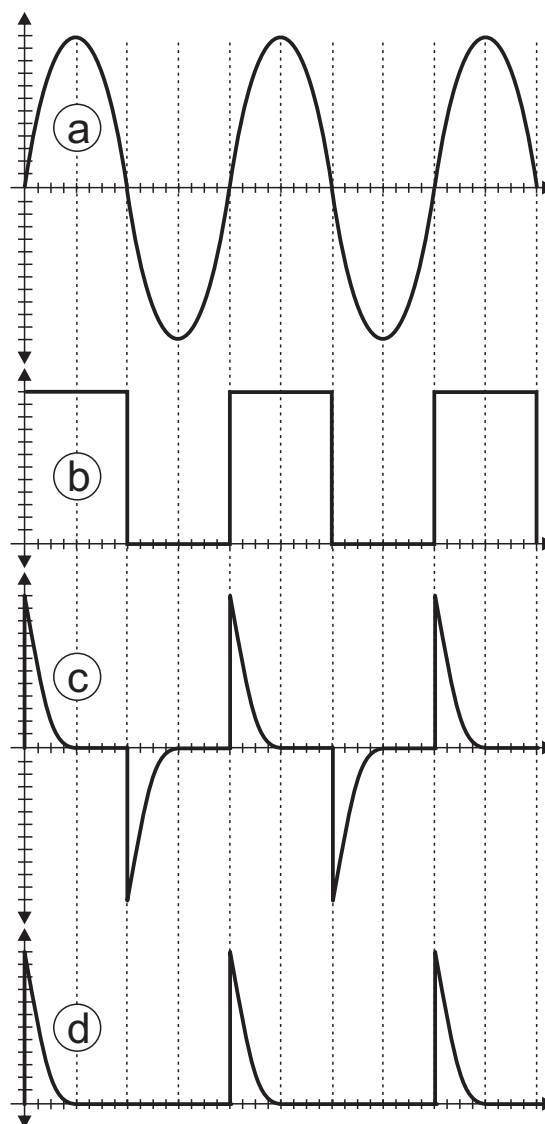
Na figura 35, vemos um operacional com a sua entrada "Inversora" ligado à massa, entrando sinal

**figura 35**



de trabalho pela entrada "Não inversora". A cada variação do sinal na entrada, teremos uma variação brusca na saída (indo de +B até -B). Esta onda quadrada será posteriormente diferenciada por C1, ou seja, só passarão variações rápidas do sinal, e após o diodo D1, apenas pulsos positivos (acima da

**figura 35**



massa).  
 A figura 35, mostra a variação senoidal proveniente de algum gerador ou da rede elétrica, que é transformada em uma onda quadrada perfeita na figura 35. Com a elevação de tensão do lado esquerdo do capacitor, forma-se um tempo de carga deste, que é feito por R 1, criando no ponto "C" um pico de tensão positivo. Com a carga do capacitor sendo concluída, a tensão no ponto "C" cai, até que volta a zero volt. O capacitor fica assim carregado com a tensão de saída do operacional (+ B).

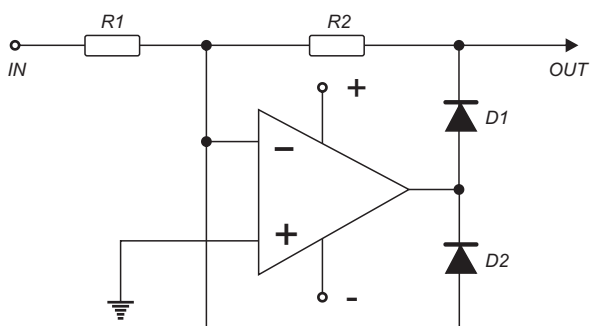
A queda na tensão da saída do operacional para 0V. Fará o lado direito do capacitor, que estava armazenando a tensão de +B, cair abaixo da massa. Isto ocorre durante um tempo muito curto, até que com a descarga do capacitor, a tensão no ponto "C" volta a zero volt. Criam-se portanto, pulsos positivos e negativos que são as diferenças das variações para positivo e negativo da onda quadrada.

Finalmente na figura 35, vemos que somente pulsos positivos conseguem passar pelo diodo D1, formando pulsos que podem ser utilizados para disparo de uma série de circuitos.

Na figura 36, temos um retificador de pulsos que pegara o sinal na entrada, deixando passar somente variações positivas do sinal.

Vamos considerar inicialmente que a tensão na entrada "Inversora" do operacional está caindo abaixo da massa; isto fará com que a tensão de saída suba, cortando o diodo D2, mas polarizando o diodo D1, que faz com que o lado direito do resistor R 2 fique positivo, tendendo a realimentação para entrada "inversora" a variação da saída. O nível de saída portanto, dependerá da relação de valores entre R 1 e R 2.

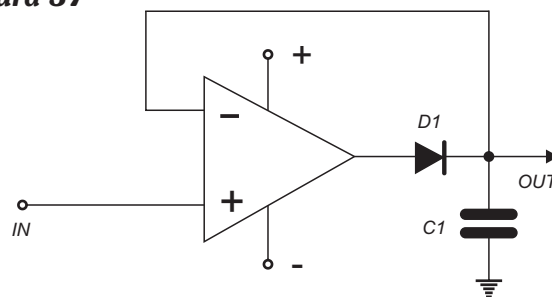
**figura 36**



Quando a tensão do lado esquerdo de R 1 tornar-se positiva, haverá a tendência de queda na tensão da saída do operacional, que cairá somente até -0,6 volt, fazendo o diodo D2 conduzir e com isto jogando um potencial de zero volt na entrada "Inversora". Como D1 fica cortado, não haverá a passagem deste pequeno potencial negativo para saída. Temos assim um retificador de tensão de AC para DC.

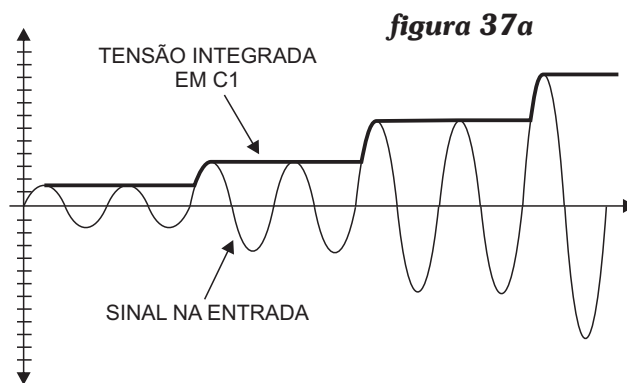
Temos agora na figura 37, um indicador de pico de tensão positiva, ou seja, manterá durante um tempo (dado pelo valor de C1) a tensão de pico positiva proveniente de um sinal AC. Considerando que o sinal aparece na entrada "Não inversora", a elevação dessa tensão produzirá na saída do operacional também uma elevação de tensão que será sempre 0,6 volt maior do que da entrada, pois, após o diodo D1, essa tensão será a mesma da entrada, fato que se comprova pela realimentação negativa que é feita de maneira direta, mantendo o ganho do operacional em "1". A subida da tensão acaba sendo armazenada em C1 e quando ocorre a queda da tensão na entrada "Não inversora" a tensão da entrada "Inversora" acaba sendo maior do que esta, fazendo com que a saída do operacional, caia bruscamente.

**figura 37**



Toda vez que a tensão da entrada "Não inversora" ultrapassar a tensão de entrada "Inversora" haverá o aumento da tensão de saída, fazendo D1 conduzir e mantendo essa tensão armazenada. Esse processo é muito utilizado em indicadores de pico de potência onde durante um tempo, ficam armazenadas informações de onde chegou a potência em um dado instante.

A figura 37a, mostra como ficaria a forma de onda de entrada e a integração feita em C1.



Na figura 38, temos outro tipo de retificador de tensão, onde o sinal manifesta-se na entrada, acima e abaixo da referência de zero volt. Quando o sinal na entrada IN, torna-se negativo, ou seja, cai abaixo da massa, acaba ocorrendo uma elevação brusca na tensão de saída, não permitindo a condução do

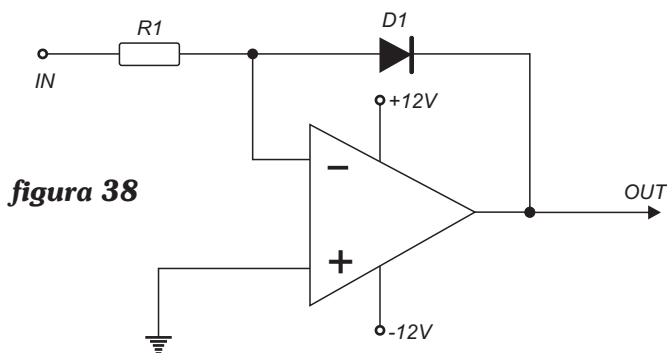


figura 38

diodo D1, mantendo a tensão de saída em um potencial de -0,6 volt, ficando a entrada "Inversora" com potencial de zero volt. Logo, a forma de onda de saída acaba apresentando variações de +12 volts até -0,6 volt, como mostra a figura 38a.

Podemos também inverter o diodo D1 (figura 39), ficando agora a resultante invertida a anterior.

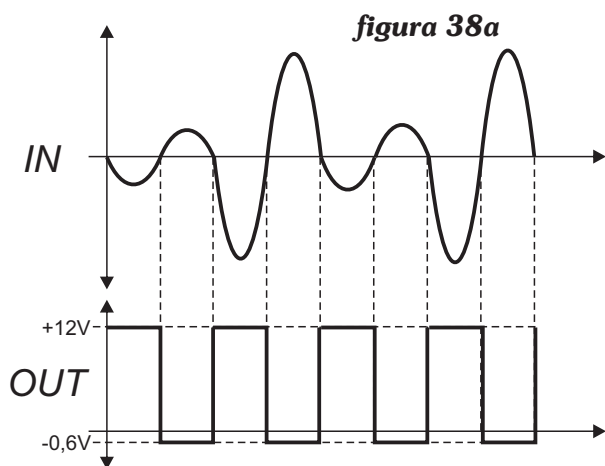


figura 38a

Quando a tensão na entrada IN diminuir abaixo da massa, haverá a elevação do potencial da saída do operacional, que subirá até + 0,6 volts, fazendo diodo D1 conduzir e com isso mantendo a entrada

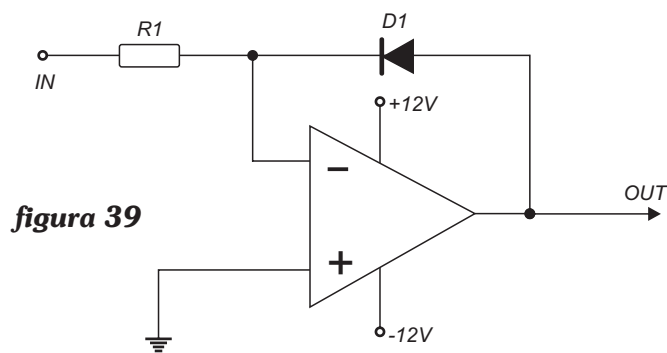


figura 39

"Inversora" com um potencial "zerado". Logo em seguida, com o aumento da tensão na entrada IN haveria na saída do integrado uma queda de tensão que não seria realimentada, caindo até -12 volts. Como mostra a forma de onda da figura 39a.

Muitos técnicos poderiam dizer que somente com o diodo isto já seria possível, o que é verdade, mas o sinal de saída do operacional, consegue chegar aos extremos de tensão e mais do que isto, consegue entregá-lo em baixa impedância, permitindo a excitação posterior de outros estágios.

**Circuito limitador**

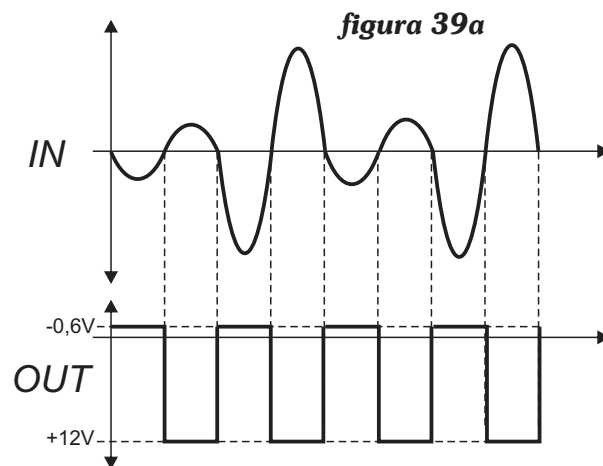


figura 39a

Em algumas aplicações, não podemos deixar que o sinal amplificado ultrapassa limites adequados, o que poderia causar problemas à equipamentos ou outros trabalhos. Assim, de uma forma simples, um amplificador de sinal pode incorporar um limitador para os dois semiciclos, como mostra a figura 40. Nesse circuito, podemos ver que além de uma polarização convencional para a amplificação de sinal, utilizando R 1 e R 2, temos também os dois diodos zener's de mesma tensão (6,2 volts), quem vão limitar a tensão máxima de saída.

Na figura 40a, mostramos uma variação de sinal de 1Vpp sendo aplicada inicialmente ao circuito (entrada IN). Essa variação de entrada será de 0,5 volt para o potencial positivo e considerando que deveremos manter a entrada "Inversora" em zero volt, teremos uma queda de tensão de 0,5 volt sobre R 1. Como o resistor R 2 é dez vezes maior do que R 1, haverá uma queda neste de 5 volts, resultando em uma tensão de saída do operacional de -5 volts. Podemos dizer que o diodo ZD1 estaria diretamente polarizado, mas o diodo ZD2 não atingiu uma tensão de ruptura zener que é de 6,2 volts, pois a tensão sobre eles é no momento de 5 volts.

Quando sinal da entrada tornar-se em -0,5 volt, haverá a elevação do potencial de saída para + 5 volts e apesar do diodo série ZD2 estar em condições de condução, o diodo ZD1 não permitirá, pois sua tensão de ruptura zener não foi atingida.

Mas, no instante de t5 a t6, nota-se que a tensão de entrada IN atingiu um patamar de 1 volt, ou seja, acaba criando sobre o resistor R1 queda de tensão de um volt, visto que a tensão na entrada "Inversora" continuará em zero volt. Deveria assim ,haver uma queda de tensão de 10 volts sobre o

