

Cap.2 - Transistor DC

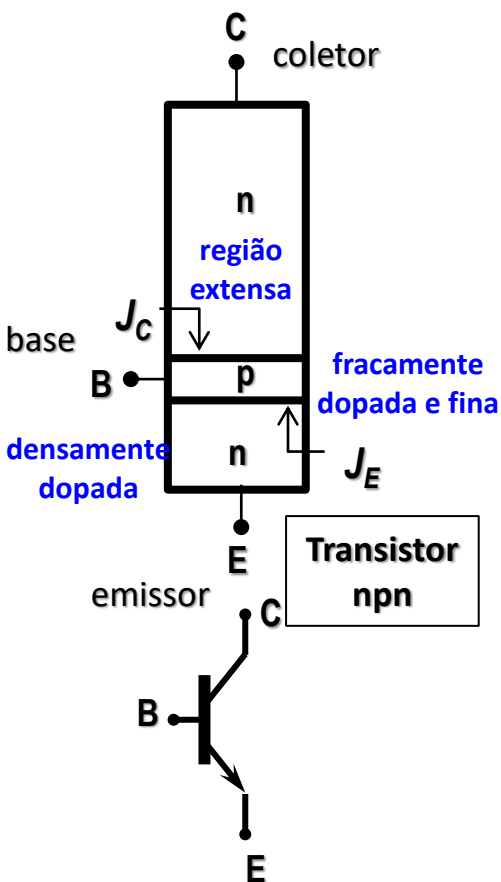
Agenda:

- ✓ **2.1 – BJT – transistor de junção bipolar**
- ✓ **2.2 – Transistor – análise DC**
- ✓ **2.3 – Transistor como chave**
- ✓ **2.4 – Circuitos de polarização**
- ✓ **2.5 – Fonte regulada de tensão**

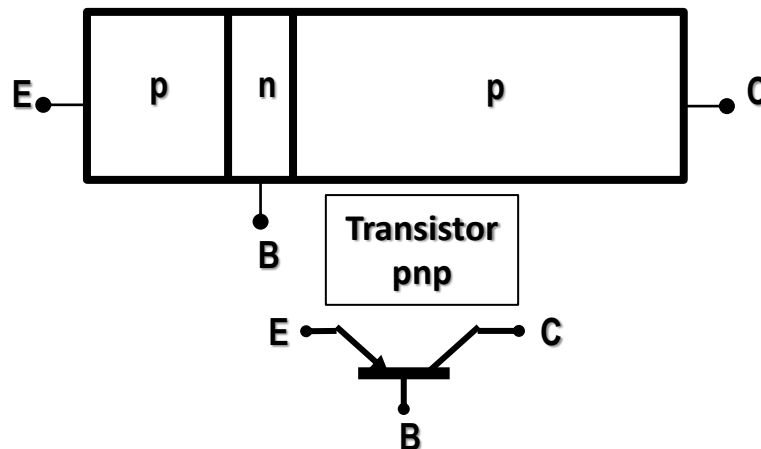
BJT - transistor de junção bipolar

Definições, ideias

- O BJT se apresenta em duas formas, npn e pnp:



Montagem
Emissor Comum



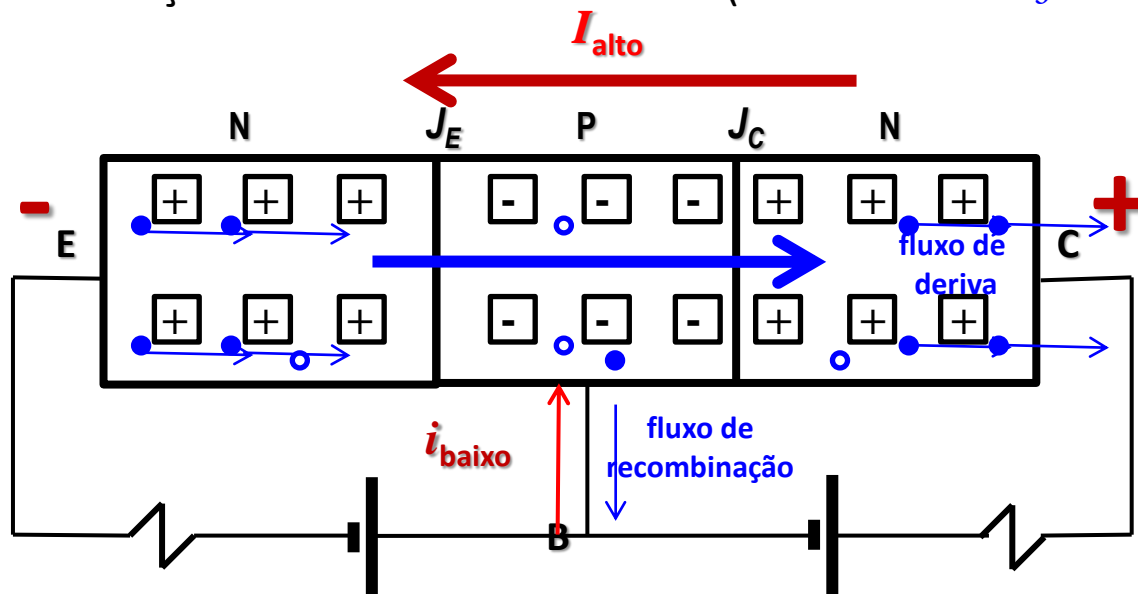
- Um parâmetro importante é o β que é o ganho de corrente na montagem emissor comum, a montagem mais popular.
- A figura da esquerda sugere a montagem emissor comum, enquanto a figura de cima sugere montagem base comum. Por exemplo, emissor comum significa que o emissor é comum tanto ao circuito de saída quanto ao de entrada.

De novo, esta é a montagem mais popular!



BJT - transistor de junção bipolar

- O $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ é o principal parâmetro do transistor, também conhecido nos *datasheets* de transistores como h_{fe} . Antes de usar, vejamos de onde vem o transistor.
- No **modo normal** o transistor opera com a Junção de Emissor, J_E , diretamente polarizada, enquanto a Junção de Coletor, J_C , reversamente polarizada. Na figura abaixo esta situação se encontra ilustrada. (*modo normal será BJT na região Ativa. Aguarde...*)



A maioria dos elétrons saem do emissor e alcança o coletor. Alguns poucos elétrons acabam saindo pela base.

Para exemplificar, correntes típicas seriam:

$$I_E = 1,00mA;$$

$$I_C = 0,99mA \text{ e } I_B = 0,01mA$$

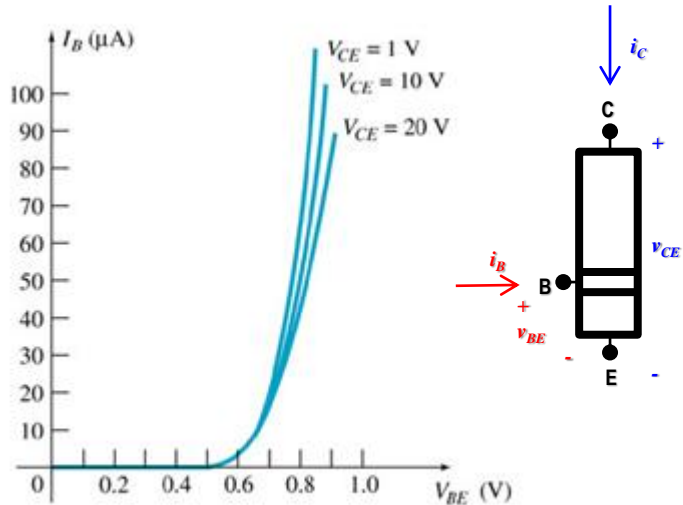
$$\text{Neste caso, } \beta = \frac{I_C}{I_B} = 99$$

Na prática, β tem algum valor entre 40 e 1000



BJT - transistor de junção bipolar

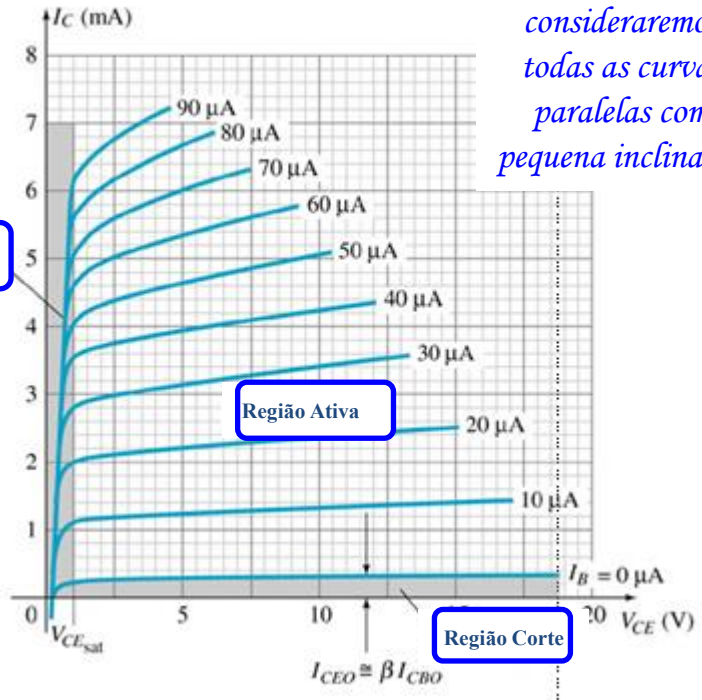
- Característica V-I de entrada (montagem emissor-comum):



Robert L. Boylestad and Louis Nashelsky
Electronic Devices and Circuit Theory, 8e

- Observe que se trata de uma junção p-n, diodo. Na prática se considera no modo normal $V_{BE} = 0,7 \text{ volts}$ (Si)
- Ou seja, o mais comum é usar o modelo híbrido na entrada

- Característica V-I de saída. Trata-se de uma família de curvas. A curva que será usada é selecionada pelo circuito de entrada (parâmetro I_B):



Na região Ativa consideraremos todas as curvas paralelas com pequena inclinação

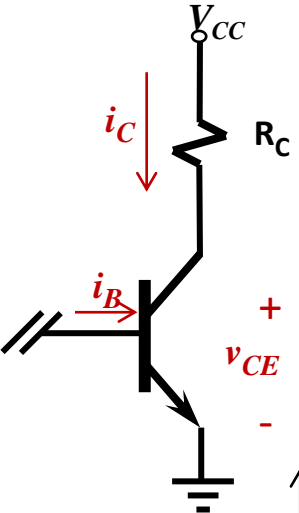
Robert L. Boylestad and Louis Nashelsky
Electronic Devices and Circuit Theory, 8e



BJT - regiões de trabalho

Região Ativa

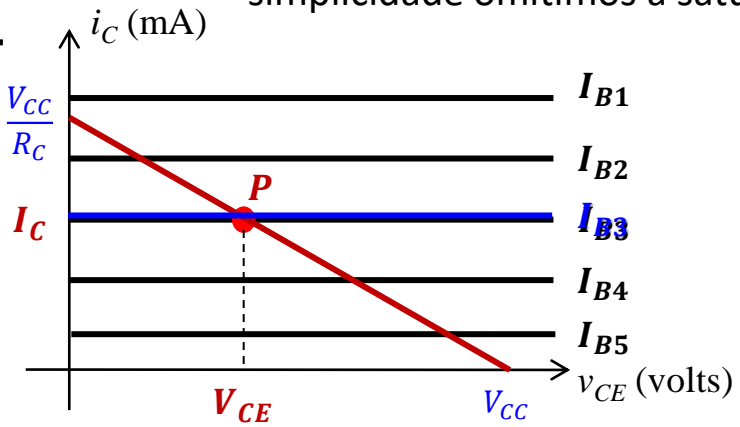
- Na Característica V-I de saída corresponde aos valores intermediários de tensão e corrente. Nesta região a curva é aproximadamente linear e é onde comumente se escolhe o ponto P quando se trata de um amplificador. Considere o circuito de saída:



$$V_{CC} = R_C i_C + v_{CE} \therefore i_C = \frac{V_{CC}}{R_C} - \frac{1}{R_C} v_{CE} \quad (\text{trata-se de uma reta!})$$

coeficiente linear
coeficiente linear

- Observe que se trata de uma equação da reta de carga como já vimos em diodos. A intercessão entre a **reta de carga** e a **característica V-I** de saída fornece o **ponto P**. Abaixo, por simplicidade omitimos a saturação.



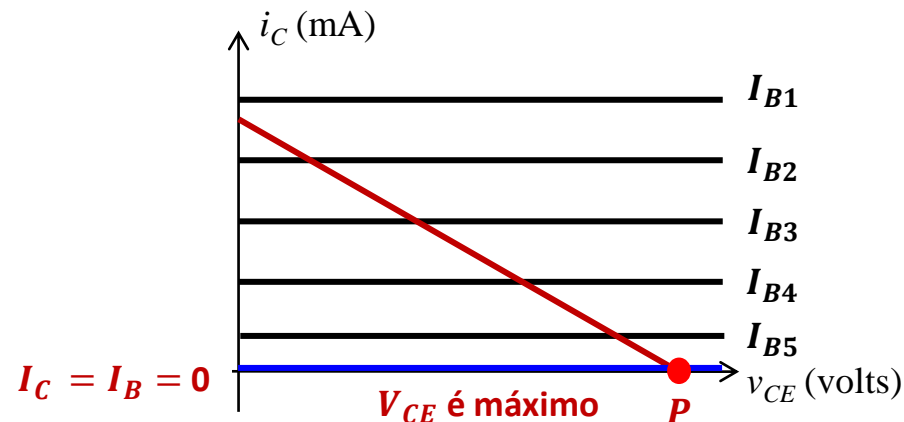
- Outras características da **região Ativa**:
 JE diretamente polarizada
 JC reversamente polarizada
 Linearidade expressa por $I_C = \beta I_B$



BJT - regiões de trabalho

Região de Corte

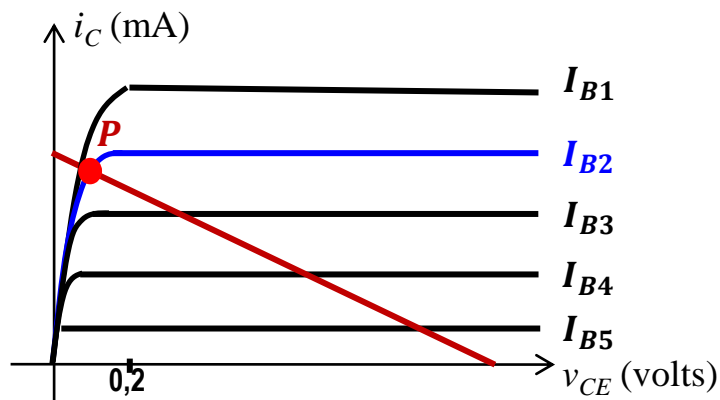
- Corresponde ao ponto P abaixo:



- Outras características da **região de Corte**
 - J_E pouco ou reversamente polarizada
 - J_C reversamente polarizada
 - $V_{BE} \ll 0,7$ v, não raro negativo
 - $I_C = I_B = 0$; V_{CE} é máximo (V_{CC})

Região de Saturação

- Corresponde ao ponto P abaixo, região não-linear:



- Outras características da **região de Saturação**
 - J_E diretamente polarizada (como Ativa!)
 - J_C diretamente polarizada
 - $V_{BE} = 0,7$ v
 - $I_C < \beta I_B$; V_{CE} é muito pequeno
 - (acompanhe na apostila a explicação desta desigualdade!)

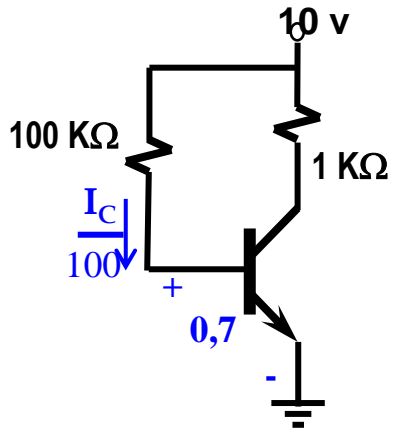
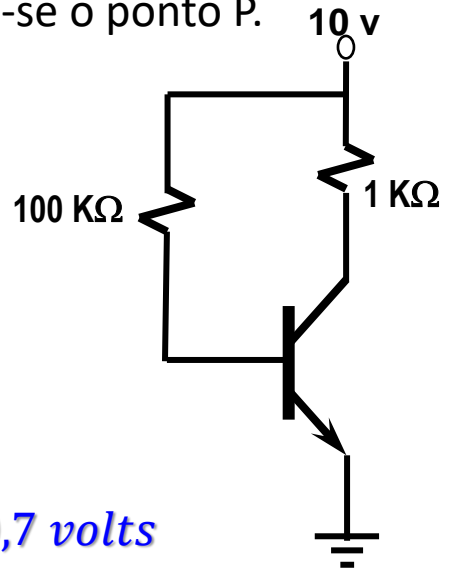


BJT - análise do ponto P

- Desde diodo já vimos que achar o ponto P pode ser feito analiticamente ou graficamente. É muito mais comum fazê-lo analiticamente. Em geral se sabe o valor de β , se conhece o circuito que se quer analisar e acha-se o ponto P.

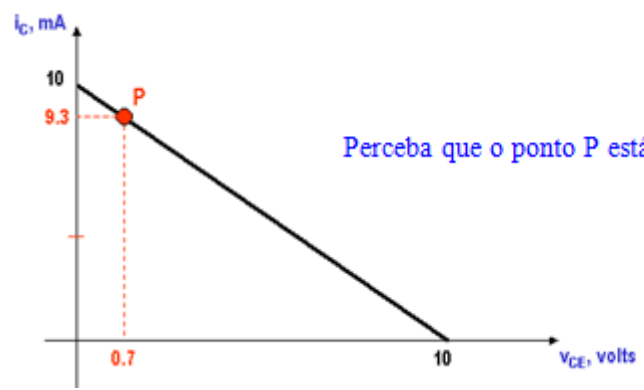
Exemplo: Dado o circuito, ache o ponto P. $\beta = 100$

Resp: Como método geral, vale a pena iniciar a análise do transistor pela malha de entrada, pois tem uma variável – I_B , enquanto na saída tem duas – I_C e V_{CE}



$$10 - 0,7 = (100) \frac{I_C}{100} \therefore I_C = 9,3 \text{ mA}$$

$$\text{Na saída: } 10 - V_{CE} = (1)(9,3) \therefore V_{CE} = 0,7 \text{ volts}$$



Perceba que o ponto P está muito próximo da saturação.

Usaremos frequentemente $\beta = 100$, não que seja comum (não é!), mas meramente pra facilitar contas

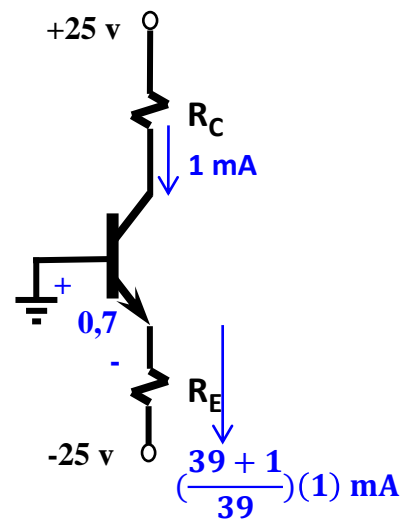
BJT - mais um exemplo

- O transistor apresenta $\beta = 39$ e $v_{BE} = 0.7$ v quando $i_c = 1$ mA. Projete o circuito de modo que uma corrente de 2 mA circule pelo coletor quando a tensão do coletor for + 15 v. Nos dois conjuntos de medições a hipótese é BJT na Ativa.

*Atenção:
O exemplo foi dado com DOIS CONJUNTOS de dados!*

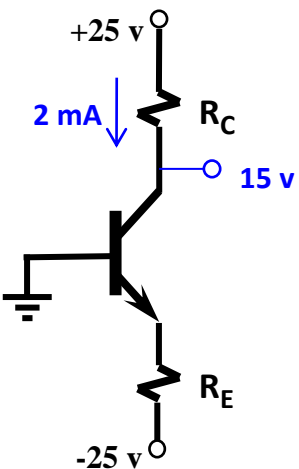
Resp: Para as primeiras medições dadas:

$$0 - 0,7 - (-25) = R_E I_E = R_E \left(\frac{40}{39} \right) (1) \therefore R_E \approx 23,69 \text{ K}\Omega$$



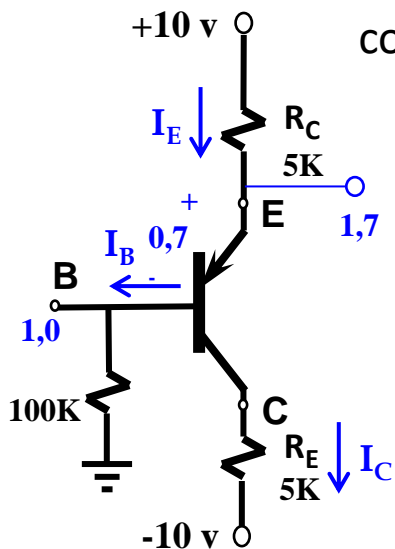
Para as últimas medições dadas:

$$25 - V_C = 25 - 15 = R_C I_C = R_C (2) \therefore R_C = 5 \text{ K}\Omega$$



Circuito com PNP

- Circuitos com transistores NPN são muito mais comuns, mas circuitos com PNP são totalmente duais a eles. Vejamos um exemplo:



Exemplo: As medições no circuito indicam $V_B = +1.0\text{ v}$ e $V_E = 1.7\text{ v}$

a) Quais é o valor de β ?

b) Qual o valor de V_C ?

Resp: Aproveitaremos o próprio circuito dado para indicar variáveis.

$$\text{a) } I_E = \frac{10 - 1,7}{5K} = 1,66\text{mA}; I_B = \frac{1}{100K} = 0,01\text{mA} \quad \text{então} \quad \underbrace{I_E}_{1,66} = I_C + \underbrace{I_B}_{0,01} \therefore$$

$$I_C = 1,65\text{mA} \Rightarrow \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{1,65}{0,01} \therefore \beta = 165$$

$$\text{b) } V_C = -10 + \underbrace{R_E}_{5K} \underbrace{I_C}_{1,65} \therefore V_C = -1,75\text{volts}$$

Ou seja, os procedimentos são idênticos ao caso NPN

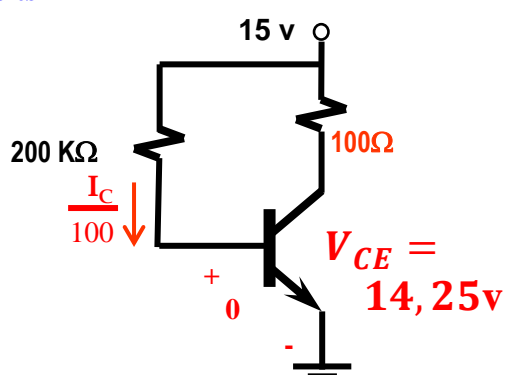
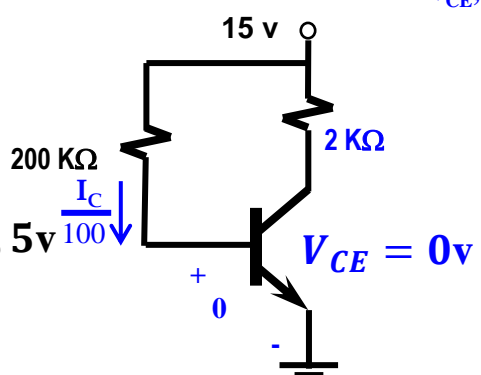
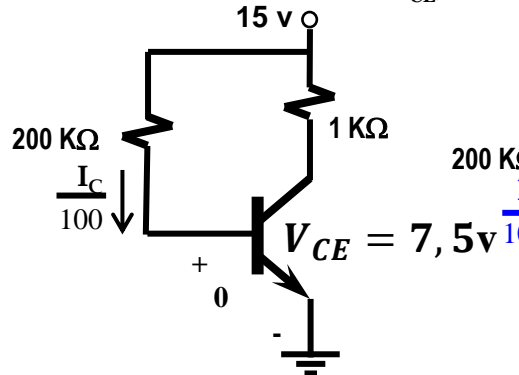
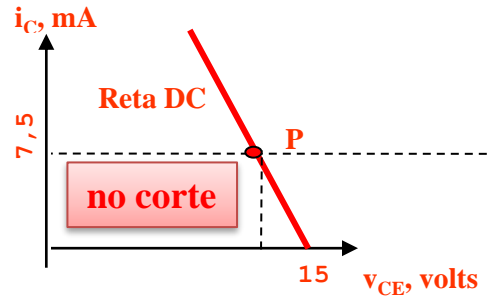
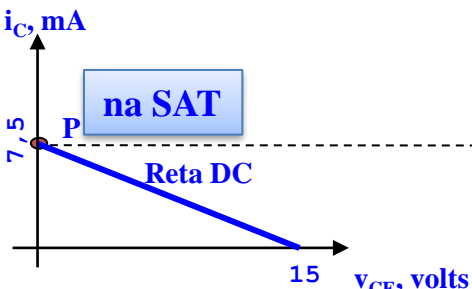
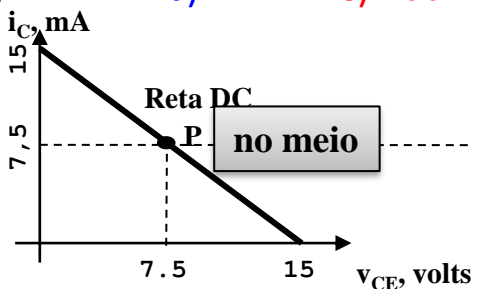


Sensibilidade a R_C

- No cap. 3 veremos que o elemento principal de controle do ganho será R_C . Porém, R_C também pode afetar o ponto de operação.

Para o circuito dado ($\beta = 100$ e $V_{BE} = 0$ v) ache o ponto P e trace a reta de carga DC se R_C vale:

a) **1 K Ω** b) **2 K Ω** c) **100 Ω**



Saída: $15 = R_C I_C + V_{CE}$

$15 = 1I_C + V_{CE}$

Entrada: $15 - 0 = \frac{200I_C}{100} \therefore I_C = 7,5mA$

Saída: $15 = 2I_C + V_{CE}$

Entrada: *idem!*
 $I_C = 7,5mA$

Saída:

$15 = 0,1I_C + V_{CE}$

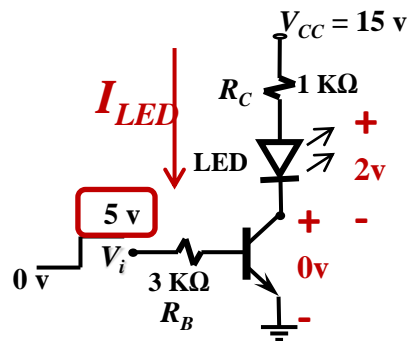
Entrada: *idem!*
 $I_C = 7,5mA$

Se o lugar geométrico do ponto P é a reta de carga, pode existir a contradição: R_C influencia o ponto P e controla o ganho. Se o ajuste fica bom para um, ele pode ficar ruim para outro. Daí a razão de ser de R_E , o "Robin do Batman"



Transistor como chave

- Assim como o diodo, o transistor pode funcionar como chave ON-OFF. No corte ele está OFF, na saturação ele está ON



O circuito dado é um comando de LED que se acende quando passa alta corrente por ele. Se existe uma queda de 2 v no LED quando ele está acionado, calcule a corrente de funcionamento do LED.

No mesmo circuito suponha que para $V_i = 5v$ o transistor está na ATIVA. Se o menor valor de β conhecido é 39, esta hipótese é viável?

(Desafio) (Bônus: O primeiro que responder certo dizendo a razão completa leva o décimo!)

- a) Se $V_i = 5v$ é provável que a base está fortemente polarizada e o transistor saturado. Considerando $V_{CESAT} = 0v$:

$$V_{CC} = R_C I_{LED} - V_{LED} - V_{CESAT} \therefore 15 = (1)I_{LED} - 2 - 0 \therefore I_{LED} = 13mA$$

- b) Se $V_i = 0v$ o transistor cortado, não passa corrente no LED e ele está desacionado.

- c) **(Desafio)** Se transistor na ATIVA, $V_{BE} = 0,7v$, então na entrada

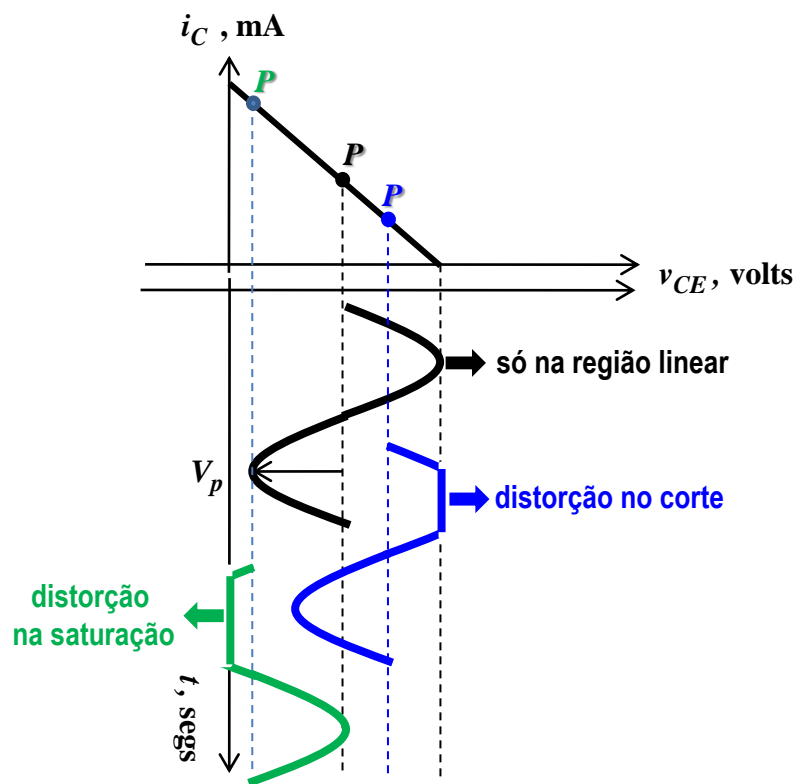
$$(5 - 0,7) = R_B I_B = (3) \frac{13}{\beta}, \text{ o que nos leva a } \beta \approx 9, \text{ que é um valor inviável.}$$

O transistor está realmente SAT! (é comum em projeto com LED fazer a inequação da SAT ir ao limite!)



Circuitos de polarização

- A questão essencial em transistor é achar o ponto P. Mais ainda, achar um **BOM** ponto P
- Vejamos a reta de carga e antecipemos algo que será objeto do cap. 3, BJT – AC: em torno do ponto P vai excursionar o sinal AC. Os limites de linearidade são o CORTE e a SATURAÇÃO.

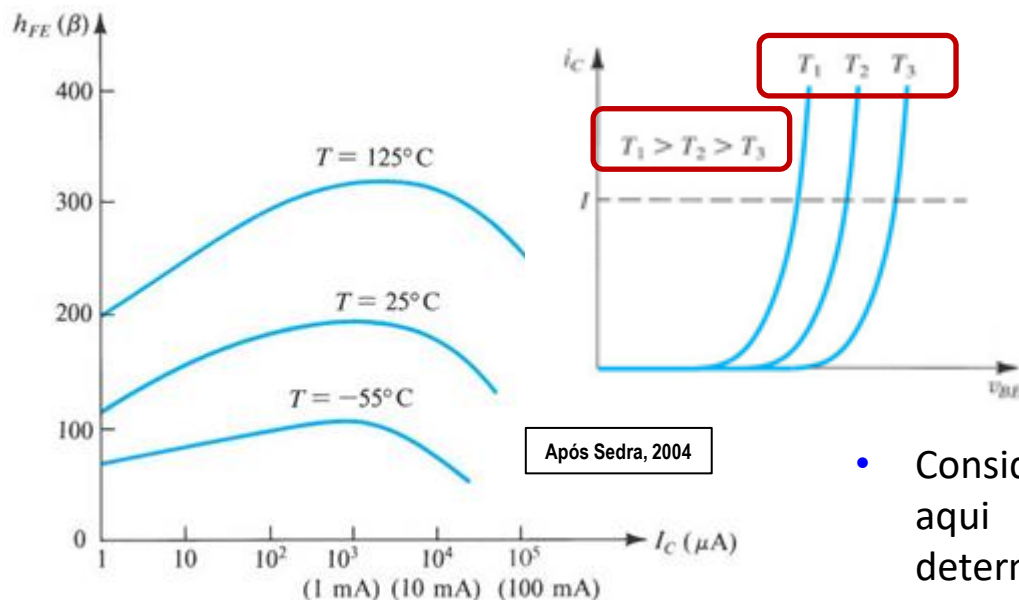


- Visto desta forma, ponto P bom é aquele no meio da reta, meio caminho entre o corte e a saturação, que são as regiões de distorções.
- Quando o ponto P é alocado no meio da reta de carga, o resultado é que conseguimos máxima excursão simétrica na saída (no capítulo 3 veremos que no caso mais comum a saída do circuito será exatamente v_{CE})
- Também vamos aqui antecipar que estas conclusões aí de cima vão precisar sofrer uma pequena modificação. Porém, isto será tarefa para o cap. 3



Circuitos de polarização

- Um aspecto que devemos estar atentos. O grande “vilão” da Eletrônica é a temperatura
- Perceba que a temperatura é um fenômeno exógeno, via de regra não pode ser controlado.
- Os parâmetros do transistor são dependentes da temperatura:



- Considerando uma corrente de emissor constante, v_{BE} muda $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$, ou seja, aqui a influência é pequena
- A grosso modo, subindo a temperatura, sobe o valor de β
- Consideradas estas questões o nosso objetivo aqui nesta seção é propor circuitos que determinem um bom ponto P (e já temos ideia do que isto significa), mas também um circuito que permita este **ponto P ser estável** com as modificações de temperatura.

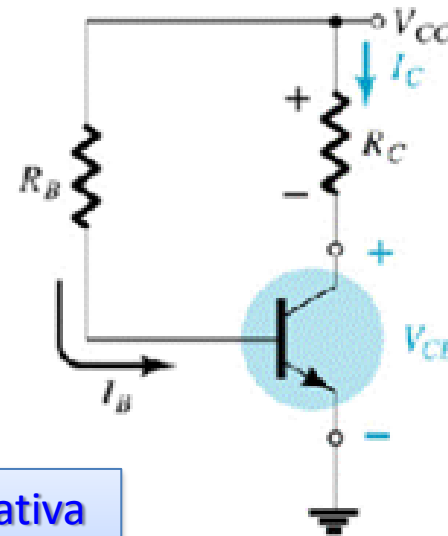


Circuitos de polarização

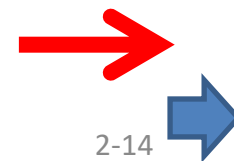
1. Autopolarização

- Para todos circuitos de polarização vamos usar valores similares para induzir alguma comparação entre os circuitos. Para representar a variação de temperatura vamos adotar os casos $\beta = 100$ e 300 . Para todos os casos, por simplicidade, $V_{BE} = 0$; $V_{CESAT} = 0$. Vamos definir também o “efeito-mola”.

Analise o circuito quanto à sensibilidade do ponto P à temperatura. Considere $V_{BE} = 0$, $R_B = 500 \text{ K } \Omega$, $R_C = 1 \text{ K}\Omega$, $V_{CC} = 10 \text{ v}$

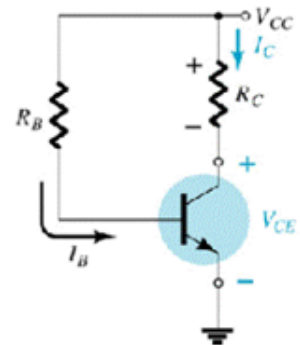


Vamos verificar a questão de uma forma quantitativa onde o ponto P será representado pela corrente I_C e a temperatura fará o valor de β subir 200% (triplicar)



Circuitos de polarização

1. Autopolarização (cont)



Entrada: $10 - 0 = R_B \frac{I_C}{\beta} \therefore I_C = \frac{10}{\frac{500}{\beta}} = \frac{10\beta}{500} = \frac{\beta}{50}$

Se $\beta = 100$: $I_C = \frac{100}{50} = 2mA$ Se $\beta = 300$: $I_C = \frac{300}{50} = 6mA$

$\frac{6}{2} = 3$ Então podemos montar a tabela:

β	1 : 3
I_C	1 : 3

Ou seja, quando a temperatura faz β subir 200% (1 para 3), este circuito faz o ponto P subir os mesmos 200% (1 para 3). Eu chamo isto de 0% de “efeito-mola”.

Generalizando o conceito de “efeito-mola”: teríamos 100% de “efeito-mola” se quando β variar 1:3, I_C variar de 1:1, ou seja, o ponto P não sai do lugar, ou ainda, o circuito absorverá TODA variação da temperatura.

100% ... 2 ... Variação total entre β extremos pela temperatura
 EM ... 3-a ... Variação EM real de ponto P pela temperatura

Resta a “regra-de-três” para esta variação de β : *entre nenhum e total E.M.:*

β	1 : 3
I_C	1 : a

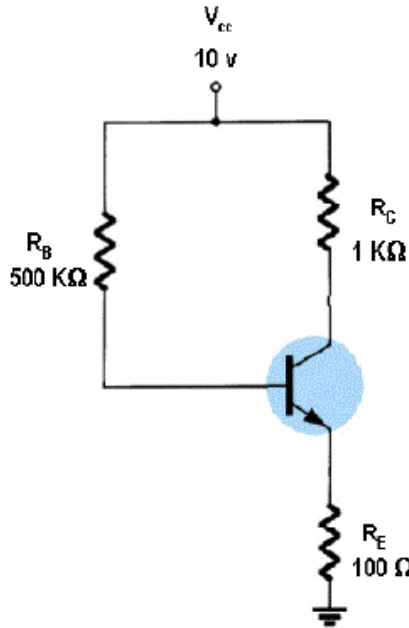
Neste circuito:
 100% ----- 2 -----> *Atenção: se fosse 1:4 aqui seria 3 e embaixo 4-a; se fosse 1:5 aqui seria 4 e embaixo 5-a, etc...*
 EM ----- 3-3 = 0

EM = 0 % O circuito não absorve NADA da variação da temperatura, tudo é transmitido ao ponto P!



Circuitos de polarização

2. Realimentação de emissor



Vamos aproveitar este circuito simples para mostrar qualitativamente o “efeito-mola”.

Entrada: se $\beta \uparrow \Rightarrow I_C / \beta \downarrow \Rightarrow V_{RB} \downarrow \Rightarrow V_B \uparrow \Rightarrow V_E \uparrow \Rightarrow I_E \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow$

Saída: se $\beta \uparrow \Rightarrow \beta I_B \uparrow \Rightarrow I_C \uparrow \Rightarrow V_E \uparrow \Rightarrow V_B \uparrow \Rightarrow I_B \downarrow \Rightarrow I_C \downarrow$, ou seja, esta contradição mostra que haverá o “efeito-mola”!

Entrada: $10 - 0 = R_B I_B + R_E I_E = 500 \frac{I_C}{\beta} + 0,1 I_C \therefore$

$$I_C = \frac{10}{\frac{500}{\beta} + 0,1}$$

Se $\beta = 100$: $I_C = \frac{10}{\frac{500}{100} + 0,1} = 1,96 \text{ mA}$

Se $\beta = 300$: $I_C = \frac{10}{\frac{500}{300} + 0,1} = 5,66 \text{ mA}$

$$\frac{5,66}{1,96} = 2,89$$

Então podemos montar a tabela:

β	1 : 3
I_C	1 : 2,89

100% ----- 2

EM ----- $(3 - 2,89) = 0,11$

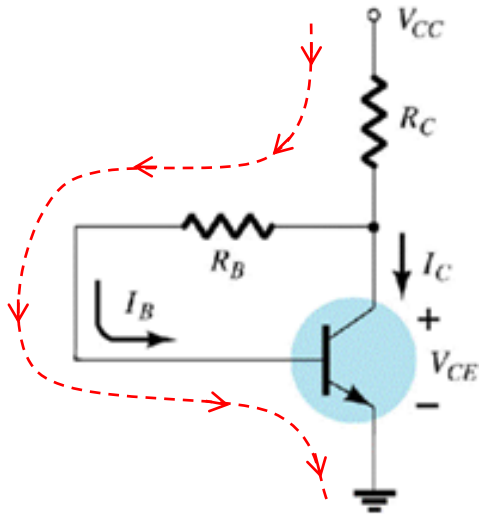
EM = 5,5%

Uma pequena parte da variação da temperatura é absorvida pelo circuito. Precisamos resultados melhores!



Circuitos de polarização

3. Realimentação de coletor



Entrada (e saída em parte): $10 - 0 = R_C I_C + R_B I_B =$
 $= 1 \cdot I_C + 500 \frac{I_C}{\beta} \therefore I_C = \frac{10}{\frac{500}{\beta} + 1}$

Se $\beta = 100$: $I_C = \frac{10}{\frac{500}{100} + 1} = 1,67mA$ $\frac{3,75}{1,67} = 2,25$

Se $\beta = 300$: $I_C = \frac{10}{\frac{500}{300} + 1} = 3,75mA$

β	1 : 3
I_C	1 : 2,25

100% ----- 2

EM ----- $(3 - 2,25) = 0,75$ **EM = 37,5%**

4. Divisor de tensão

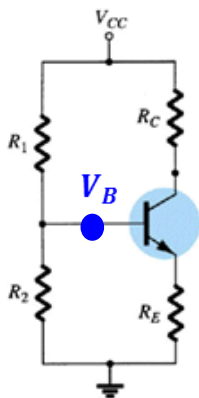


Figura 97: Polarização

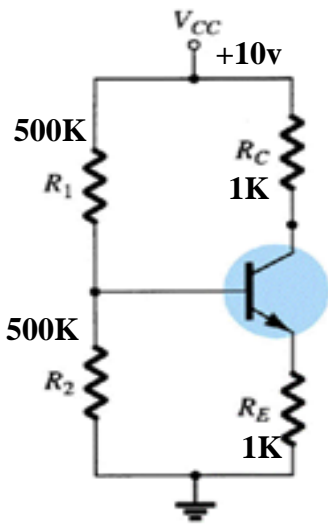
Este é o circuito de polarização mais popular e a razão pode ser percebida com uma **breve análise intuitiva**.

Considere que I_B é suficientemente pequena que podemos aproximar por zero. Então:

$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = constante$. Como $V_E = V_B - V_{BE} = V_B - 0,7$. então V_E também é uma constante. Assim I_C é constante e não depende de β !!!

Circuitos de polarização

4. Divisor de tensão



Aplicando *Thevenin* na base:

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{500}{500 + 500} 10 = 5 \text{ volts}$$

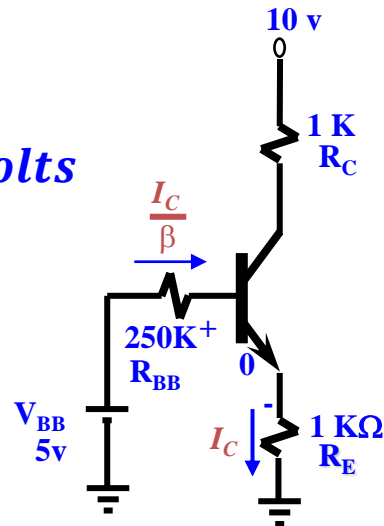
$$R_{BB} = R_1 // R_2 = 500 // 500 = 250 \text{ K}\Omega$$

$$V_{BB} - 0 = R_{BB} I_B + R_E I_E \therefore$$

$$5 = 250 \frac{I_C}{\beta} + 1 \cdot I_C \Rightarrow I_C = \frac{5}{\frac{250}{\beta} + 1}$$

Se $\beta = 100$: $I_C = \frac{5}{\frac{250}{100} + 1} = 1,43 \text{ mA}$

Se $\beta = 300$: $I_C = \frac{5}{\frac{250}{300} + 1} = 2,73 \text{ mA}$



100% ----- 2

EM ----- $(3 - 1,91) = 1,09$ **EM = 54,5%**

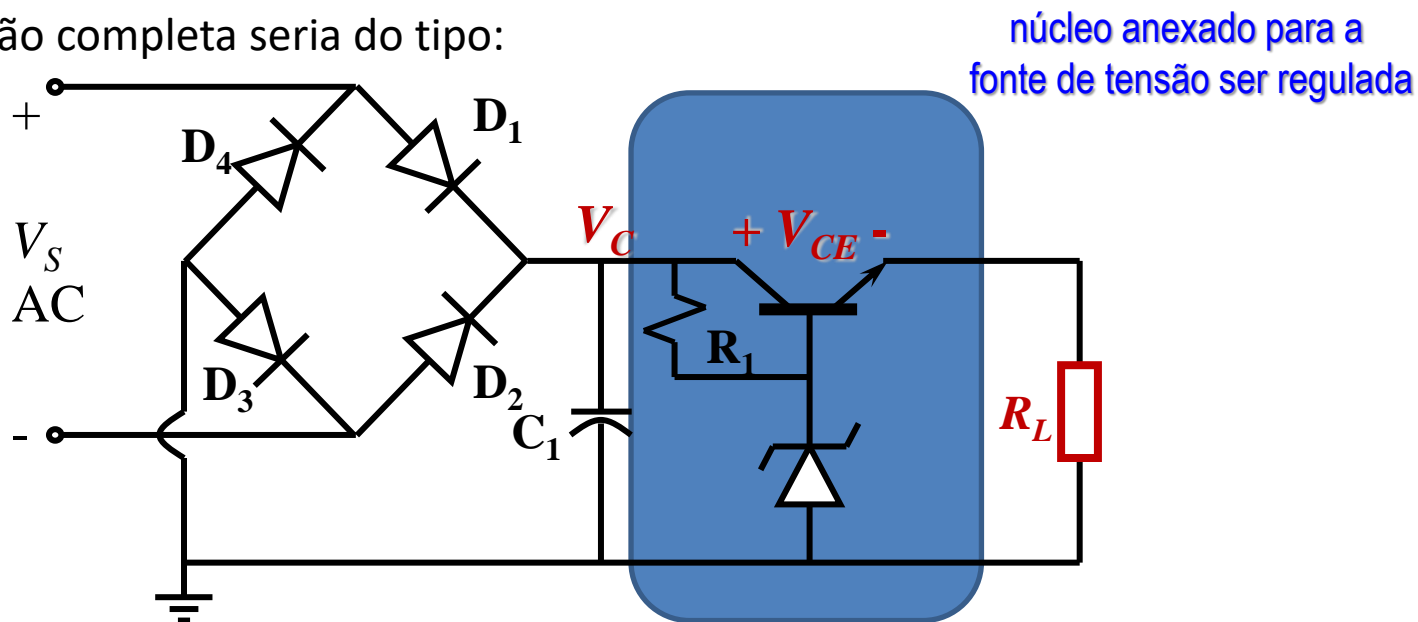
β	1 : 3
I_C	1 : 1,91

Praxes de projeto

$$V_{CE} = 50\% V_{CC}; \quad V_{RC} = 40\% V_{CC}; \quad V_{RE} = 10\% V_{CC}$$

Fonte regulada de tensão

- No capítulo 1 já fizemos o projeto básico da fonte DC, mas lá se impunha uma deficiência: conforme o valor da carga modificava a tensão DC que se prometia entregar. Resolveremos isto agora.
- O cliente determina a fonte que quer (é comum ser aceitável uma variação de 10% para mais ou para menos) e informa a máxima corrente absorvida.
- Uma solução completa seria do tipo:



- Costuma se projetar até o transformador que recebe (e abaixa!) a tensão da concessionária de energia



Fonte regulada de tensão

- Façamos um exemplo. Um cliente $V_L = 9 \text{ volts } (\pm 10\%)$, $I_{Lmax} = 1\text{A}$.
- Algumas decisões da fonte são de praxe. A primeira, para garantir uma fonte de baixo *ripple* para as mais variadas cargas se parte de um capacitor eletrolítico muito alto, algo como $1000 \mu\text{F}$ ou $2200 \mu\text{F}$. Outra decisão de praxe é buscar no projeto sempre o menor custo, portanto usando sempre componentes de “prateleira”. Sempre é bom lembrar que, via de regra, quanto menor a potência, menor o preço do componente.

1. Transformador

- Os valores comerciais de transformadores (tensões em rms), ou seja, a amplitude da senóide é de $V\sqrt{2}$:

127/3	127/6	127/9	127/12
127/15	127/18	127/22	etc...

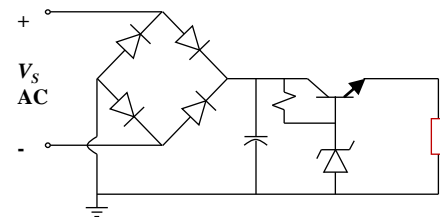
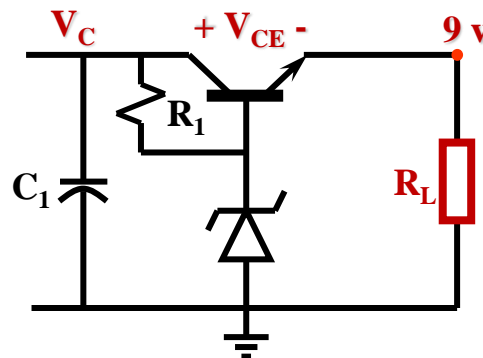
Por exemplo, se escolhermos a saída no secundário de 12 v, a amplitude seria na verdade $12\sqrt{2} \approx 17\text{volts}$



Fonte regulada de tensão

1. Transformador (cont)

Nas malhas de saída, podemos observar que a senóide depois do transformador passa por 2 diodos no estado ON até chegar á tensão V_C :



$V_S = 2V_D + V_{CE} + V_L$ como queremos 9 v ou próximo na saída:

$$V_S = 1,4 + V_{CE} + 9 \therefore V_S = V_{CE} + 10,4$$

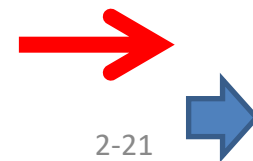
- Se escolhermos o trafo 127/12, então: $V_S \approx 17v \therefore V_{CE} \approx 6,6v$ que aparentemente é alto. Vamos tentar abaixar V_{CE}

Por quê quanto mais baixo for V_{CE} é melhor e qual é o limite?

(Desafio4)

- Se escolhermos o trafo 127/9, então: $V_S \approx 12,7v \therefore V_{CE} \approx 2,3v$ Melhorou!
- Se escolhermos o trafo 127/6, então: $V_S \approx 8,5v \therefore V_{CE} \approx -1,9v$ Inviável!

Então escolhemos o **trafo 127/9** e $V_{CE} = 2,3v$

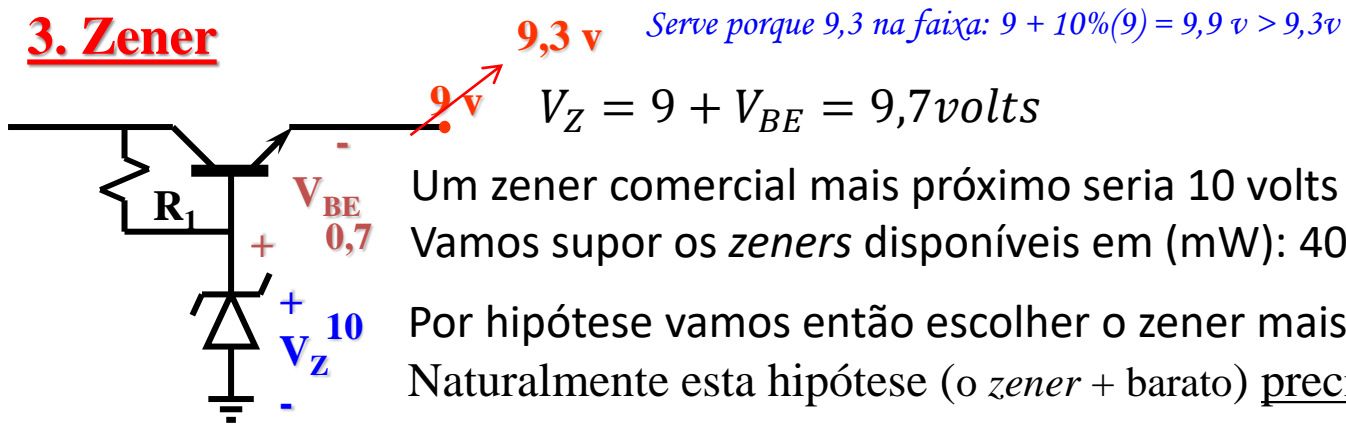


Fonte regulada de tensão

2. Diodos

- diodos simples e baratos que precisam atender:
 - Corrente máxima do diodo de 1 A (exigência do cliente)
 - Tensão de pico inversa : 12,7 volts (vide V_s no slide 2-20 do Trafo escolhido!)
- 1N4001**
 - Corrente máxima : 1 A
 - Tensão de pico inversa : 50 volts reverso (portanto, este diodo serve!)

3. Zener

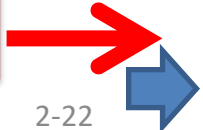


Um zener comercial mais próximo seria 10 volts ($V_L = 9,3 \in 9 \pm 10\%$!).
 Vamos supor os zeners disponíveis em (mW): 400/500/1000/1500/...
 Por hipótese vamos então escolher o zener mais barato: **10v**, 400 mW
 Naturalmente esta hipótese (o zener + barato) precisa ser testada.

Com esta escolha: $P_{Zmax} = V_Z i_{Zmax} \therefore 400\text{mw} = 10 \times i_{Zmax} \therefore i_{Zmax} = 40\text{mA}$

Praxe de projeto: $i_{Zmin} = 10\%i_{Zmax} \therefore i_{Zmin} = 4\text{mA}$
 (potência provisória, sob teste futuro; **a voltagem já é certa!**)

Note que é o zener regulador quem impõe R_1 .
Por quê?



Fonte regulada de tensão

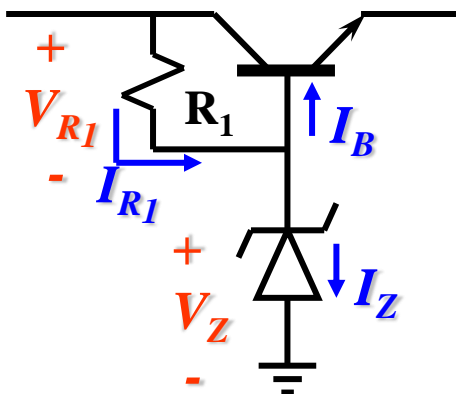
4. Transistor

- Como o critério é de menor custo, o transistor mais barato que conheço é o **BD135**:
 - $P_{max} = 8W$; $\beta = 39$ (aproximado para facilitar as contas!)

Já vimos que: $V_{CE} = 2,3\text{volts}$, $i_{Emax} = I_{clienteMax} = 1A \therefore P_T = 2,3W < 8W$ (OK!)

Quanto a valor de β : $I_{Bmax} = \frac{I_{Emax}}{\beta+1} = \frac{1}{39+1} = 25mA$

5. Resistor



Primeiro, a tensão efetivamente entregue ao cliente será:

$$V_Z - V_{BE} = 9,3\text{ volts} < 9 + 10\%(9) = 9,9\text{ volts (OK!)}$$

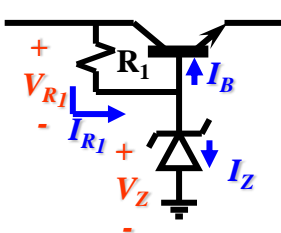
Segundo:

$$V_C = V_{Lreal} + V_{CE} = 9,3 + 2,3 = 11,6\text{ volts}$$

Terceiro, a corrente sobre R_1 será sempre constante porque a *ddp* entre seus terminais é constante:

$$I_{R1} = \frac{V_C - V_Z}{R_1}$$

Fonte regulada de tensão

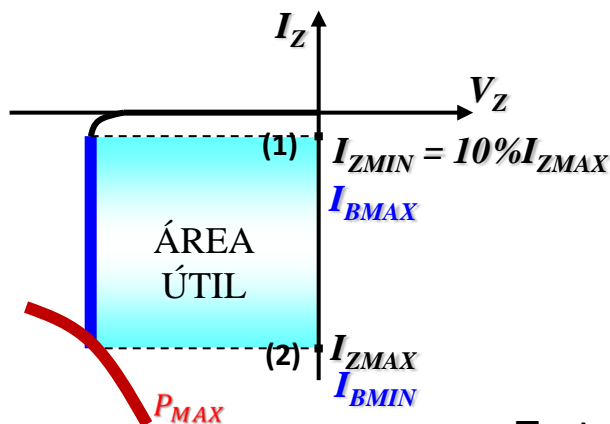


5. Resistor (cont)

- O critério do projeto é manter o zener regulado, ou seja, dentro dos limites:

$I_{R_1} = I_B + I_Z$, uma **soma constante** (um sobe, outro desce e vice-versa!)

Primeiro limite, regulação do zener (1): $I_{R_1} = I_{Bmax} + I_{zmin}$ $I_{R_1} = 25 + 4 = 29mA$



Segundo limite, queima do zener (2):

$$I_{R_1} = I_{Bmin} + I_{zmax} \therefore 29 = 0 + I_{zmax} \therefore I_{zmax} = 29mA$$

Como $29 mA < 40 mA$ (**OK!**)

Projetando R_1 : $R_1 = \frac{V_C - V_Z}{I_{R_1}} = \frac{11,6 - 10}{29m} \approx 55 \Omega$

Comercial logo acima: $R_1 = 56 \Omega$

Teste: $I_{R_1} = \frac{11,6 - 10}{56} = 28,57 mA$ em (1): $28,57 = 25 + I_{zmin}$

$\Rightarrow I_{zmin} = 3,57 mA < 4 mA$ (**não regula!**) Comercial logo abaixo: $R_1 = 51 \Omega$ (5% tol)

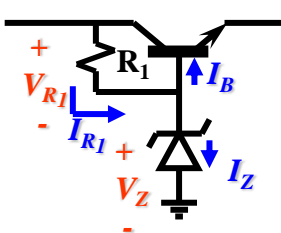
Teste: $I_{R_1} = \frac{1,6}{51} = 31,4 mA$ em (1): $31,4 = 25 + I_{zmin} \Rightarrow I_{zmin} = 6,4 mA$ (**OK!**)

Teste: (2): $31,4 = 0 + I_{zmax} \Rightarrow I_{zmax} = 31,4 mA < 40 mA$ (**OK!**)

Na apostila consideramos resistor mais barato possível, diferente daqui!



Fonte regulada de tensão



5. Resistor (cont2)

Repetindo - Teste: (2): $31,4 = 0 + I_{zmax} \Rightarrow I_{zmax} = 31,4 \text{ mA} < 40 \text{ mA}$ (**OK!**)

Neste ponto aquela escolha de zener (*slide 2-22*) mais barato
fica consolidada

Os resistores comerciais são vendidos em diferentes valores de potência:

... $1/16 \text{ W}$, $1/8 \text{ W}$, $1/4 \text{ W}$, $1/2 \text{ W}$, 1 W , 2 W , 4 W , ...

Quanto maior a potência, mais caro o resistor

$$P_{R1} = \frac{(V_{R1})^2}{R_1} = \frac{(1,6)^2}{51} \approx 0,050 = 50 \text{ mW} < 62,5 \text{ mW} = 1/16 \text{ W}$$

Resistor R_1 projetado: (**51 Ω** ; **$1/16 \text{ W}$**)

Zener projetado: (**10 volts**; **400 mW**)

Este fim de capítulo encerra também o projeto mais básico de uma fonte linear, a fonte regulada de tensão. Uma breve descrição meramente informativa de outras modalidades de fontes de tensão é colocada em anexo para motivar estudos futuros neste que é provavelmente o mais popular dos circuitos eletrônicos \square

