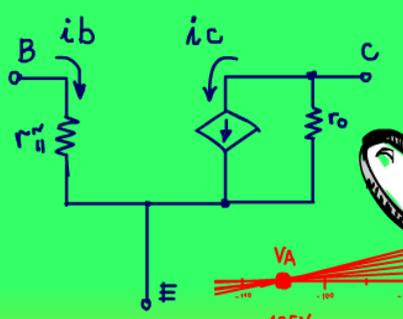


AMPLIFICADOR: CONHEÇA O EFEITO EARLY E COMO ELE AFETA O SEU AMPLIFICADOR.

Agora você vai entender o efeito Early!

Modelo π -híbrido

$$r_e = V_T / I_e = 26 \text{ mV} / I_c$$
$$r_{\pi} = h_{FE} \cdot r_e$$
$$i_c = h_{FE} \cdot i_b$$
$$r_o = V_A / I_c$$


Efeito Early

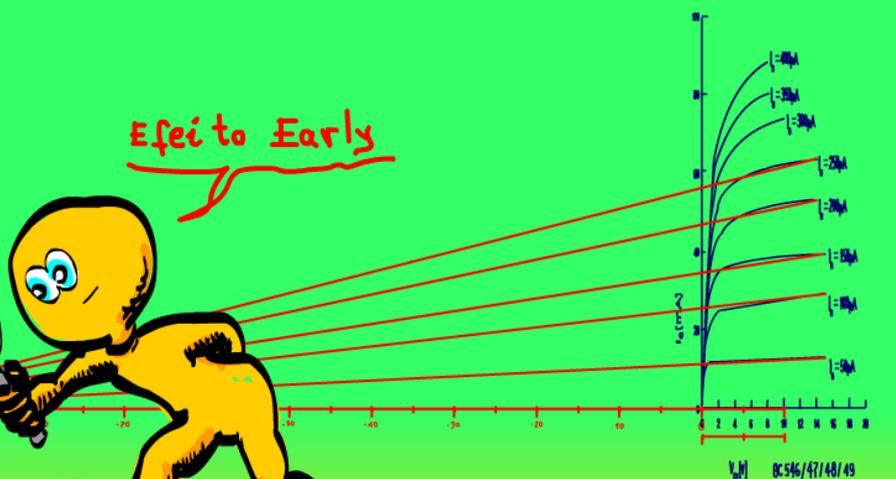


Figure 1. Static Characteristic

FARCHILD TECHNOLOGY

Professor Bairros (14/04/2024)



**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>

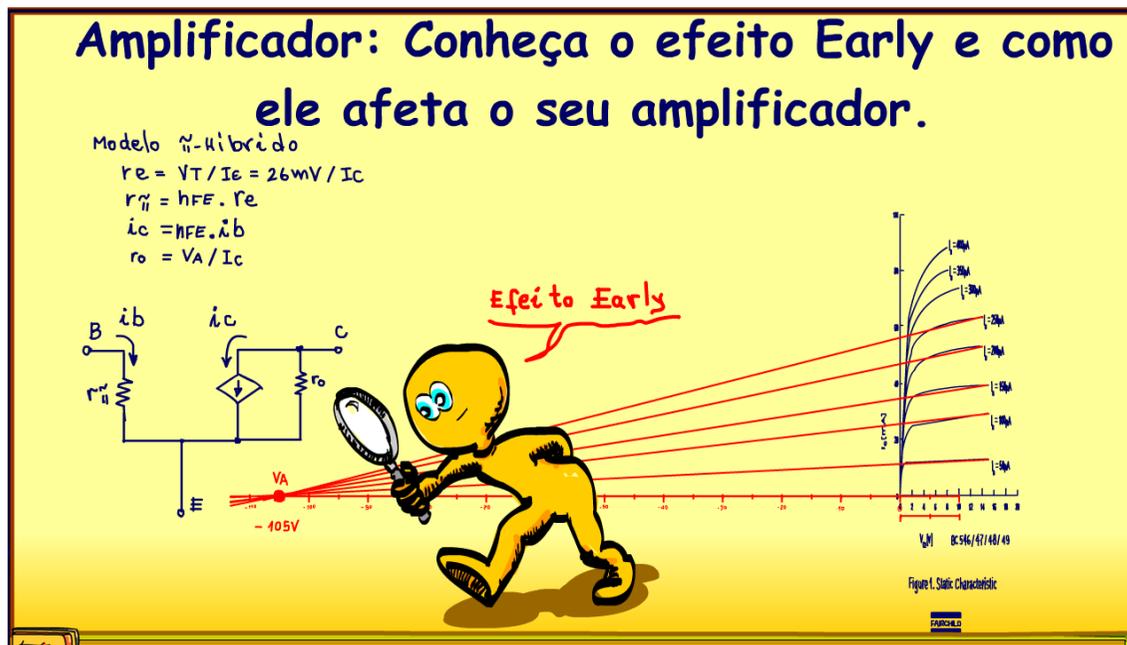
Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

Sumário

1. Introdução	4
2. O efeito Early, o circuito.	5
3. curva de transferência da corrente de coletor.	6
4. O modelo pi ideal do transistor.	7
5. A curva de transferência real.	8
6. O efeito Early.	9
7. O efeito Early para transistores do tipo BC547.	10
8. A tensão Early do transistor BC547.	11
9. O modelo do transistor levando em conta o efeito Early.	12
10. Ganho de tensão do amplificador EC com r_o	13
11. Usando o modelo.	14
12. Determinando as resistências intrínsecas do transistor.	15
13. Calculando sem r_o	16
14. Calculando com r_o	17
15. Exemplo.	18
16. A consequência do do efeito Early.	19
17. Conclusão.	20
18. Créditos.	21

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.



YOUTUBE: <https://youtu.be/lWv3MdEoz6U>

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

1. INTRODUÇÃO

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

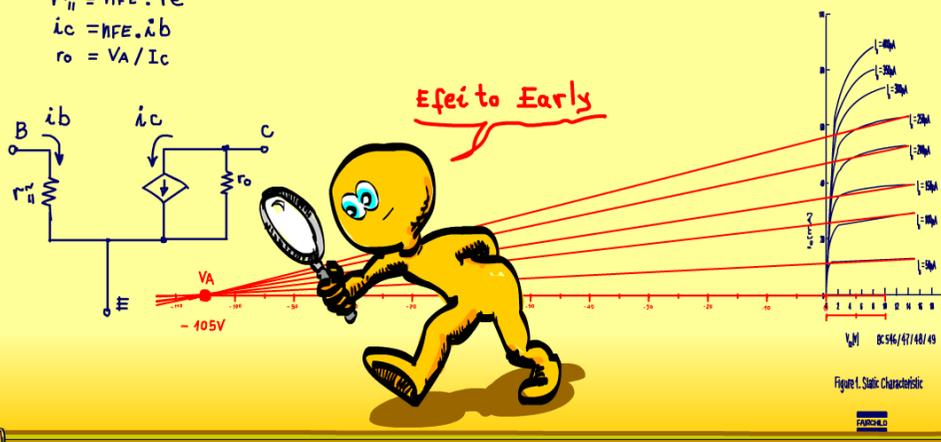
Modelo híbrido

$$r_e = V_T / I_e = 26 \text{ mV} / I_c$$

$$r_{\pi} = h_{FE} \cdot r_e$$

$$i_c = h_{FE} \cdot i_b$$

$$r_o = V_A / I_c$$



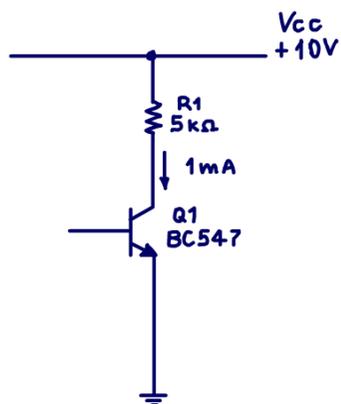
Nesse tutorial eu vou mostrar o que é o efeito Early, como ele afeta o amplificador e como você pode modelar um transistor levando em conta o esse efeito.

Vamos lá.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

2. O EFEITO EARLY, O CIRCUITO.

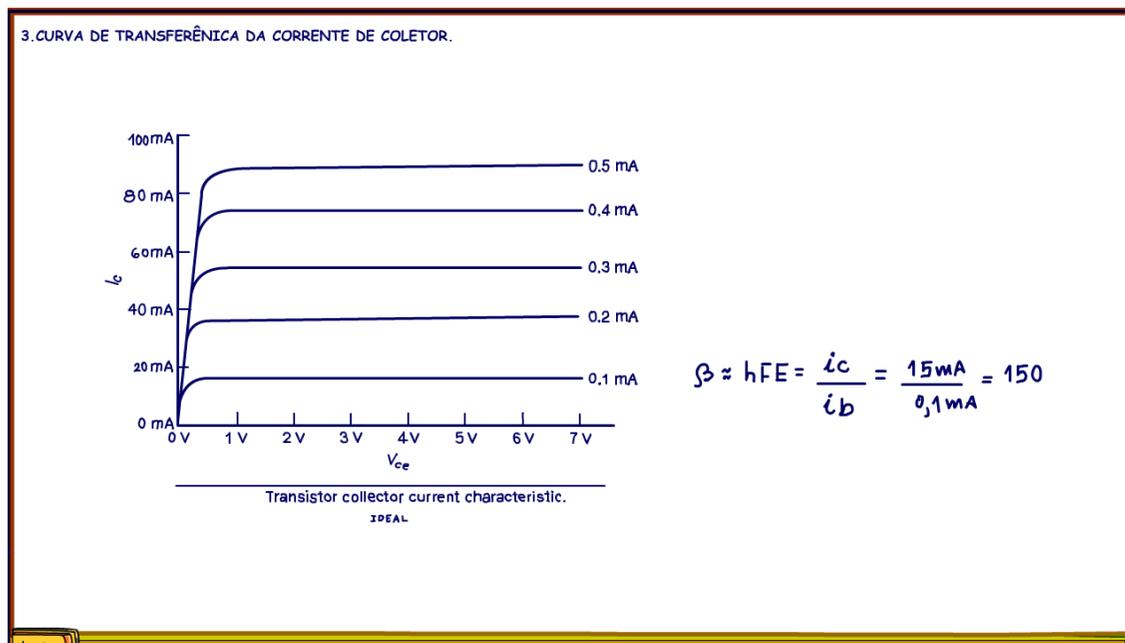
2.O EFEITO EARLY, O CIRCUITO.



Para mostrar o efeito Early vamos pensar no circuito da figura, um amplificador na configuração emissor comum, vou mostrar somente a malha de saída para simplificar, porque é aí que as coisas vão acontecer.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

3. CURVA DE TRANSFERÊNCIA DA CORRENTE DE COLETOR.



O efeito Early fala sobre a variação do ganho de corrente, o beta, que para pequenos sinais é chamado de hFE, essa variação do ganho tem como principal consequência a distorção do sinal devido a falta de linearidade do transistor.

Você pode observar a variação do ganho hFE na curva de transferência do transistor.

Na teoria se considera o ganho de corrente hFE constante, isso é a corrente de coletor é proporcional a corrente de base ao longo de todo o range de tensão coletor e emissor, o VCE, a curva característica da corrente de coletor ideal é mostrado na figura.

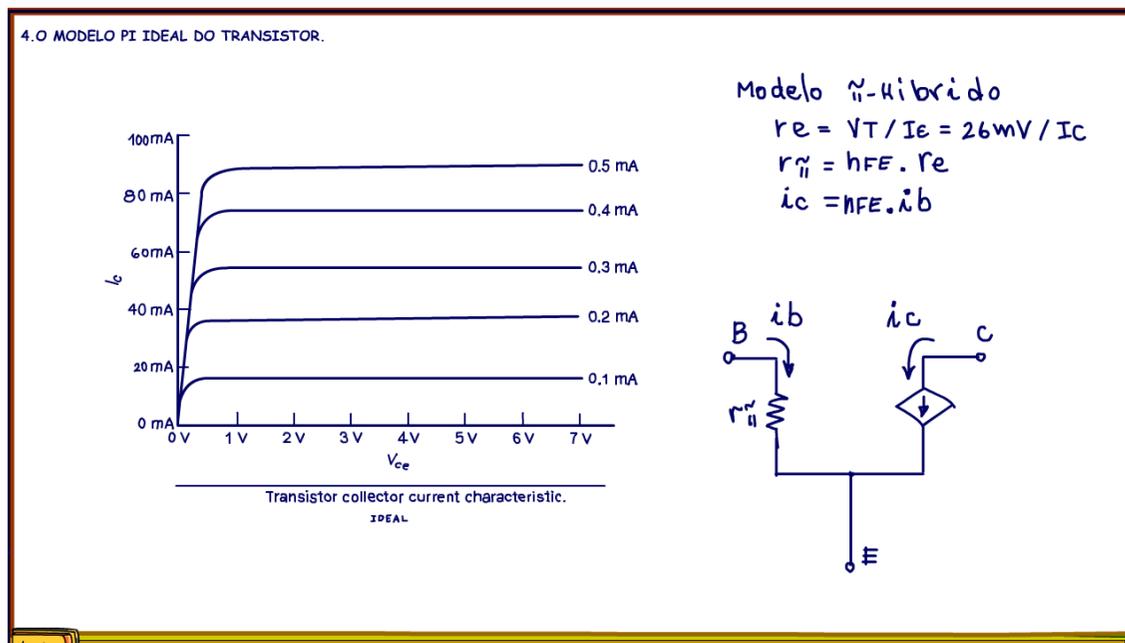
Observe que para cada curva de corrente de base a corrente de coletor é constante, por exemplo, para 0,1

mA na base, a corrente de coletor é de 15 mA ao longo de toda a faixa da tensão coletor emissor em que o transistor não está saturado.

O ganho de corrente é igual é a corrente de coletor sobre a corrente de base, nesse caso 15mA sobre 0,1 mA isso dá 150, valor típico para um transistor amplificador.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

4. O MODELO PI IDEAL DO TRANSISTOR.



Quando a gente modela um transistor pensa numa curva característica desse tipo, então na saída é montada uma fonte de corrente controlada, a corrente de saída é igual a corrente de base multiplicado pelo ganho de corrente, o h_{FE} .

Nesse modelo a resistência intrínseca do emissor é igual a 26 mV dividido pela corrente de emissor, isso para a temperatura ambiente de 25 graus centígrados.

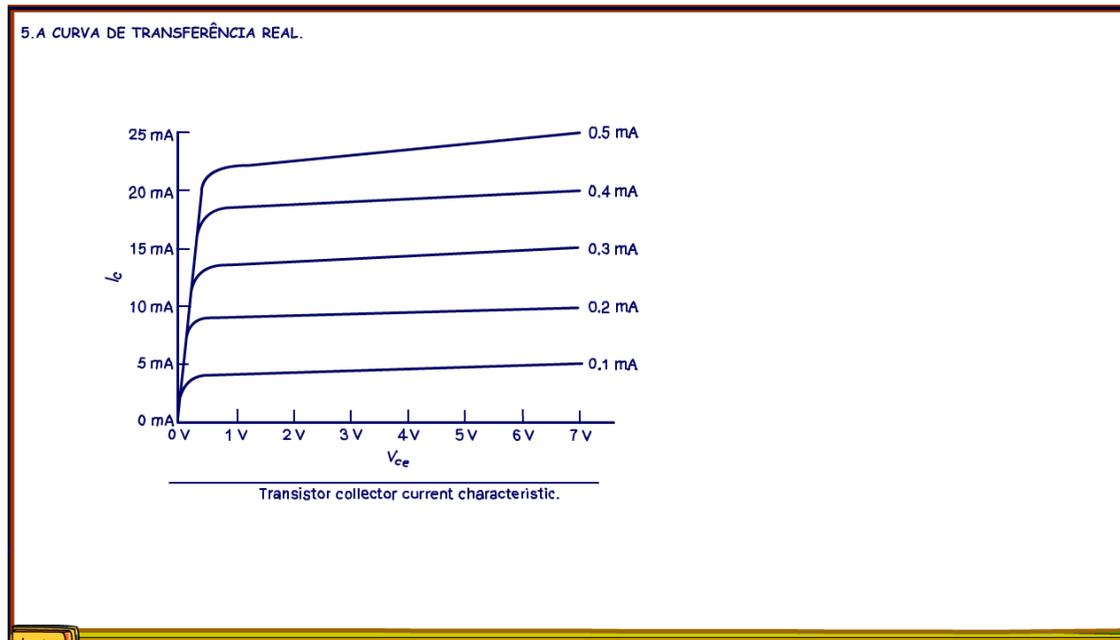
Se o ganho de corrente for maior ou igual a 100, então a corrente de emissor pode ser considerada igual a corrente de coletor.

A resistência PI é a resistência intrínseca entre a base e o emissor do transistor, é na verdade a resistência de emissor refletida para a base, então a resistência PI é

igual a resistência de emissor intrínseca multiplicada pelo ganho h_{fe} mais um, se o h_{fe} for maior ou igual a 100, então pode fazer direto r_e multiplicado por h_{fe} .

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

5. A CURVA DE TRANSFERÊNCIA REAL.



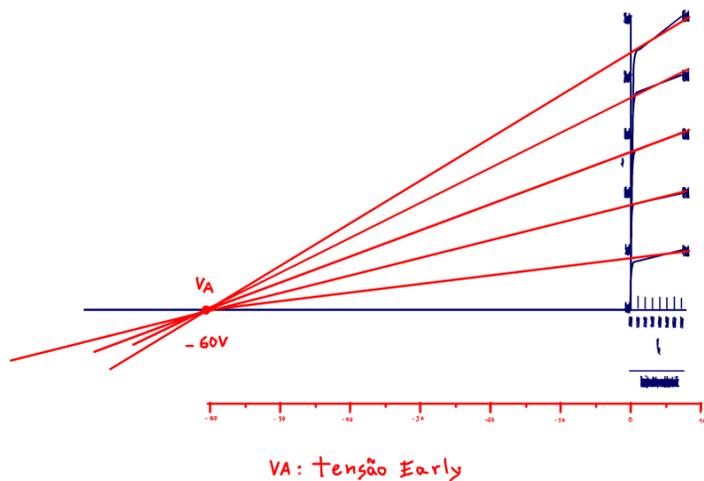
Mas no transistor real as coisas não são tão bem-comportadas, a corrente de coletor varia com o aumento da tensão coletor emissor, isso é representado no gráfico pela inclinação da reta.

Note que quanto maior a corrente de coletor, maior a inclinação.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

6. O EFEITO EARLY.

2.6. O EFEITO EARLY.



O que o Sr. Early observou, é que se estender as retas inclinadas elas se concentram num ponto único, como o foco de uma lente, um ponto sobre o eixo da tensão coletor emissor.

Veja o desenho do gráfico anterior com as retas estendidas, a tensão no foco das retas estendidas é chamada de tensão Early, no transistor do exemplo a tensão Early é de 60 V, a gente escreve o módulo da tensão Early, sem o sinal e referenciado pelas letras VA.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

7. O EFEITO EARLY PARA TRANSISTORES DO TIPO BC547.

7.O EFEITO EARLY PARA TRANSISTORES DO TIPO BC547.

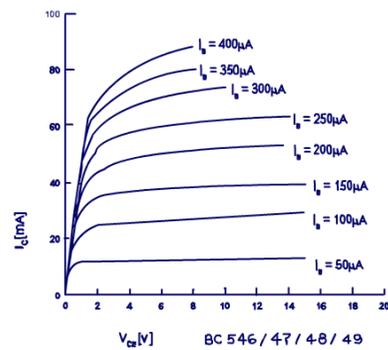


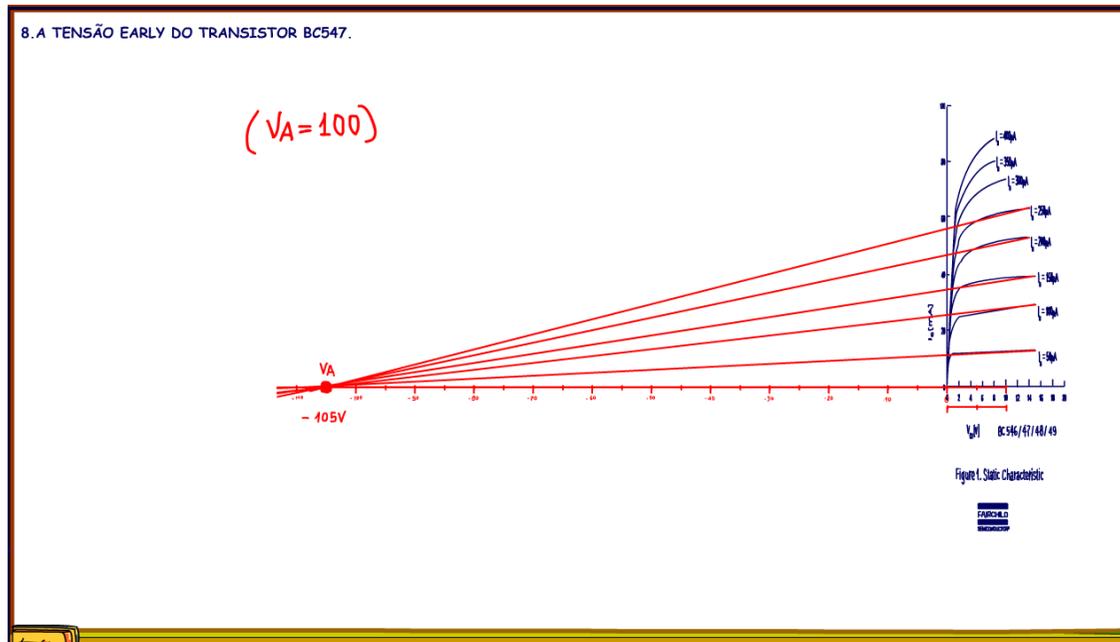
Figure 1. Static Characteristic

FAIRCHILD
MICROELECTRONICS

Veja a curva de transferência do nosso conhecido BC547, um transistor bem mais conhecido aqui no Brasil, o ganho típico é de 240, mas qual será a tensão Early?

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

8. A TENSÃO EARLY DO TRANSISTOR BC547.



Veja o gráfico com as retas estendidas convergindo para a tensão Early, o valor é de 105V, na prática o valor da tensão Early para transistores de baixa potência, esses usados nos amplificadores de tensão é da ordem de 100V.

Aqui fica uma regra de ouro, se você não souber a tensão Early do transistor use 100V.

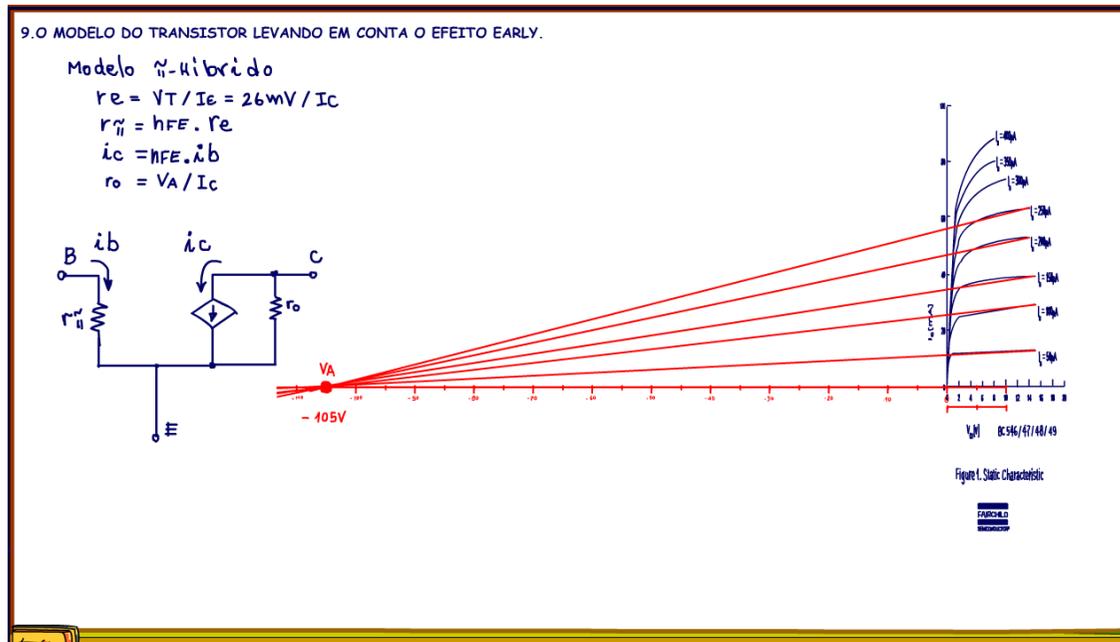
Os valores no mundo real podem variar de 50V a 150V.

A forma de determinar a tensão Early é essa que usei aqui, traçando as retas, esse gráfico você só encontra aqui no canal do Professor Bairros, claro foi eu mesmo que criei essa obra de arte, essa técnica de comprimir o gráfico em um lado e então gerar as retas foi uma grande sacada, vocês não acham, quem sabe o pessoal

passa a chamar método Bairros de determinar a tensão Early!

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

9. O MODELO DO TRANSISTOR LEVANDO EM CONTA O EFEITO EARLY.



Agora veja o modelo da figura, tem a resistência intrínseca de coletor do transistor, a resistência r_o colocada entre o coletor e o emissor do transistor, essa é uma resistência interna do transistor, o intrínseco quer dizer isso interno.

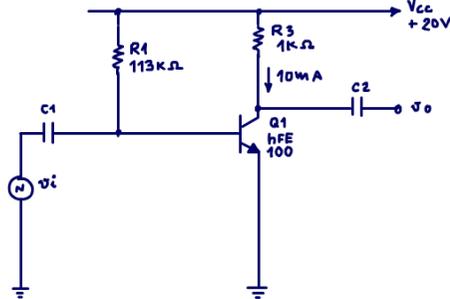
O valor da resistência é igual a tensão Early dividido pela corrente de coletor, claro é uma resistência, tensão sobre a corrente.

A resistência está relacionada com a inclinação da reta das curvas Early, a inclinação muda quando a corrente de coletor muda, então a resistência intrínseca de coletor representa o efeito Early que mostra que o ganho de corrente h_{FE} varia com a corrente de coletor.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

10. GANHO DE TENSÃO DO AMPLIFICADOR EC COM RO.

10. GANHO DE TENSÃO DO AMPLIFICADOR EC COM RO.



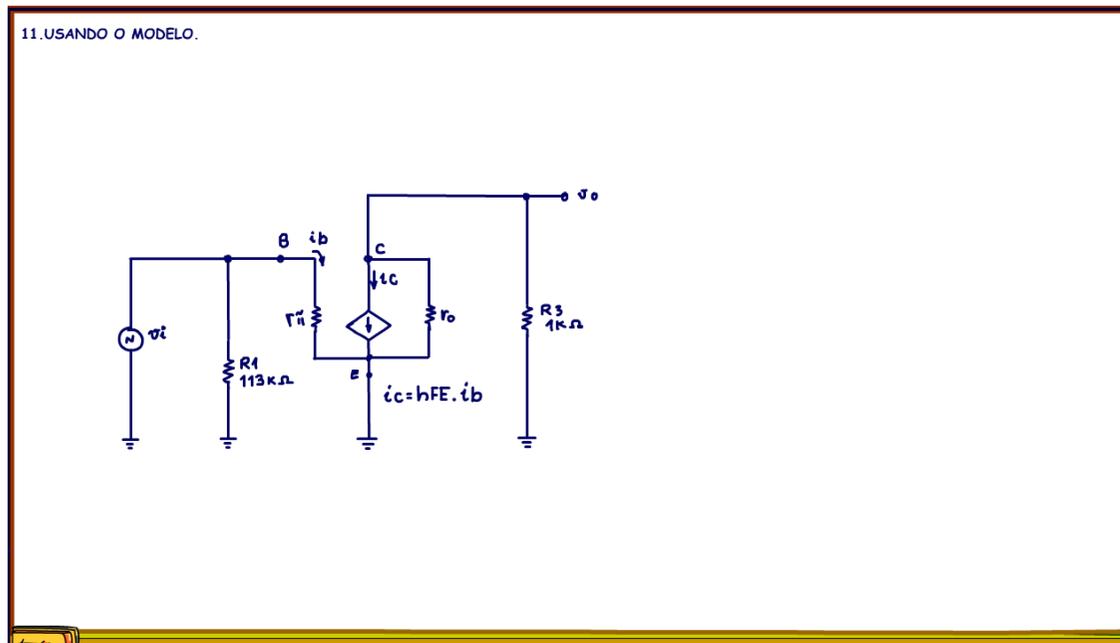
Agora vou mostrar como a resistência intrínseca de coletor altera o ganho de um amplificador de tensão, para isso observe o circuito da figura, vamos calcular o ganho de tensão, considerando a resistência intrínseca de coletor r_o .

Nesse circuito é usado um transistor amplificador típico na configuração emissor comum, com ganho de corrente h_{FE} igual a 100, a corrente de coletor é igual a 10 mA.

A questão é determinar o ganho de tensão para pequenos sinais.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

11. USANDO O MODELO.

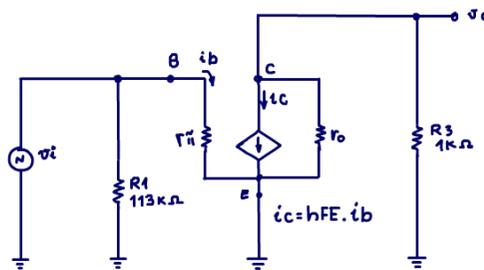


Para calcular o ganho é só substituir o transistor pelo modelo, agora com a resistência intrínseca de coletor e então calcular a tensão de saída em relação a tensão de entrada.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

12. DETERMINANDO AS RESISTÊNCIAS INTRÍNSECAS DO TRANSISTOR.

12. DETERMINANDO AS RESISTÊNCIAS INTRÍNSECAS DO TRANSISTOR.



$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_c} = \frac{26 \text{ mV}}{10 \text{ mA}} = 2,6 \Omega$$

$$r_{\pi} = r_e \cdot hFE = 2,6 \Omega \cdot 100 = 260 \Omega$$

$$r_o = \frac{VA}{I_c} = \frac{100 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 10 \text{ k}\Omega$$

Primeiro vou calcular a resistência de emissor intrínseca, 26mV dividido pela corrente de coletor quiescente 10 mA, isso dá 2,6 OHM.

A resistência r_{π} é a resistência de emissor intrínseca multiplicado pelo ganho hfe de 100 isso dá 260 OHM.

Agora a nova resistência, a resistência intrínseca de coletor, é a tensão Early dividido pela corrente de coletor, como esse é um transistor amplificador típico a tensão Early pode ser estimada em 100V, então r_o é igual 100V dividido por 10 mA, isso dá 10 KOHM.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

13. CALCULANDO SEM RO.

13. CALCULANDO SEM RO.

$$i_b = \frac{v_i}{r_{\pi}} = \frac{v_i}{r_e \cdot h_{FE}}$$

$$i_c = h_{FE} \cdot \frac{v_i}{r_e \cdot h_{FE}} = \frac{v_i}{r_e}$$

$$v_o = i_{R3} \cdot R_3$$

sem r_o

$$i_c = i_{R3}$$

$$v_o = -\frac{v_i}{r_e} \cdot R_3 = -v_i \frac{R_3}{r_e}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_3}{r_e}$$

Conhecendo as resistências intrínsecas podemos calcular tudo agora.

Começamos pela corrente de base, podemos desprezar R1, então podemos calcular a corrente de base fazendo tensão de entrada sobre a resistência r_{π} , que é igual a resistência intrínseca de emissor r_e multiplicado pelo ganho de corrente.

A corrente de coletor é igual a corrente de base multiplicado pelo ganho de corrente, agora a mágica acontece, podemos simplificar o ganho de corrente e pronto a corrente de coletor é simplesmente a tensão de entrada sobre a resistência intrínseca de emissor.

Agora vou calcular a tensão de saída v_o , que é a tensão sobre a resistência R3, e essa tensão é igual a corrente

que sai do coletor do transistor, vou chamar i_{R3} multiplicado pela resistência R3.

Se não tivesse a resistência intrínseca de coletor, o r_o , então, a tensão poderia ser calculada direto, já que a corrente de coletor seguiria toda para a resistência R3, a corrente de coletor é igual a corrente i_{R3} .

A tensão de saída é igual a menos a tensão de entrada dividido por r_e , que é a corrente de coletor, multiplicado pela resistência R3, é menos porque o sentido da corrente que sai do coletor do transistor gera uma tensão negativa sobre R3.

O ganho é simplesmente a tensão de saída sobre a tensão de entrada que é igual a menos R3 sobre r_e , uma equação que todo mundo está careca de saber.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

14. CALCULANDO COM RO.

14. CALCULANDO COM RO.

Com r_o !

$$i_{R3} = i_c \frac{r_o}{r_o + R3}$$

$$v_o = -i_{R3} \cdot R3$$

$$v_o = -i_c \frac{r_o}{r_o + R3} \cdot R3$$

$$v_o = -\frac{v_{in}}{r_e} \frac{r_o}{r_o + R3} \cdot R3$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{R3}{r_e} \frac{r_o}{r_o + R3}$$

$$A_v = A_{vo} \cdot \frac{r_o}{r_o + R3}$$

Mas se levar em conta a resistência r_o , a corrente de coletor vai se dividir e menos corrente vai sobrar para $R3$.

Que corrente vai sobrar para $R3$?

É só usar o divisor de corrente de coletor, a corrente na resistência $R3$, i_{R3} é igual a corrente que entra no nó, multiplicado pela resistência onde você não quer saber a corrente, essa é a resistência r_o , dividido pela soma das resistências, equação do divisor de corrente.

A equação da tensão de saída não mudou, é igual a menos a corrente sobre $R3$, i_{R3} , multiplicado por $R3$, mas a corrente i_{R3} mudou, agora é igual a corrente de coletor, que é igual a tensão de entrada dividido por r_e , multiplicado pelas resistências do divisor de

corrente, tudo isso multiplicado pela resistência $R3$.

O novo ganho de tensão agora é igual a menos a resistência $R3$, vou trazer essa resistência aqui para frente, dividido por r_e , tudo isso multiplicado pelas resistências do divisor de corrente.

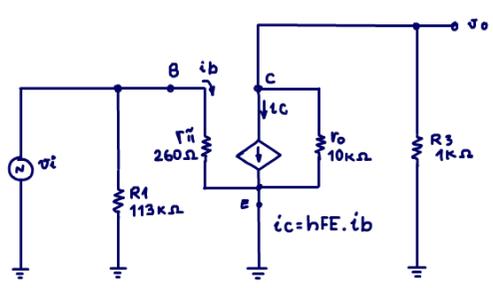
Agora veja a mágica acontecendo, menos $R3$ sobre r_e é exatamente o ganho sem a resistência r_o , esse ganho é multiplicado pelas resistências do divisor que vai ser sempre menor do que um, então o ganho com a resistência de coletor intrínseca r_o é menor o que sem a resistência r_o .

Levar em conta o efeito Early em um transistor real, diminui o ganho do circuito.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

15. EXEMPLO.

15. EXEMPLO.



Para $r_e = 2,6 \Omega$

$$\frac{v_o}{v_i} = A_{v0} = -\frac{R_3}{r_e} = -\frac{1000}{2,6 \Omega}$$

$$A_{v0} = -385$$

$$\frac{v_o}{v_i} = A_{v0} \frac{r_o}{r_o + R_3}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -385 \cdot \frac{10k}{10k + 1k}$$

$$\frac{v_o}{v_i} = -385 \cdot 0,9 = 350$$

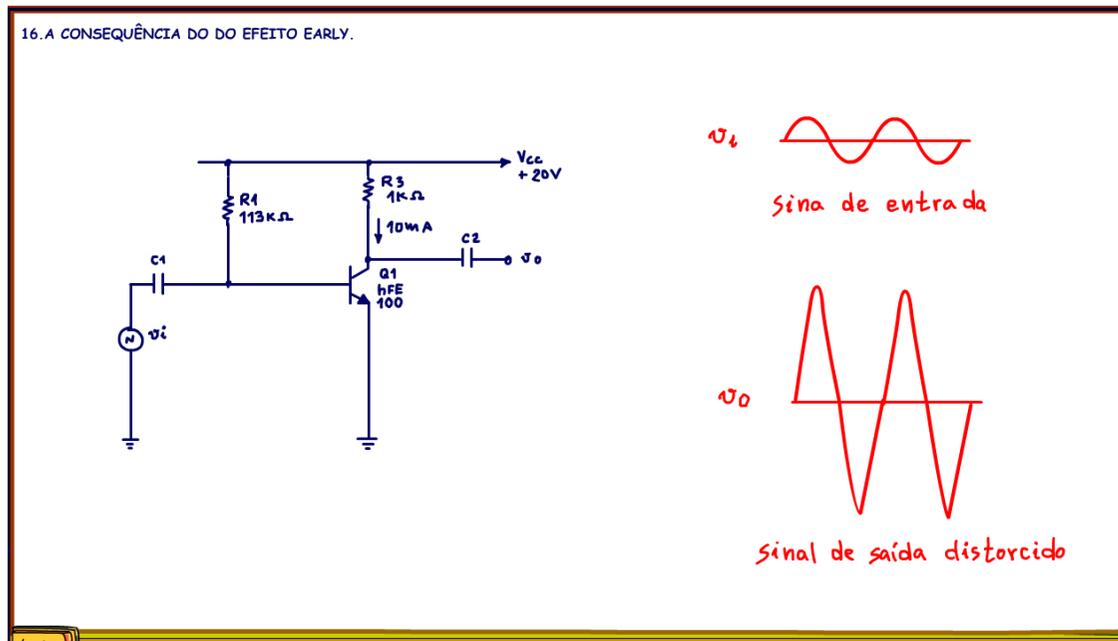
Vou calcular o ganho nesse circuito para r_e igual a 2,6 OHM, como calculamos antes.

O ganho sem a resistência de coletor intrínseca, vou chamar de A_{v0} , é simplesmente igual a menos R_3 sobre r_e , substituindo os valores e calculando dá menos 385.

Se considerarmos o valor r_o , que é o que acontece na realidade, é só multiplicar o ganho sem r_o pelas resistências do divisor de corrente, substituindo os valores e calculando, o ganho é igual 350, veja como o ganho diminui muito caiu quase 10%.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

16. A CONSEQUÊNCIA DO DO EFEITO EARLY.

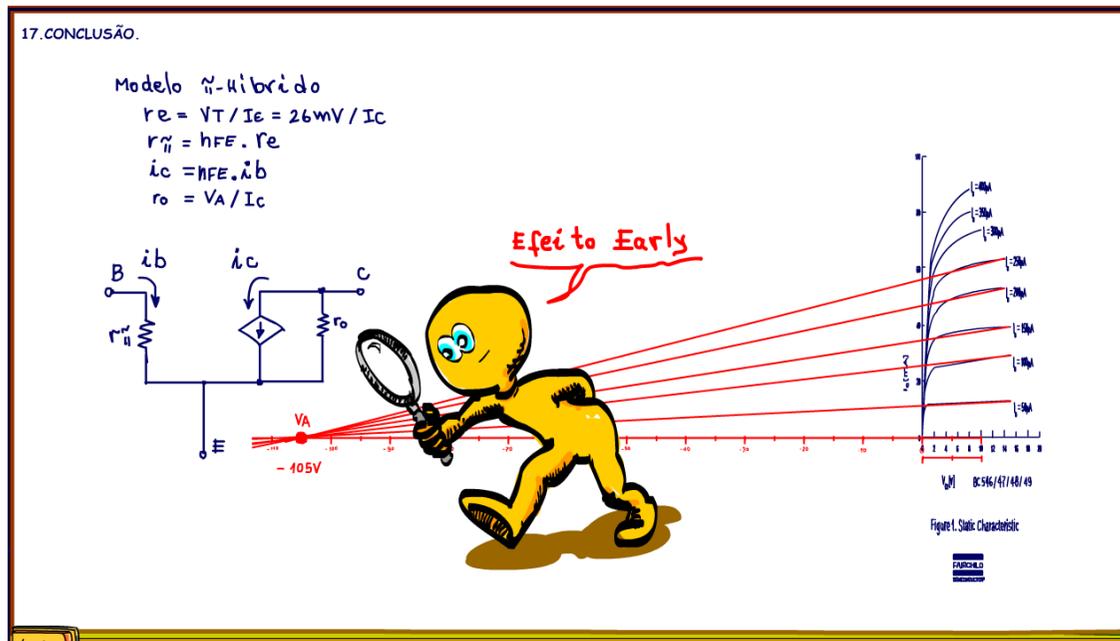


Como o ganho vai variar com a corrente, e com o sinal a corrente está variando constantemente, então no mundo real o transistor não vai responder de forma linear, o circuito foi projetado para o ganho ideal, sem variação do ganho, sem ro, e mudou muito com ro.

A consequência dessa falta de linearidade do transistor é uma distorção do sinal, se a amplitude do sinal for grande, como nos amplificadores de VAS, então a distorção poderá ser grande também.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

17. CONCLUSÃO.



Nesse tutorial eu mostrei o efeito Early, como determinar a tensão Early e como modelar esse efeito usando a resistência de coletor intrínseca, e falei da sua principal consequência, tirar o transistor do seu comportamento linear distorcendo o sinal.

Claro que eu vou fazer um vídeo só sobre a distorção causada pelo efeito Early e como minimizar esse problemão, será o próximo tutorial sobre o tema.

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

18. 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)

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

20240412 Amplificador Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.

Nesse tutorial eu vou mostrar o que é o efeito Early, como ele afeta o amplificador e como você pode modelar um transistor levando em conta o esse efeito.

Assuntos relacionados.

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

YOUTUBE: <https://youtu.be/lWv3MdEoz6U>

Agora você vai entender o efeito Early!

Transistor, o efeito Early, o transistor e o efeito Early, resistência de coletor do transistor, modelo do transistor, modelo PI híbrido,

Amplificador: Conheça o efeito Early e como ele afeta o seu amplificador.