



2023

17. Transístores

R2: SCRAPY Guide

Número do projeto: **2021-1-FR01-KA220-SCH-000031617**



 Co-funded by
the European Union

O apoio da Comissão Europeia à produção desta publicação não constitui um endosso do conteúdo, que reflete apenas as opiniões dos autores, e a Comissão não pode ser responsabilizada por qualquer uso que possa ser feito das informações nele contidas.

ECAM EPMI
30/04/2023

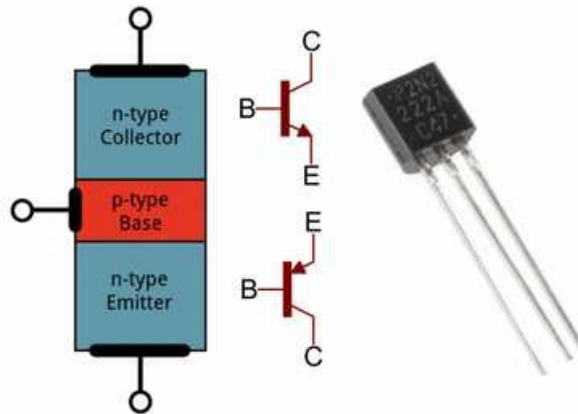
Índice

1 Introdução	2
2 Símbolos, Pinos e Construção	3
2.1 Construção de transistor	4
2.2 Um transistor como dois diodos	4
2.3 Estrutura e Operação do Transistor	4
2.4 Extensão da analogia da água	6
2.5 Potência de amplificação	8
3 Modos de operação	8
3.1 Modo de saturação	9
3.2 Modo de corte	10
3.3 Modo Ativo	11
3.4 Amplificação no Modo Ativo	11
3.5 Ativo reverso	12
4 Relativamente ao PNP	12
5 Aplicações I: Switches	13
5.1 Interruptor Transistor	13
6 Resistores de base!	15
7 Lógica Digital	16
8 Osciladores	19
9 Aplicações II: Amplificadores	20
10 Configurações comuns	21
10.1 Emissor comum	21
10.2 Coletor Comum (Seguidor Emissor)	22
10.3 Base comum	23
10.4 Em resumo	23
11 Amplificadores Multistage	23
11.1 Amplificador diferencial	24
11.2 Amplificador Push-Pull	25
11.3 Juntando-os (um amplificador operacional)	25

1 Introdução

Os transístores fazem o nosso mundo da electrónica dar a volta. Eles são fundamentais como fonte de controle em praticamente todos os circuitos modernos. Às vezes você os vê, mas na maioria das vezes eles estão escondidos nas profundezas de um circuito integrado. Nesta lição, apresentaremos o básico do transistor mais comum em torno da junção com o transistor de transtorno bipolar (BJT).

Em pequenas quantidades discretas, os transístores podem ser usados para criar interruptores eletrônicos simples, lógica digital e circuitos de amplificação de sinal. Em quantidades de milhares, milhões e até bilhões, os transístores são interconectados e incorporados em chips minúsculos para criar memórias de computador, microprocessadores e outros CIs complexos.



Transístores

Abordado nesta lição:

Depois de ler esta lição, queremos que você tenha uma compreensão ampla de como os transístores funcionam. Não nos aprofundaremos muito na física de semicondutores ou modelos equivalentes, mas nos aprofundaremos o suficiente no assunto para que você entenda como um transistor pode ser usado como interruptor ou amplificador.

Esta lição está dividida em uma série de seções, abrangendo:

- **Símbolos, Pinos e Construção** -- Explicando as diferenças entre os três pinos do transistor.
- **Estendendo a analogia** da água -- Voltando à analogia da água para explicar como um transistor age como uma válvula.
- Modos de operação -- Uma visão geral dos quatro modos de operação possíveis de um transistor.
- **Aplicações I: Switches** -- Circuitos de aplicação mostrando como os transístores são usados como interruptores controlados eletronicamente.

- **Applications II: Amplifiers** -- More application circuits, this time showing how transistors are used to amplify voltage or current.

Existem dois tipos de transístores básicos: junção bipolar (BJT) e efeito de campo de óxido de metal (MOSFET). Nesta lição, vamos nos concentrar no BJT, porque é um pouco mais fácil de entender. Aprofundando ainda mais os tipos de transistores, existem duas versões do BJT: NPN e PNP. Vamos tornar nosso foco ainda mais nítido, limitando nossa discussão inicial ao NPN. Ao restringir nosso foco para baixo - obtendo uma compreensão sólida do NPN - será mais fácil entender o PNP (ou MOSFETS, mesmo) comparando como ele difere do NPN.

Antes de nos aprofundarmos nesta lição, recomendamos vivamente que dê uma olhada:

- **Tensão, Corrente, Resistência e Lei de Ohm** -- Uma introdução aos fundamentos da eletrônica.
- **Noções básicas de eletricidade** -- Vamos falar um pouco sobre eletricidade como o fluxo de elétrons. Descubra como esses elétrons fluem neste tutorial.
- **Energia elétrica** -- Uma das principais aplicações do transistor é a amplificação, aumentando a potência de um sinal. Aumentar a potência significa que podemos aumentar a corrente ou a tensão, descubra porquê neste tutorial.
- **Diodos** -- Um transistor é um dispositivo semicondutor, assim como um diodo. De certa forma, é o que você obterá se empilhasse dois diodos juntos e amarrasse seus ânodos juntos. Entender como um diodo funciona ajudará muito a descobrir o funcionamento de um transistor.

2 Símbolos, Pinos e Construção

Os transístores são fundamentalmente dispositivos de três terminais. Em uma junção com transistor de transorno bipolar (BJT), esses pinos são rotulados **coletor (C)**, **base (B)** e **emissor (E)**. Os símbolos de circuito para o NPN e PNP BJT estão abaixo:



Os símbolos de circuito para o NPN e os transístores PNP

A única diferença entre um NPN e PNP é a direção da seta no emissor. A seta em um NPN aponta, e no PNP ele aponta para dentro. Um mnemônico útil para lembrar é:

NPN: Não apontando iN

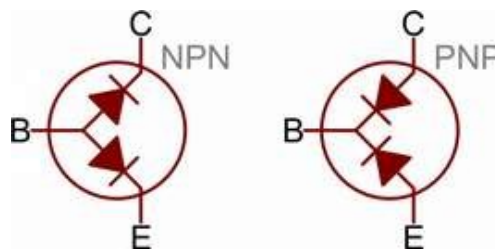
Lógica retrógrada, mas funciona!

2.1 Construção de transistor

Os transístores dependem de semicondutores para fazer a sua magia. Um semicondutor é um material que não é um condutor puro (como o fio de cobre), mas também não é um isolante (como o ar). A condutividade de um semicondutor - a facilidade com que ele permite que os elétrons fluam - depende de variáveis como a temperatura ou a presença de mais ou menos elétrons. Vamos olhar brevemente sob o capô de um transistor. Não se preocupe, não vamos nos aprofundar muito na física quântica.

2.2 Um transistor como dois diodos

Os transístores são como uma extensão de outro componente semicondutor: os díodos. De certa forma, os transístores são apenas dois díodos com os seus cátodos (ou ânodos) ligados:



Um transistor como dois diodos

O díodo que liga a base do emissor é o mais importante neste caso; Ele corresponde à direção da seta no símbolo esquemático e mostra de que maneira a corrente deve fluir através do transistor.

A representação de díodos é um bom lugar para começar, mas está longe de ser precisa. Não baseie sua compreensão da operação de um transistor nesse modelo (e não tente replicá-lo em um breadboard, ele não funcionará). Há um monte de coisas estranhas de nível de física quântica controlando as interações entre os três terminais.

(Este modelo é útil se você precisar testar um transistor. Usando a função de teste de díodo (ou resistência) em um multímetro, você pode medir através dos terminais BE e BC para verificar a presença desses "díodos".)

2.3 Estrutura e Operação do Transistor

Os transístores são construídos empilhando três camadas diferentes de material semicondutor juntas. Algumas dessas camadas têm elétrons extras adicionados a elas (um processo chamado "doping"), e outras têm elétrons removidos (dopados com "buracos" - a ausência de elétrons). Um material semicondutor com elétrons extras é chamado de tipo **n** (**n** para negativo porque os elétrons têm uma carga negativa) e um material com elétrons removidos é chamado de **tipo p** (para positivo). Os transístores são criados empilhando um n em cima de um p sobre um n, ou p sobre n sobre p.

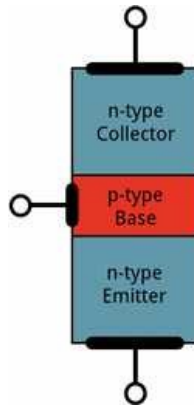


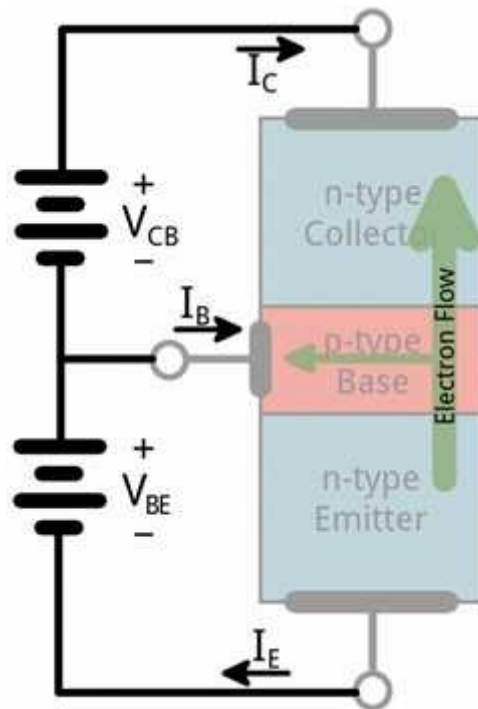
Diagrama simplificado da estrutura de um NPN.

Com alguma mão acenando, podemos dizer que os elétrons podem facilmente fluir de n regiões superiores, desde que tenham um pouco de força (tensão) para empurrá-los. Mas fluir de uma região p para uma região n é difícil (requer muita tensão). Mas a coisa especial sobre um transistor - a parte que torna nosso modelo de dois diodos obsoleto - é o fato de que os **elétrons podem facilmente fluir da base do tipo p para o coletor do tipo n, desde que a junção base-emissor seja enviesada para frente** (o que significa que a base está em uma tensão mais alta do que o emissor).

O transistor NPN é projetado para passar elétrons do emissor para o coletor (assim a corrente convencional flui do coletor para o emissor). O emissor "emite" elétrons para a base, que controla o número de elétrons que o emissor emite. A maioria dos elétrons emitidos são "coletados" pelo coletor, que os envia para a próxima parte do circuito.

Um PNP funciona da mesma forma, mas de forma oposta. A base ainda controla o fluxo de corrente, mas essa corrente flui na direção oposta - do emissor para o coletor. Em vez de elétrons, o emissor emite "buracos" (uma ausência conceitual de elétrons) que são coletados pelo coletor.

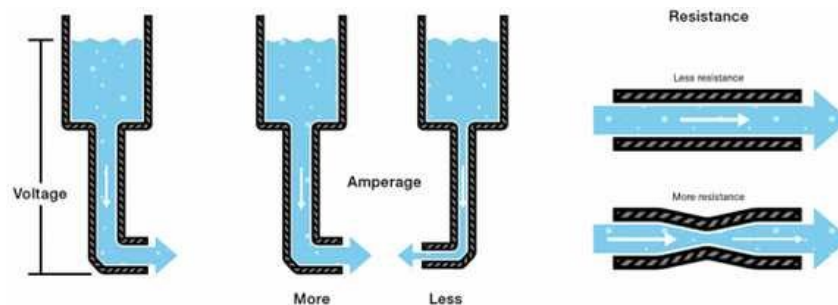
O transistor é como uma **válvula eletrônica**. O pino de base é como uma alça que você pode ajustar para permitir que mais ou menos elétrons fluam do emissor para o coletor. Vamos investigar melhor essa analogia...



A estrutura de uma NPN

2.4 Extensão da analogia da água

Se você tem lido muitos tutoriais de conceito de eletricidade ultimamente, está acostumado a analogias de água. Dizemos que a corrente é análoga à taxa de fluxo de água, a tensão é a pressão que empurra essa água através de um tubo, e a resistência é a largura do tubo.



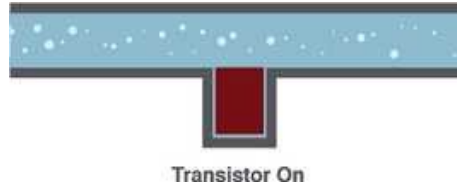
Estendendo a analogia da água

Sem surpresa, a analogia da água também pode ser estendida aos transistores: um transistor é como uma válvula de água - um mecanismo que podemos usar para **controlar a taxa de fluxo**.

Existem três estados em que podemos usar uma válvula, cada um dos quais tem um efeito diferente sobre a taxa de fluxo em um sistema.

1) On -- Curto-circuito

Uma válvula pode ser completamente aberta, permitindo que a água **flua livremente** - passando como se a válvula nem estivesse presente.

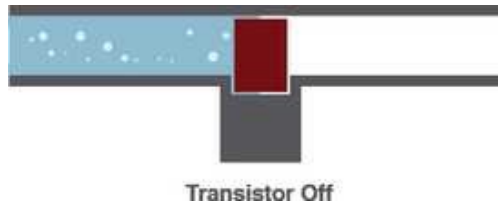


Transistor On -- Curto-circuito

Da mesma forma, nas circunstâncias certas, um transistor pode parecer um **curto-circuito** entre o coletor e os pinos emissores. A corrente é livre para fluir através do coletor e para fora do emissor.

2) Off -- Circuito Aberto

Quando está fechada, uma válvula pode **parar completamente o fluxo** de água.

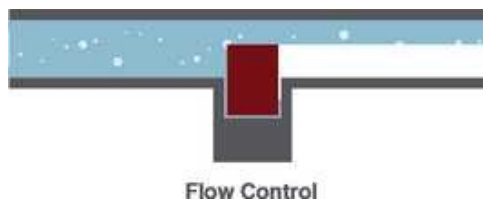


Transistor desligado -- Circuito aberto

Da mesma forma, um transistor pode ser usado para criar um **circuito aberto** entre o coletor e os pinos emissores.

3) Controlo de Caudal Linear

Com algum ajuste preciso, uma válvula pode ser ajustada para controlar finamente **a taxa de fluxo** até algum ponto entre totalmente aberto e fechado.



Controle de fluxo linear do transistor

Um transistor pode fazer a mesma coisa -- **controlando linearmente a corrente** através de um circuito em algum ponto entre totalmente desligado (um circuito aberto) e totalmente ligado (um curto-circuito).

Pela nossa analogia com a água, a largura de um tubo é semelhante à resistência num circuito. Se uma válvula pode ajustar finamente a largura de um tubo, então um transistor pode ajustar finamente a resistência entre o coletor e o emissor. Assim, de certa forma, um transistor é como uma **resistência variável e ajustável**.

2.5 Potência de amplificação

Há outra analogia que podemos fazer com isso. Imagine se, com o ligeiro giro de uma válvula, você pudesse controlar a vazão das comportas de vazão da Represa Hoover. A mísera quantidade de força que você pode colocar para torcer esse botão tem o potencial de criar uma força milhares de vezes mais forte. Estamos esticando a analogia até seus limites, mas essa ideia também se estende aos transistores. Os transistores são especiais porque podem **amplificar** sinais elétricos, transformando um sinal de baixa potência em um sinal semelhante de potência muito maior.

Uma espécie de. Há muito mais, mas esse é um bom lugar para começar! Confira a próxima seção para uma explicação mais detalhada do funcionamento de um transistor.

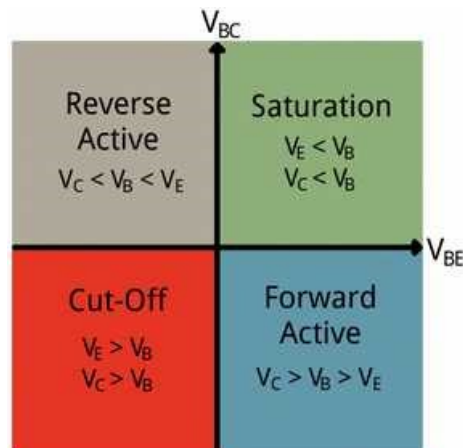
3 Modos de operação

Ao contrário dos resistores, que impõem uma relação linear entre tensão e corrente, os transistores são dispositivos não lineares. Eles têm quatro modos distintos de operação, que descrevem a corrente que flui através deles. (Quando falamos sobre o fluxo de corrente através de um transistor, geralmente queremos dizer **corrente que flui do coletor para o emissor de um NPN**.)

Os quatro modos de operação do transistor são:

- **Saturação** -- O transistor age como um **curto-circuito**. A corrente flui livremente do coletor para o emissor.
- **Cut-off** -- O transistor age como um **circuito aberto**. Nenhuma corrente flui do coletor para o emissor.
- **Ativo** -- A corrente do coletor para o emissor é **proporcional** à corrente que flui para a base.
- **Reverse-Active** -- Como o modo ativo, a corrente é proporcional à corrente base, mas flui em sentido inverso. A corrente flui do emissor para o coletor (não, exatamente, a finalidade para a qual os transistores foram projetados).

Para determinar em que modo um transistor está, precisamos olhar para as tensões em cada um dos três pinos, e como eles se relacionam entre si. As tensões da base para o emissor (VBE) e, em seguida, da base para o coletor (VBC) definem o modo do transistor:



O modo do transistor

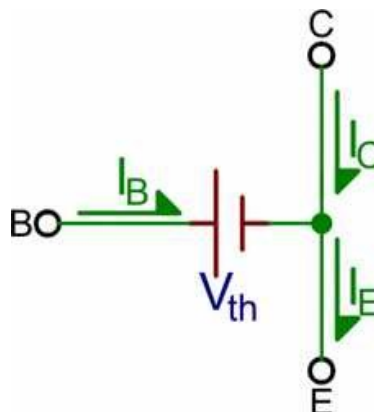
O gráfico de quadrante simplificado acima mostra como as tensões positivas e negativas nesses terminais afetam o modo. Na realidade, é um pouco mais complicado do que isso.

Vamos olhar para todos os quatro modos de transistor individualmente; Vamos investigar como colocar o dispositivo nesse modo e qual o efeito que ele tem no fluxo atual.

Nota: A maior parte desta página concentra-se em **transistores NPN**. Para entender como um transistor PNP funciona, basta inverter a polaridade ou $>$ e $<$ sinais.

3.1 Modo de saturação

A saturação é o **único modo** de um transistor. Um transistor em modo de saturação funciona como um curto-circuito entre o coletor e o emissor.



Modo de saturação

No modo de saturação, ambos os "diodos" no transistor são enviesados para a frente. Isso significa que o V_{BE} deve ser maior que 0, *assim como* o V_{BC} . Em outras palavras, V_B deve ser maior do que V_E e V_C .

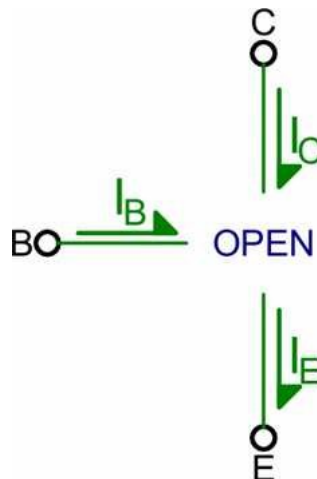
$$\begin{aligned} V_B &> V_C \\ V_B &> V_E \end{aligned}$$

Como a junção da base para o emissor se parece com um diodo, na realidade, o V_{BE} deve ser maior do que uma **tensão limite** para entrar na saturação. Existem muitas abreviaturas para esta queda de tensão - V_{th} , V_{γ} e V_d são algumas - e o valor real varia entre transistores (e ainda mais pela temperatura). Para muitos transistores (à temperatura ambiente) podemos estimar esta queda em cerca de 0,6V.

Outra chatice da realidade: não haverá condução perfeita entre o emissor e o coletor. Uma pequena queda de tensão se formará entre esses nós. As folhas de dados do transistor definirão essa tensão como **tensão de saturação CE $V_{CE(sat)}$** -- uma tensão do coletor ao emissor necessária para a saturação. Este valor é geralmente em torno de 0,05-0,2V. Este valor significa que V_C deve ser ligeiramente maior do que V_E (mas ambos ainda menos do que V_B) para obter o transistor no modo de saturação.

3.2 Modo de corte

O modo de corte é o oposto da saturação. Um transistor no modo de corte está desligado -- não há corrente coletora e, portanto, nenhuma corrente emissora. Quase parece um circuito aberto.



Modo de corte

Para colocar um transistor no modo de corte, a tensão de base deve ser menor do que as tensões do emissor e do coletor. V_{BC} e V_{BE} devem ser negativos.

$$\begin{aligned} V_C &> V_B \\ V_E &> V_B \end{aligned}$$

Na realidade, o V_{BE} pode estar em qualquer lugar entre 0V e V_{th} ($\sim 0.6V$) para alcançar o modo de corte.

3.3 Modo Ativo

Para operar no modo ativo, o V_{BE} de um transistor deve ser maior que zero e seu V_{BC} deve ser negativo. Assim, a tensão de base deve ser inferior à do coletor, mas superior à do emissor. Isso também significa que o coletor deve ser maior do que o emissor.

$$V_C > V_B > V_E$$

Na realidade, precisamos de uma **queda de tensão de avanço** diferente de zero (abreviada como V_{th} , V_{γ} ou V_d) da base para o emissor (V_{BE}) para "ligar" o transistor. Normalmente, esta tensão é de cerca de 0,6V.

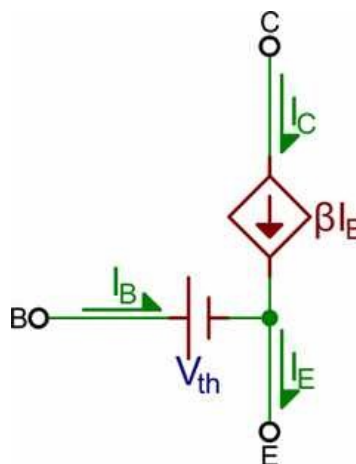
3.4 Amplificação no Modo Ativo

O modo ativo é o modo mais poderoso do transistor porque transforma o dispositivo em um amplificador. A corrente que entra no pino **de base amplifica** a corrente que entra no coletor e sai do emissor.

Nossa notação abreviada para o **ganho** (fator de amplificação) de um transistor é β (você também pode vê-lo como β_F , ou h_{FE}). β relaciona linearmente a corrente coletora (I_C) com a corrente de base (I_B):

$$I_C = \beta I_B$$

O valor real do β varia de acordo com o transistor. Geralmente é em torno de 100, mas pode variar de 50 a 200, até 2000, dependendo de qual transistor você está usando e quanta corrente está passando por ele. Se o seu transistor tivesse um β de 100, por exemplo, isso significaria que uma corrente de entrada de 1mA na base poderia produzir uma corrente de 100mA através do coletor.



Modelo de modo ativo. $V_{BE} = V_{th}$ e $I_C = \beta I_B$.

E quanto à corrente emissora, ou seja? No modo ativo, o coletor e as correntes de base entram no dispositivo, e o IE sai. Para relacionar a corrente emissora com a corrente coletora, temos outro valor constante: α . α é o ganho de corrente de base comum, ele relaciona essas correntes como tal:

$$I_C = \alpha I_E$$

α é geralmente muito próximo, mas inferior a, 1. Isso significa que o IC está muito próximo, mas menos do que o IE no modo ativo.

Você pode usar β para calcular α , ou vice-versa:

$$\beta = \frac{\alpha}{(1-\alpha)}$$
$$\alpha = \frac{\beta}{\beta+1}$$

Se β é 100, por exemplo, isso significa que α é 0,99. Assim, se IC é 100mA, por exemplo, então IE é 101mA.

3.5 Ativo reverso

Assim como a saturação é o oposto do ponto de corte, o modo ativo reverso é o oposto do modo ativo. Um transistor em modo ativo reverso conduz, até amplifica, mas a corrente flui na direção oposta, do emissor para o coletor. A desvantagem do modo ativo reverso é que o β (β_R neste caso) é muito menor.

Para colocar um transistor em modo ativo reverso, a tensão do emissor deve ser maior do que a base, que deve ser maior do que o coletor ($V_{BE} < 0$ e $V_{BC} > 0$).

$$V_C < V_B < V_E$$

O modo ativo reverso geralmente não é um estado no qual você deseja dirigir um transistor. É bom saber que ele está lá, mas raramente é projetado em um aplicativo.

4 Relativamente ao PNP

Depois de tudo o que falamos nesta página, ainda cobrimos apenas metade do espectro do BJT. E os transistores PNP? Os PNPs funcionam muito como os NPNs - eles têm os mesmos quatro modos - mas tudo é invertido. Para descobrir em que modo um transistor PNP está, inverta todos os $<$ e $>$ sinais.

Por exemplo, para colocar um PNP em saturação VC e VE deve ser maior do que VB. Você puxa a base para baixo para ligar o PNP e torná-lo mais alto do que o coletor e emissor para desligá-lo. E, para colocar um PNP em modo ativo, o VE deve estar em uma tensão mais alta do que o VB, que deve ser maior do que o VC.

Em resumo:

Relações de tensão	Modo NPN	Modo PNP
$VE < VB < VC$	Ativo	Reverso
$VE < VB > VC$	Saturação	Ponto de corte
$VE > VB < VC$	Ponto de corte	Saturação
$VE > VB > VC$	Reverso	Ativo

Outra característica oposta dos NPNs e PNP é a direção do fluxo atual. Nos modos ativo e de saturação, **a corrente em um PNP flui do emissor para o coletor**. Isto significa que o emissor deve estar a uma tensão mais elevada do que o coletor.

Se você está esgotado em coisas conceituais, faça uma viagem para a próxima seção. A melhor maneira de aprender como um transistor funciona é examiná-lo em circuitos da vida real. Vejamos algumas aplicações!

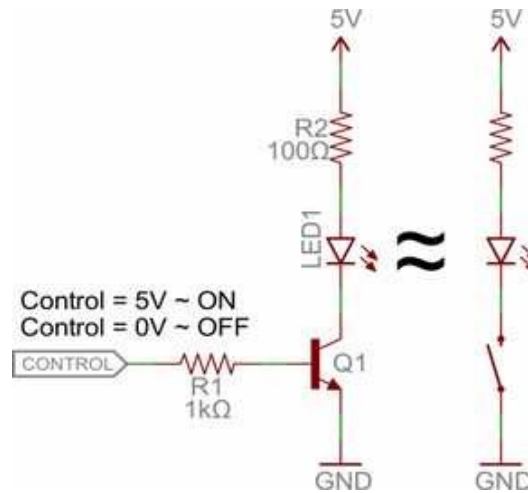
5 Aplicações I: Switches

Uma das aplicações mais fundamentais de um transistor é usá-lo para controlar o fluxo de energia para outra parte do circuito - usando-o como um interruptor elétrico. Conduzindo-o em modo de corte ou saturação, o transistor pode criar o efeito binário on/off de um interruptor.

Os interruptores de transistor são blocos críticos de construção de circuitos; Eles são usados para fazer portas lógicas, que passam a criar microcontroladores, microprocessadores e outros circuitos integrados. Abaixo estão alguns exemplos de circuitos.

5.1 Interruptor Transistor

Vejamos o circuito transistor-switch mais fundamental: um switch NPN. Aqui usamos um NPN para controlar um LED de alta potência:



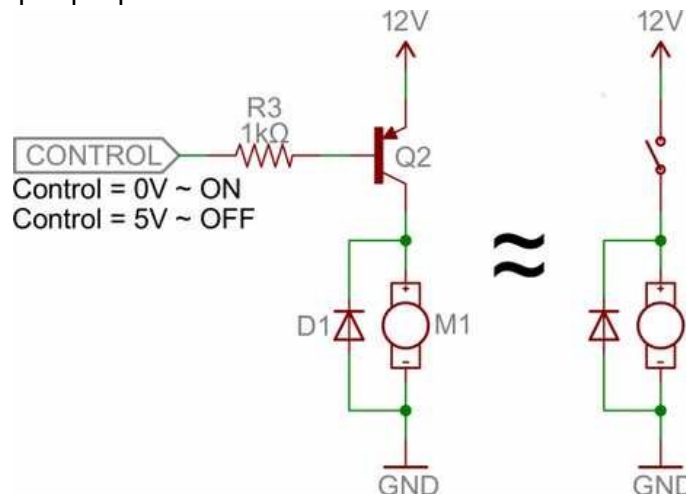
Um switch NPN

Nossa entrada de controle flui para a base, a saída é vinculada ao coletor e o emissor é mantido em uma tensão fixa.

Enquanto um interruptor normal exigiria que um atuador fosse fisicamente invertido, este interruptor é controlado pela tensão no pino de base.

Um pino de E/S do microcontrolador, como os de um Arduino, pode ser programado para ir alto ou baixo para ligar ou desligar o LED.

Quando a tensão na base é superior a 0,6V (ou qualquer que seja o V_{th} do seu transistor), o transistor começa a saturar e parece um curto-circuito entre o coletor e o emissor. Quando a tensão na base é inferior a 0,6V, o transistor está em modo de corte -- sem fluxos de corrente porque parece um circuito aberto entre C e E.



Um interruptor de lado baixo

O circuito acima é chamado de interruptor de lado baixo porque o interruptor -- nosso transistor -- está no lado baixo (terra) do circuito. Alternativamente, podemos usar um transistor PNP para criar um interruptor de lado alto

Semelhante ao circuito NPN, a base é a nossa entrada, e o emissor está ligado a uma tensão constante. Desta vez, no entanto, o emissor é amarrado alto, e a carga é conectada ao transistor no lado do solo.

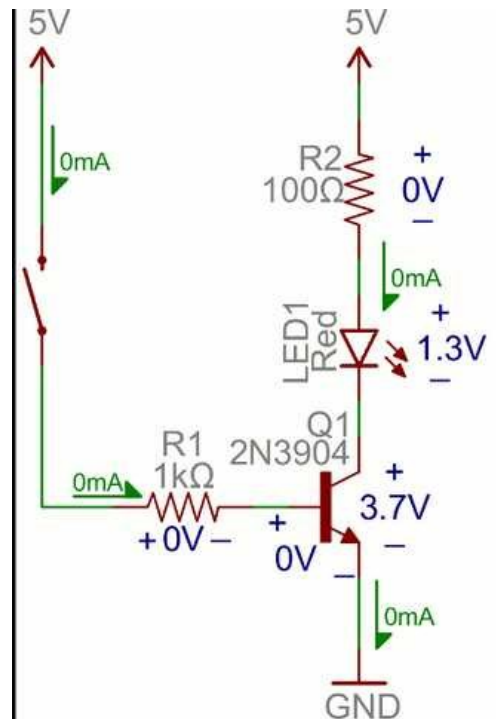
Este circuito funciona tão bem quanto o switch baseado em NPN, mas há uma grande diferença: para ligar a carga, a base deve ser baixa. Isso pode causar complicações, especialmente se a alta tensão da carga (VCC sendo 12V conectando-se ao emissor VE nesta imagem) é maior do que a alta tensão da nossa entrada de controle. Por exemplo, este circuito não funcionaria se você estivesse tentando usar um Arduino operando em 5V para desligar um motor de 12V. Nesse caso, seria **impossível desligar o interruptor** porque VB (conectando-se ao pino de controle) seria sempre menor que VE.

6 Resistores de base!

Você notará que cada um desses circuitos usa uma resistência de série entre a entrada de controle e a base do transistor. Não se esqueça de adicionar este resistor! Um transistor sem uma resistência na base é como um LED sem resistência limitante de corrente.

Lembre-se que, de certa forma, um transistor é apenas um par de diodos interconectados. Estamos direcionando o diodo emissor de base para ligar a carga. O diodo só precisa de 0,6V para ligar, mais tensão do que isso significa mais corrente. Alguns transístores só podem ser classificados para um máximo de 10-100mA de corrente para fluir através deles. Se você fornecer uma corrente acima da classificação máxima, o transistor pode explodir.

A resistência de série entre a nossa fonte de controle e **a base limita a corrente na base**. O nó emissor de base pode obter sua queda de tensão feliz de 0,6V, e o resistor pode cair a tensão restante. O valor do resistor, e a tensão através dele, irá definir a corrente.



Uma resistência de base

O resistor precisa ser grande o suficiente para limitar efetivamente a corrente, mas pequeno o suficiente para alimentar a base de corrente suficiente. 1mA a 10mA geralmente serão suficientes, mas verifique a folha de dados do seu transistor para ter certeza.

7 Lógica Digital

Os transistores podem ser combinados para criar todas as nossas portas lógicas fundamentais: E, OU e NÃO.

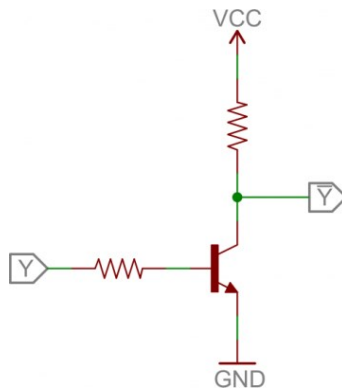
(Nota: Hoje em dia, os MOSFETS são mais propensos a serem usados para criar portas lógicas do que os BJTs. Os MOSFETS são mais eficientes em termos de energia, o que os torna a melhor escolha.)

Inversor

Aqui está um circuito de transistor que implementa um **inversor**, ou porta NOT:

Aqui, uma alta tensão na base ligará o transistor, o que efetivamente conectará o coletor ao emissor. Uma vez que o emissor está conectado diretamente ao solo, o coletor também estará (embora seja um pouco maior, em algum lugar em torno de $V_{CE(sat)} \sim 0.05-0.2V$). Se a entrada é baixa, por outro lado, o transistor parece um circuito aberto, e a saída é puxada para cima para VCC

(Esta é uma configuração de transistor fundamental chamada emissor comum. Mais sobre isso mais tarde.)



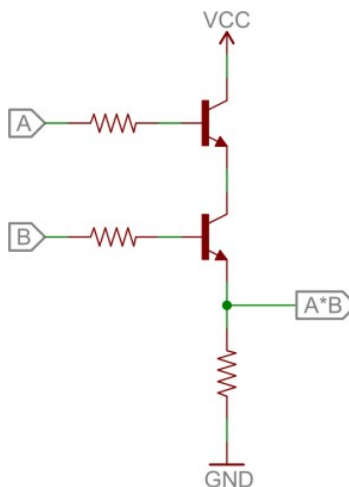
Um inversor construído a partir de transístores.

E Portão

Aqui estão um par de transistores usados para criar uma **porta AND de 2 entradas**:

Se um dos transistores estiver desligado, a saída no coletor do segundo transistor será puxada para baixo.

Se ambos os transistores estão "on" (bases ambas altas), então a saída do circuito também é alta.

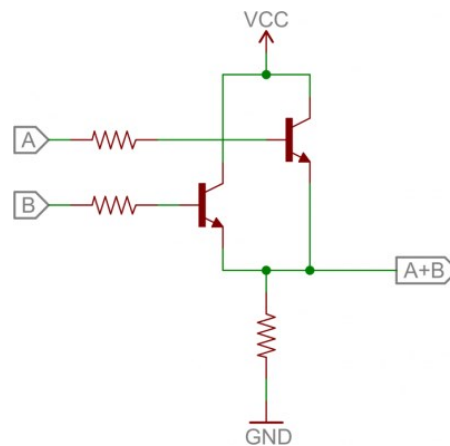


Portão de 2 entradas construído a partir de transístores.

OU Portão

E, finalmente, aqui está um **portão OR de 2 entradas**:

Neste circuito, se um (ou ambos) A e B estiverem altos, esse respectivo transistor ligará e puxará a saída para cima. Se ambos os transístores estiverem desligados, então a saída é puxada para baixo através do resistor.

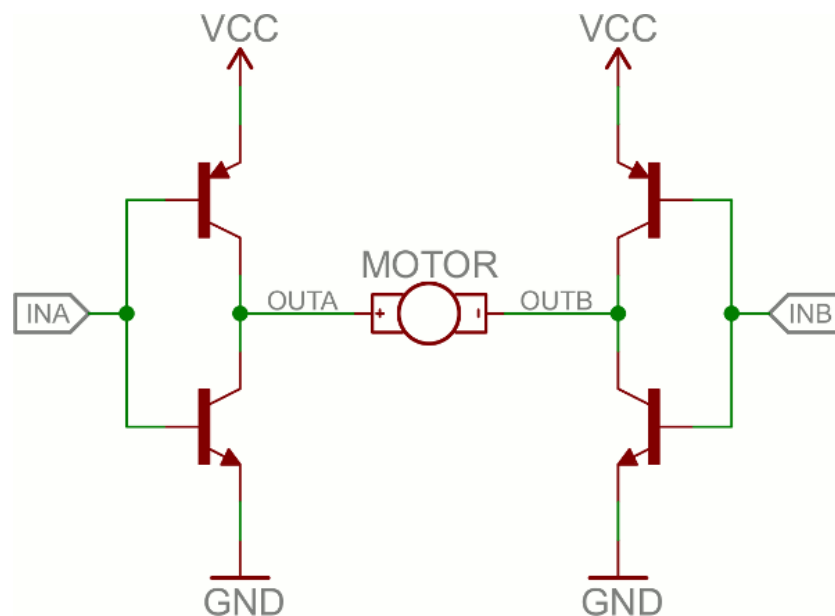


Portão OR de 2 entradas construído a partir de transístores.

Ponte H

Uma ponte-H é um circuito baseado em transistor capaz de acionar motores no sentido horário e anti-horário. É um circuito incrivelmente popular - a força motriz por trás de inúmeros robôs que devem ser capazes de se mover para a frente e para trás.

Fundamentalmente, uma ponte-H é uma combinação de quatro transístores com duas linhas de entrada e duas saídas:



Você consegue adivinhar por que é chamada de ponte H?

(Nota: geralmente há um pouco mais em uma ponte H bem projetada, incluindo diodos flyback, resistores de base e gatilhos Schmidt.)

Se ambas as entradas forem da mesma tensão, as saídas do motor serão a mesma tensão, e o motor não será capaz de girar. Mas se as duas entradas forem opostas, o motor girará em uma direção ou outra.

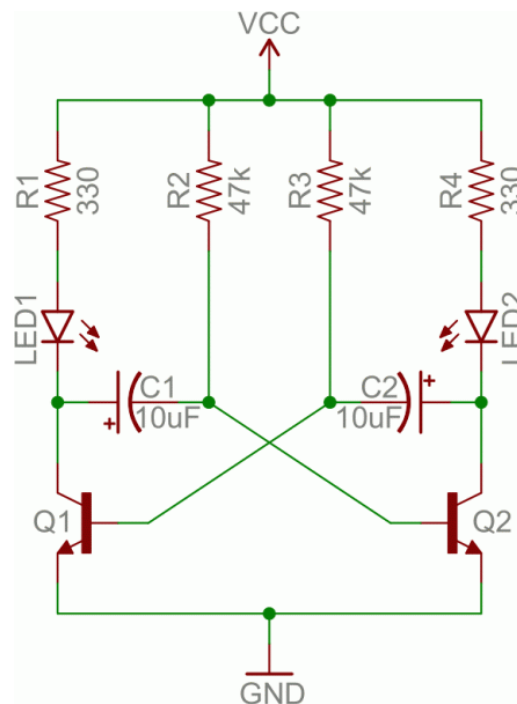
A ponte-H tem uma tabela de verdade que se parece um pouco com isso:

Input A	Input B	Output A	Output B	Direção do motor
0	0	1	1	Parou (travagem)
0	1	1	0	No sentido horário
1	0	0	1	Anti-horário
1	1	0	0	Parou (travagem)

8 Osciladores

Um oscilador é um circuito que produz um sinal periódico que oscila entre uma alta e baixa tensão. Os osciladores são usados em todos os tipos de circuitos: desde simplesmente piscar um LED até produzir um sinal de relógio para acionar um microcontrolador. Há muitas maneiras de criar um circuito oscilador, incluindo cristais de quartzo, op-amps e, claro, transistores.

Aqui está um exemplo de circuito oscilante, que chamamos de **multivibrador estável**. Usando **feedback**, podemos usar um par de transistores para criar dois sinais oscilantes complementares.



Circuito oscilante

Além dos dois transístores, os capacitores são a verdadeira chave para este circuito. Em alternativa, as tampas carregam e descarregam, o que faz com que os dois transístores liguem e desliguem alternativamente.

A análise do funcionamento deste circuito é um excelente estudo do funcionamento tanto das tampas como dos transístores. Para começar, suponha que C1 está totalmente carregado (armazenando uma tensão de cerca de VCC), C2 está descarregado, Q1 está ligado e Q2 está desligado. Veja o que acontece depois disso:

- Se Q1 estiver ligado, então a placa esquerda de C1 (no esquema) está conectada a cerca de 0V. Isso permitirá que o C1 seja descarregado através do coletor do Q1.
- Enquanto o C1 está descarregando, o C2 carrega rapidamente através do resistor de menor valor - R4.
- Uma vez que o C1 descarrega totalmente, sua placa direita será puxada até cerca de 0,6V, que ligará o Q2.
- Neste ponto, trocamos estados: C1 está descarregado, C2 está carregado, Q1 está desligado e Q2 está ligado. Agora fazemos a mesma dança ao contrário.
- Q2 estar ligado permite que C2 descarrega através do coletor Q2.
- Enquanto o Q1 está desligado, o C1 pode carregar, rapidamente, através do R1.
- Assim que o C2 descarregar, o Q1 será ligado novamente e voltaremos ao estado em que começamos.

Pode ser difícil enrolar a cabeça. Você pode encontrar outra excelente demonstração deste circuito aqui.

Ao escolher valores específicos para C1, C2, R2 e R3 (e mantendo R1 e R4 baixos), podemos definir a velocidade do nosso circuito multivibrador:

$$f = \frac{1}{\ln(2) \cdot (R_2 C_1 + R_3 C_2)}$$

Assim, com os valores para tampas e resistores definidos para 10μF e 47kΩ, respectivamente, nossa frequência do oscilador é de cerca de 1,5 Hz. Isso significa que cada LED piscará cerca de 1,5 vezes por segundo.

Como você já pode ver, existem toneladas de circuitos por aí que fazem uso de transístores. Mas mal arranhamos a superfície. Estes exemplos mostram principalmente como o transistor pode ser usado nos modos de saturação e corte como um interruptor, mas e a amplificação? Tempo para mais exemplos!

9 Aplicações II: Amplificadores

Algumas das aplicações de transistor mais poderosas envolvem amplificação: transformar um sinal de baixa potência em um de maior potência. Os amplificadores podem aumentar a tensão de um sinal, tirando algo da faixa de μV e convertendo-o para um nível mV ou V mais útil. Ou podem amplificar a corrente, útil para transformar o μA da corrente produzida por um fotodiodo em uma corrente de magnitude muito maior. Existem até amplificadores que captam uma corrente e produzem uma tensão mais alta, ou vice-versa (chamados de resistência trans e transcondutância, respectivamente).

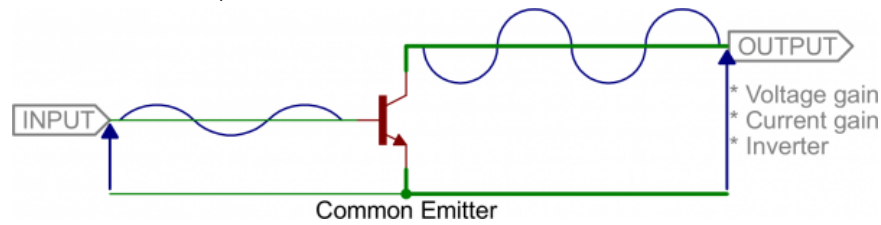
Os transístores são um componente chave de muitos circuitos de amplificação. Há uma variedade infinita de amplificadores de transistor lá fora, mas felizmente, muitos deles são baseados em alguns desses circuitos mais primitivos. Lembre-se desses circuitos e, esperançosamente, com um pouco de correspondência de padrões, você pode entender amplificadores mais complexos.

10 Configurações comuns

Três dos amplificadores de transistor mais fundamentais são o emissor comum, coletor comum e base comum. Em cada uma das três configurações, um dos três nós está permanentemente ligado a uma tensão comum (geralmente terra), e os outros dois nós são uma entrada ou saída do amplificador.

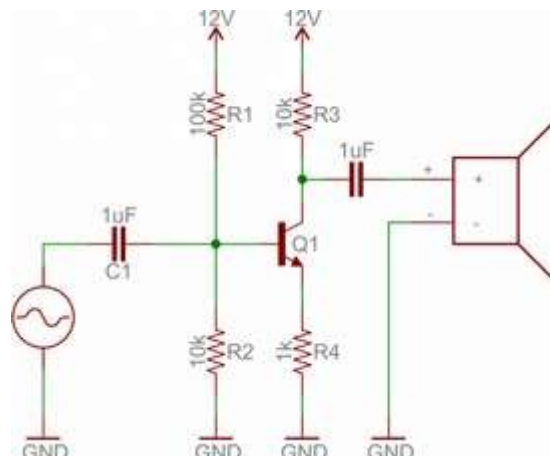
10.1 Emissor comum

O emissor comum é um dos arranjos de transistor mais populares. Neste circuito, o emissor está ligado a uma tensão comum à base e ao coletor (geralmente terra). A base torna-se a entrada de sinal, e o coletor torna-se a saída.



Common Emitter

O circuito emissor comum é popular porque é adequado para **amplificação de tensão**, especialmente em baixas frequências. Eles são ótimos para amplificar sinais de áudio, por exemplo. Se você tiver um pequeno sinal de entrada de pico a pico de 1,5 V, poderá amplificá-lo para uma tensão muito maior usando um circuito um pouco mais complicado, como:

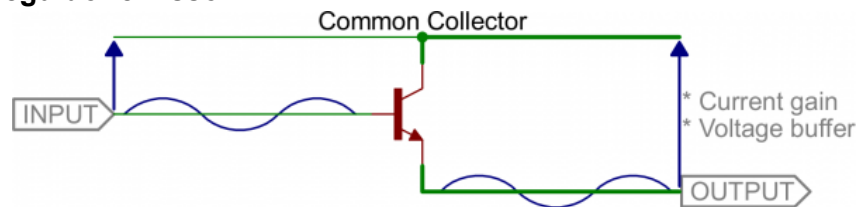


Circuito emissor comum

Uma peculiaridade do emissor comum, porém, é que ele **inverte** o sinal de entrada (compare-o com o inversor da última página!).

10.2 Coletor Comum (Seguidor Emissor)

Se amarrarmos o pino coletor a uma tensão comum, usarmos a base como entrada e o emissor como saída, teremos um coletor comum. Esta configuração também é conhecida como um **seguidor emissor**.

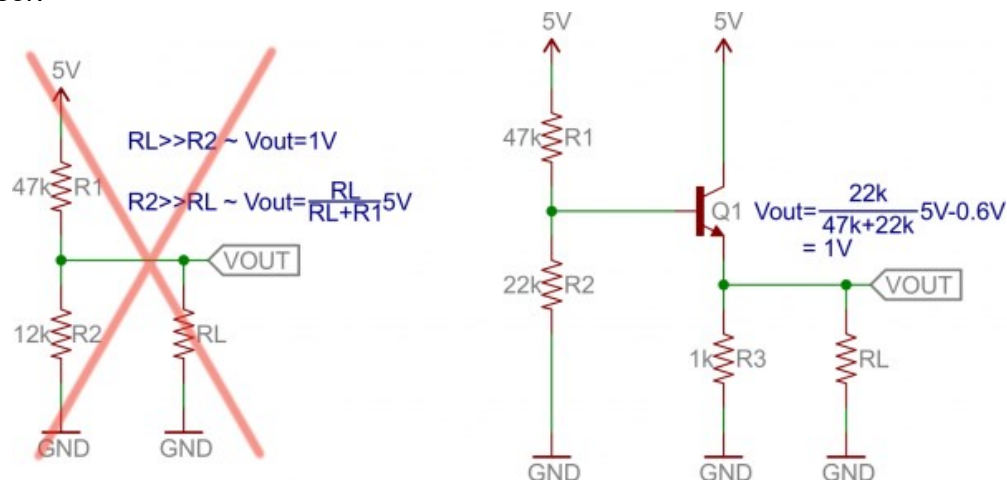


Coletor comum

O coletor comum não faz nenhuma **amplificação de tensão** (na verdade, a saída de tensão será 0,6V menor do que a tensão de entrada). Por essa razão, este circuito é às vezes chamado de seguidor de tensão.

Este circuito tem um grande potencial como amplificador de **corrente**. Além disso, o alto ganho de corrente combinado com o ganho de tensão de quase unidade torna este circuito um ótimo buffer de tensão. Um **buffer de tensão** impede que um circuito de carga interfira indesejavelmente com o circuito que o conduz.

Por exemplo, se você quisesse entregar 1V para uma carga, você poderia seguir o caminho mais fácil e usar um divisor de tensão, ou você poderia usar um seguidor emissor.

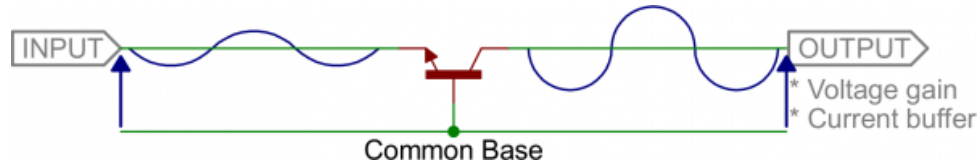


Circuito coletor comum

À medida que a carga aumenta (o que, inversamente, significa que a resistência é menor), a saída do circuito divisor de tensão cai. Mas a saída de tensão do seguidor do emissor permanece estável, independentemente de qual seja a carga. Cargas maiores não podem "carregar" um seguidor emissor, pois podem circular com impedâncias de saída maiores.

10.3 Base comum

Vamos falar sobre a base comum para fornecer uma conclusão para esta seção, mas esta é a menos popular das três configurações fundamentais. Num amplificador de base comum, o emissor é a entrada e a saída do coletor. A base é comum a ambos.



Common Base

A base comum é como o anti-emissor-seguidor. É um amplificador de tensão decente, e a corrente dentro é aproximadamente igual à corrente de saída (na verdade, a corrente dentro é um pouco maior do que a corrente de saída).

O circuito de base comum funciona melhor como um **buffer de corrente**. Ele pode pegar uma corrente de entrada em uma impedância de entrada baixa e entregar essa mesma corrente para uma saída de impedância mais alta.

10.4 Em resumo

Estas três configurações de amplificador estão no coração de muitos amplificadores transistor mais complicados. Cada um deles tem aplicações onde brilham, seja amplificando corrente, tensão ou buffering.

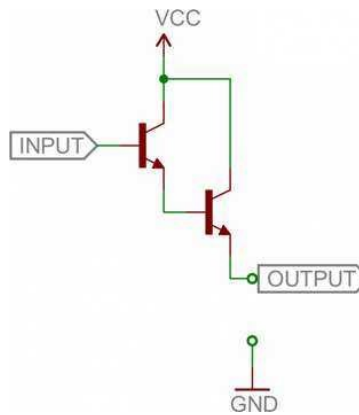
	Emissor comum	Coletor comum	Base comum
Ganho de tensão	Média	Baixo	Alto
Ganho contínuo	Média	Alto	Baixo
Impedância de entrada	Média	Alto	Baixo
Impedância de saída	Média	Baixo	Alto

11 Amplificadores Multistage

Nós poderíamos continuar e sobre a grande variedade de amplificadores de transistor lá fora. Aqui estão alguns exemplos rápidos para mostrar o que acontece quando você combina os amplificadores de estágio único acima:

Darlington

O amplificador Darlington executa um coletor comum em outro para criar um amplificador **de ganho de alta corrente**.



Amplificadores Multistage

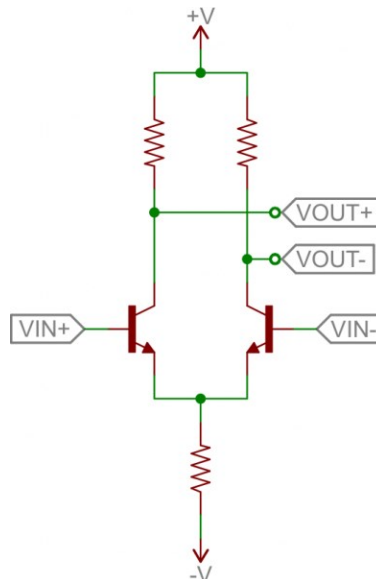
A tensão de saída é aproximadamente a mesma que a tensão de entrada (menos cerca de 1,2V-1,4V), mas o ganho de corrente é o produto de dois ganhos de transistor. Isso é β^2 -- mais de 10.000!

O par Darlington é uma ótima ferramenta se você precisar dirigir uma grande carga com uma corrente de entrada muito pequena.

11.1 Amplificador diferencial

Um amplificador diferencial subtrai dois sinais de entrada e amplifica essa diferença. É uma parte crítica dos circuitos de feedback, onde a entrada é comparada com a saída, para produzir uma saída futura.

Aqui está a base do amplificador diferencial:



Amplificador diferencial

Este circuito também é chamado de **par de cauda longa**. É um par de circuitos emissores comuns que são comparados entre si para produzir uma saída diferencial. Duas entradas

são aplicadas nas bases dos transistores; A saída é uma tensão diferencial entre os dois coletores.

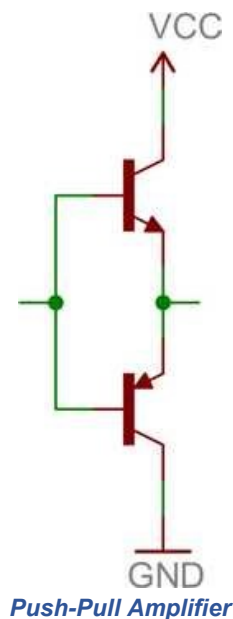
11.2 Amplificador Push-Pull

Um amplificador push-pull é um útil "estágio final" em muitos amplificadores multi-estágio. É um amplificador de potência energeticamente eficiente, frequentemente utilizado para conduzir altifalantes.

O amplificador push-pull fundamental usa um transistor NPN e PNP, ambos configurados como coletores comuns:

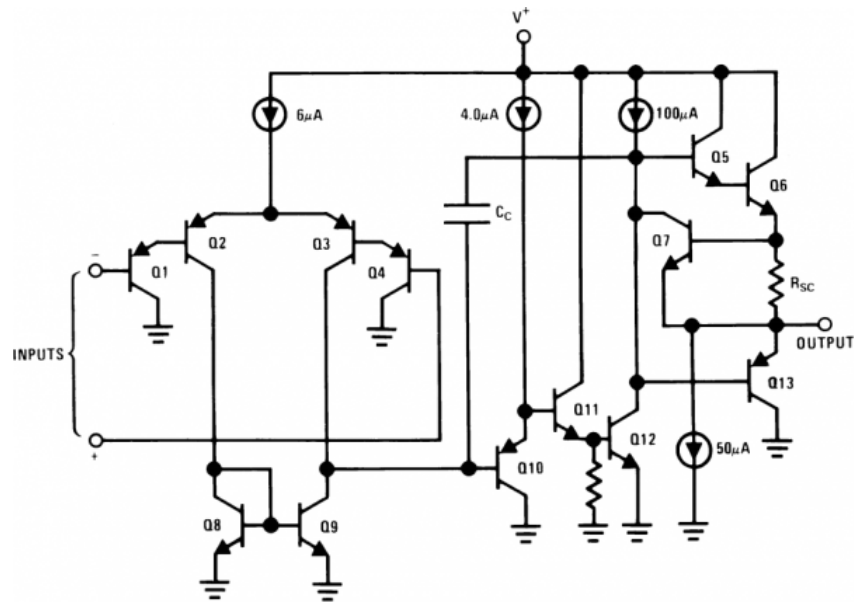
O amplificador push-pull não amplifica a tensão (a saída de tensão será ligeiramente inferior à entrada), mas amplifica a corrente. É especialmente útil em circuitos bipolares (aqueles com suprimentos positivos e negativos) porque pode tanto "empurrar" corrente para a carga do fornecimento positivo, e "puxar" corrente para fora e afundá-lo no fornecimento negativo.

Se você tem uma fonte bipolar (ou mesmo se você não tem), o push-pull é um ótimo estágio final para um amplificador, agindo como um buffer para a carga.



11.3 Juntando-os (um amplificador operacional)

Vejamos um exemplo clássico de um circuito de transistor de vários estágios: um Op Amp. Ser capaz de reconhecer circuitos de transistor comuns e entender seu propósito pode ajudá-lo a percorrer um longo caminho! Aqui está o circuito dentro de um LM3558, um op-amp simples:



Os componentes internos de um amplificador operacional LM358. Reconhece alguns amplificadores?

Há certamente mais complexidade aqui do que você pode estar preparado para digerir; no entanto, você pode ver algumas topologias familiares:

- Q1, Q2, Q3 e Q4 formam o estágio de entrada. Parece muito com um coletor comum (Q1 e Q4) em um amplificador diferencial, certo? Ele só parece de cabeça para baixo porque está usando PNPs. Estes transístores ajudam a formar o estágio diferencial de entrada do amplificador.
- Q11 e Q12 fazem parte da segunda etapa. Q11 é um coletor comum e Q12 é um emissor comum. Este par de transístores irá amortecer o sinal do coletor do Q3 e fornecer um alto ganho à medida que o sinal vai para o estágio final.
- Q6 e Q13 fazem parte do estágio final, e eles também devem parecer familiares (especialmente se você ignorar RSC) - é um empurra-empurra! Este estágio armazena em buffer a saída, permitindo que ele gere cargas maiores.
- Há uma variedade de outras configurações comuns sobre as quais não conversamos. Q8 e Q9 são configurados como um espelho de corrente, que simplesmente copia a quantidade de corrente através de um transistor para o outro.

Depois deste curso intensivo em transístores, não esperaríamos que você entendesse o que está acontecendo neste circuito, mas se você puder começar a identificar circuitos de transistor comuns, você está no caminho certo!