

VII - DISPOSITIVOS OPTOELETRÔNICOS

a) Energia luminosa \rightarrow grandeza elétrica

Dispositivos ativos: fornecem uma tensão/corrente em função da energia luminosa incidente (Ex. Fotodiodos)

Dispositivos passivos: variam sua resistência em função da energia luminosa incidente (Ex. LDR)

b) grandeza elétrica \rightarrow Energia luminosa ou efeito óptico.
(Ex. LED) (Ex. LED)

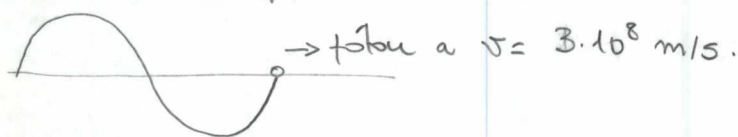
c) Energia luminosa (W)

Composta por pacotes discretos chamados fótons:

$$W = h \cdot f \rightarrow \text{frequência da onda de luz}$$

h Constante de Planck = $6,624 \cdot 10^{-34}$ Joule.s

λ : comprimento de onda

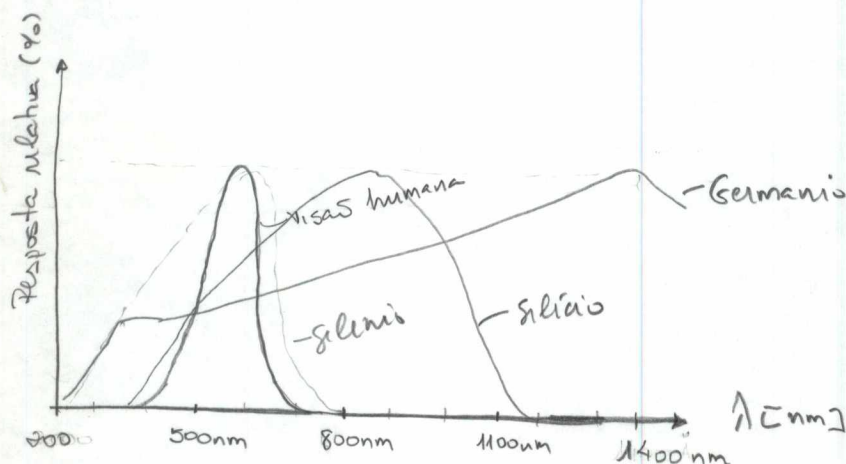


$1/f$ = tempo de um período

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

λ é medido em Angstroms ($1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$)
ou μm ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$)
nm ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$)

d) Espectro de resposta



Usar transparência!

e) Intensidade luminosa

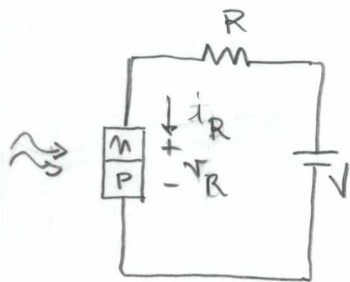
É uma medida do fluxo luminoso incidente em uma área particular de uma superfície.

Fluxo luminoso: Medido em lumens (lm) ou Watts (W)

$$1 \text{ lm} = 1,496 \cdot 10^{-10} \text{ W}$$

Intensidade luminosa: Medido em lm/ft^2 ou W/m^2 $V_R \rightarrow \infty$

1. Fotodiodo



Os fótons incidentes na junção geram pares elétrons-minoritários, que aumentam assim a corrente reversa do fotodiodo.

i_R : Corrente reversa pelo fotodiodo

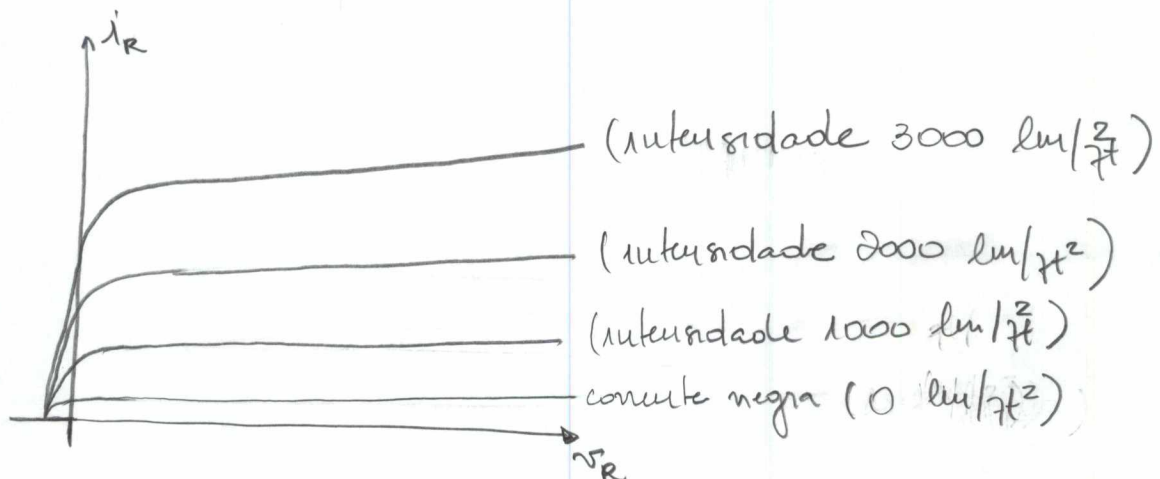
V_R : tensão reversa pelo fotodiodo

$$i_R = i_A + I_s \cdot \underbrace{\left(1 - e^{-V_R/nV_T}\right)}_{\text{termo comumente muito pequeno}}$$

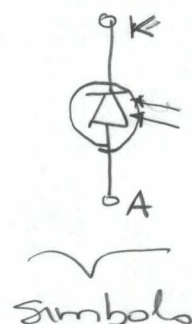
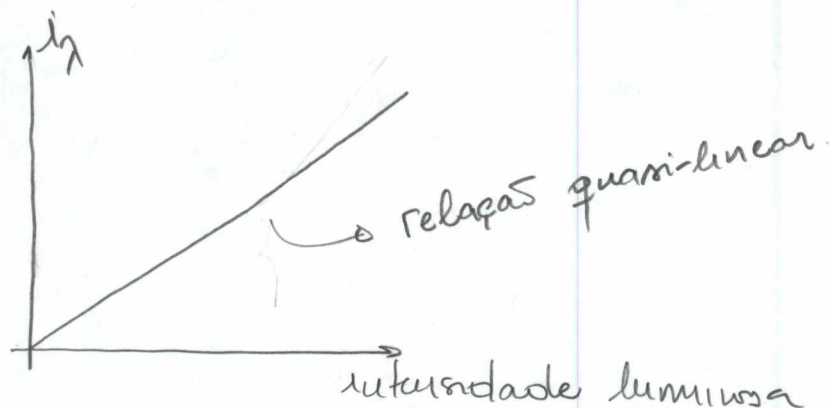
corrente reversa normal dos diodos

Componente devido à incidência da intensidade luminosa na área da junção exposta à luz. i_A é proporcional à intensidade luminosa incidente.

Característica $i_R \times V_R$



Característica $i_\lambda \times$ intensidade luminosa

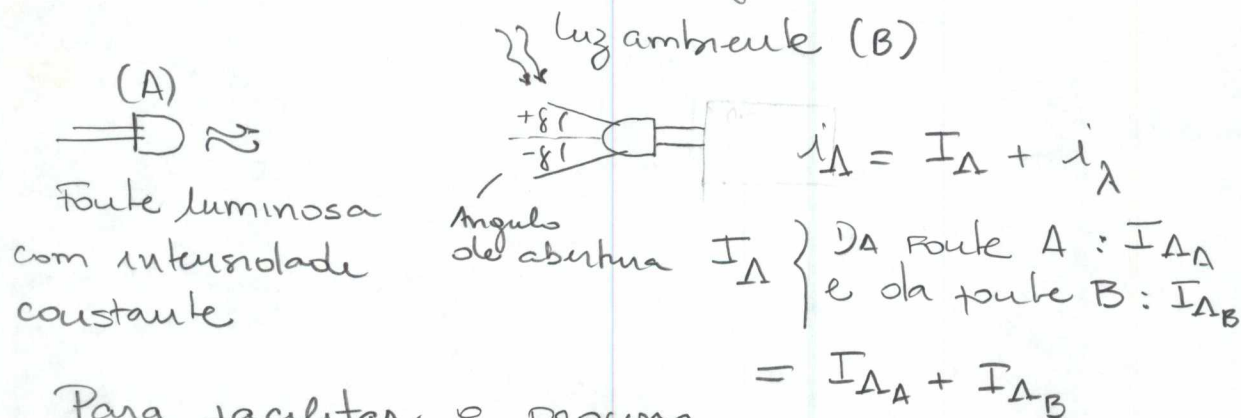


$$i_\Lambda = I_\Lambda + i_\lambda$$

↖ Componente AC
↗ Componente DC

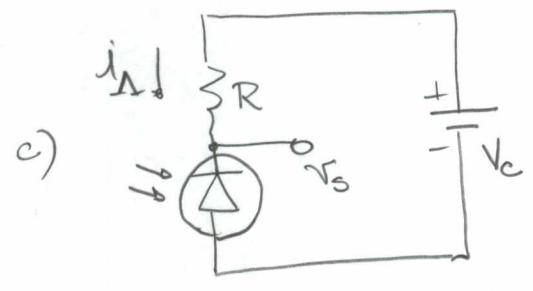
O uso de fotodiodos em circuitos eletrônicos pode ser baseado na medição de grandezas ou detecção de eventos embutidos em I_Λ ou em i_λ . Alguns exemplos são mostrados abaixo:

Exemplo 1. Detecção de passagem



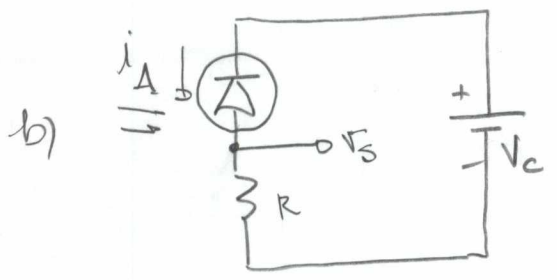
Para facilitar o processo, tentar fazer $I_{\Lambda A} \gg I_{\Lambda B}$. Isso pode ser feito pela colocação de um filtro óptico centrado no comprimento de onda da fonte A, ou (ii) direcionar o máximo do feixe na linha da fonte A, ou (iii) aumentar a intensidade emitida em A.

Circuitos de condicionamento:



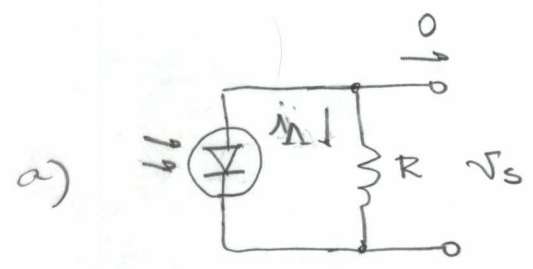
$$v_s = V_c - R \cdot i_A = V_c - R \cdot i_A - R \cdot I_A$$

com $i_A \uparrow \rightarrow v_s \downarrow$



$$v_s = R \cdot i_A$$

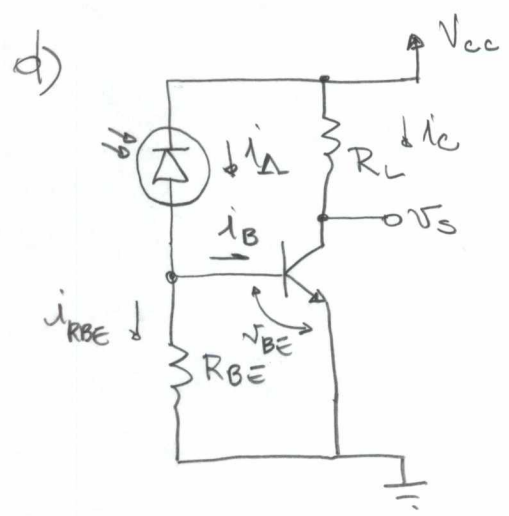
com $i_A \uparrow \rightarrow v_s \uparrow$



$$v_s = R \cdot i_A$$

com $i_A \uparrow \rightarrow v_s \uparrow$

Nestes circuitos, se R for muito grande, I_s tem maior influência na componente DC de v_s . Por outro lado, com R pequeno, temos que v_s varia muito pouco com a intensidade de luz incidente.



Solução 1:

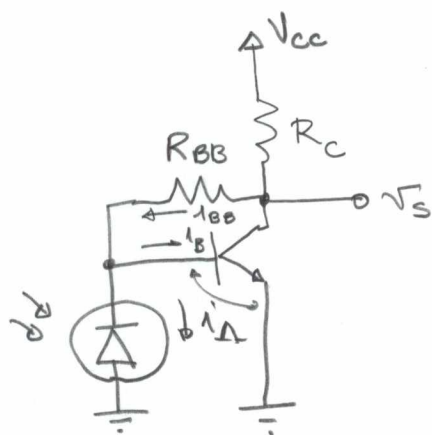
$$\left. \begin{aligned} v_{BE} &= R_{BE} \cdot i_{RBE} \\ i_{RBE} &= i_A - i_B \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{Problema} \\ &\text{de solução} \\ &\text{exata difícil} \end{aligned}$$

$$i_C = \beta \cdot i_B = I_s \cdot \exp(v_{BE}/V_T)$$

Solução 2: Transistor β grande

$$\left. \begin{aligned} \text{se } R_{BE} \cdot i_A &\gg V_{BE} \\ \text{transistor satura: } v_s &= V_{CESAT} \\ \text{se } R_{BE} \cdot i_A &\ll V_{BE} \\ \text{transistor no corte: } v_s &= V_{CC} \end{aligned} \right\}$$

e)



Considerando intensidade constante de luz:

$$i_{\Delta} = I_{\Delta} + I_S \cdot (1 - e^{-V_{\Delta}/nV_T})$$

≈ 0 pois $V_{\Delta} < V_{BE}$ pequeno!

$$I_{BB} = \frac{V_S - V_{BE}}{R_{BB}}$$

Se R_{BB} e R_C foram primeiramente calculadas de forma que $V_S = V_{CESAT}$ quando $i_{\Delta} = 0$ (sem luz),

$$\begin{cases} I_{BB} = I_B = \frac{V_S - V_{BE}}{R_{BB}} & V_S = \\ \frac{V_{CC} - V_S}{R_C} = I_{BB} + \beta \cdot I_B = (\beta + 1) \cdot \frac{(V_S - V_{BE})}{R_{BB}} \end{cases}$$

o) $V_S = V_{CESAT}$:

$$\frac{R_C}{R_{BB}} = \frac{V_{CC} - V_{CESAT}}{(\beta + 1) \cdot (V_{CESAT} - V_{BE})}$$

Melhor condicionando ao escolhemos um $V_{CESAT} = V_{CEmin} > V_{BE}$.

Seu $\beta \in [\beta_{min}, \beta_{max}]$, e usando $\beta = \beta_{max}$

$$\frac{R_C}{R_{BB}} = \frac{V_{CC} - V_{CESAT}}{(\beta_{max} + 1) \cdot (V_{CESAT} - V_{BE})} = \underline{K} \quad (I)$$

Assim, em um lote de transistors, com a equação acima, se define o limiar do transistor entrar na saturação (para o pior caso $\beta = \beta_{max}$). Nos outros casos $\beta \in [\beta_{min}, \beta_{max}]$, o transistor pode estar no corte ou no modo ativo.

Seu i_{Δ} limitado ao intervalo $I_{\Delta} \in [0, I_{\Delta max}]$

temos:

$$V_S = R_{BB} \cdot (\underbrace{I_{\Delta} + I_B}_{I_{BB}}) + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1}{\beta} \cdot \left(\frac{V_{CC} - V_S}{R_C} - (I_{BB}) \right)$$

$\hookrightarrow I_{\Lambda} + I_B$

$$I_B = \frac{V_S - V_{BE}}{R_{BB}} - I_{\Lambda}$$

$\underbrace{\hspace{1cm}}_{I_{BB}}$

Assum:

$$\frac{V_S - V_{BE}}{R_{BB}} - I_{\Lambda} = \frac{1}{\beta} \cdot \left(\frac{V_{CC} - V_S}{R_C} - I_{\Lambda} - \frac{(V_S - V_{BE})}{R_{BB}} + I_{\Lambda} \right)$$

$$\frac{V_S - V_{BE}}{R_{BB}} - I_{\Lambda} = \frac{1}{\beta} \cdot \left(\frac{V_{CC} - V_S}{R_C} - \frac{(V_S - V_{BE})}{R_{BB}} \right)$$

$$V_S - V_{BE} - R_{BB} \cdot I_{\Lambda} = \frac{R_{BB}}{\beta} \cdot \left(\frac{(V_{CC} - V_S) \cdot R_{BB} + (V_{BE} - V_S) \cdot R_C}{R_C \cdot R_{BB}} \right)$$

$$V_S \cdot \left(\beta \cdot R_C + \frac{R_{BB}}{R_C} + 1 \right) = V_{BE} + R_{BB} \cdot I_{\Lambda} + \frac{1}{\beta} \cdot \left(\frac{V_{CC} \cdot R_{BB} + V_{BE}}{R_C} \right)$$

$$V_S = \frac{1}{\left(\beta R_C + \frac{R_{BB}}{R_C} + 1 \right)} \cdot \left\{ V_{BE} + R_{BB} \cdot I_{\Lambda} + \frac{1}{\beta} \cdot \left(\frac{V_{CC} \cdot R_{BB} + V_{BE}}{R_C} \right) \right\}$$

$$\text{II} \quad \left\{ V_S = \frac{1}{(\beta R_C + K + 1)} \cdot \left\{ V_{BE} + R_{BB} \cdot I_{\Lambda} + \frac{1}{\beta} \cdot (V_{CC} \cdot K + V_{BE}) \right\} \right\}$$

Para o transistor cortar, determina-se R_C e R_{BB} de forma que ^{chegar-se ao limite} $V_S = V_{CC}$ quando $I_{\Lambda} = I_{\Lambda \max}$ e $\beta = \beta_{\min}$

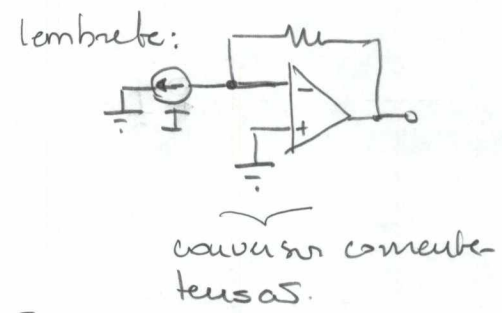
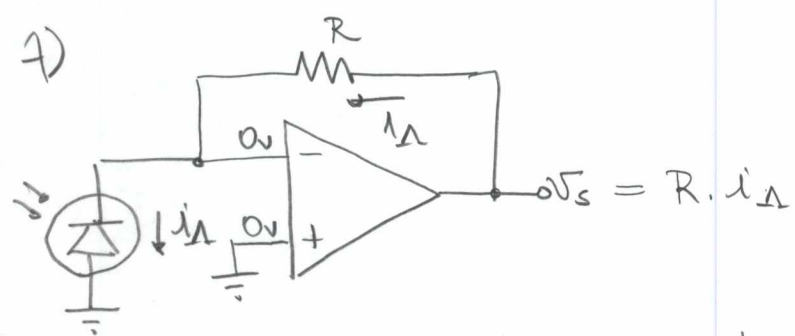
$$V_{CC} = \frac{1}{(\beta_{\min} \cdot R_C + K + 1)} \cdot \left\{ V_{BE} + R_{BB} \cdot I_{\Lambda \max} + \frac{1}{\beta_{\min}} \cdot (V_{CC} \cdot K + V_{BE}) \right\}$$

$$\beta_{\min} \cdot R_C + K + 1 - \frac{R_{BB} \cdot I_{\Lambda \max}}{V_{CC}} = \frac{1}{V_{CC}} \cdot \left\{ V_{BE} + \frac{1}{\beta_{\min}} \cdot (V_{CC} \cdot K + V_{BE}) \right\}$$

$$\text{III} \quad \left\{ \beta_{\min} \cdot R_C - \frac{I_{\Lambda \max} \cdot R_{BB}}{V_{CC}} = - (1 + K) \cdot \frac{1}{V_{CC}} \cdot \left(V_{BE} + \frac{1}{\beta_{\min}} \cdot (V_{CC} \cdot K + V_{BE}) \right) \right\}$$

Usando (I) e (III), encontra-se R_c e R_{BB} de forma que o transistor opere na região linear. A saída V_s apresenta um valor mínimo V_{smin} e cresce com I_A a uma proporção dada por

$$\left| \frac{R_{BB}}{\beta \cdot R_c + K + 1} \right|$$



Com este circuito, o fotodiodo estará com uma tensão reversa $V_A = 0$, fazendo com que

$$i_A = i_{\gamma} + I_{\Lambda} + I_s \cdot (1 - e^{-V_A/nV_T})$$

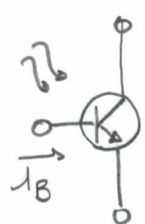
$\underbrace{\hspace{10em}}_{=0 \text{ pois } V_A = 0.}$

Este circuito deve ser revisado quando for utilizado amplificador operacional, pois não temos compensação de correntes de entrada e, com i_A muito pequeno V_s pode estar abaixo da tensão de saturação baixa do operacional.

Pois

2. Fototransistor

Exemplo comercial: TL181.



$i_C \cong \beta \cdot (i_B + i_\Delta)$

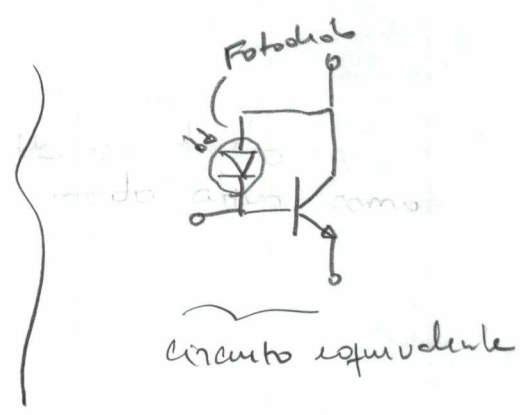
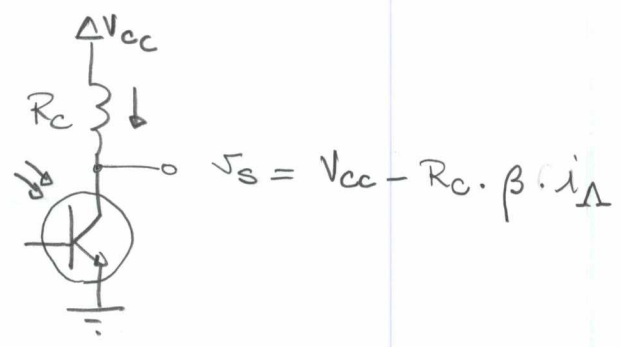
↳ descomute da incidência de luz.

$= I_S \cdot \exp(V_{BE}/V_T)$

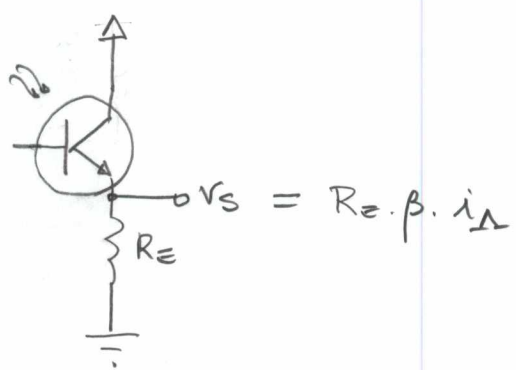
↳ Com uma corrente i_C ou uma tensão V_{BE} aparece!

Circuitos de condicionamento

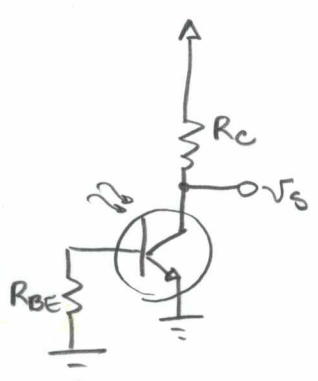
a) Emissor comum



b) Coletor comum

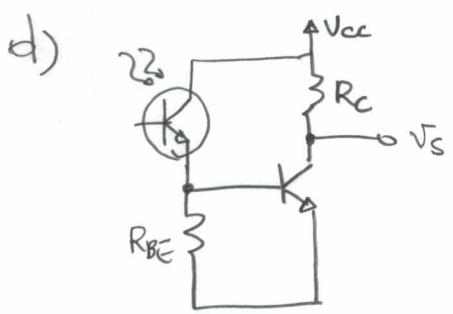


c) Com resistor na base

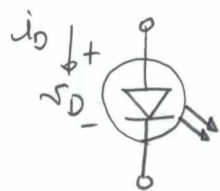


Com R_{BE} (Geralmente R_{BE} muito grande), previne-se que uma pequena corrente i_Δ faça o transistor saturar.

Circuito geralmente usado quando se quer uma saída digital.



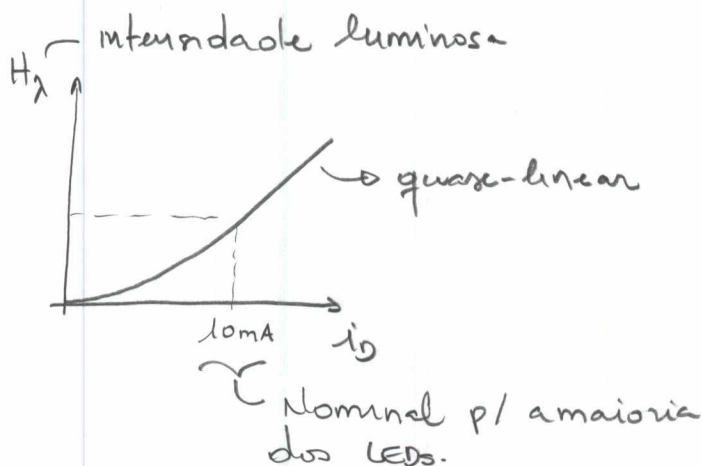
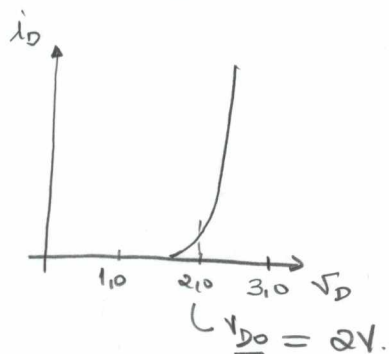
3. O modo emissor de luz (LED)



Quando ^{uma junção p-n} polarizada diretamente, existe próximo à junção a recombinação elétron-lacunas. Essa recombinação resulta na liberação de energia; parte sob forma de calor, parte sob forma de fótons.

No Si e Ge, a maior parte da energia emitida é na forma de calor. Em outros materiais, boa parte da energia é emitida na forma de fótons, tais como o GaAsP (Arsenieto de Gálio) e o GaP (Fosfeto de gálio). Esses materiais apresentam um bandgap maior que o Si e o Ge.

Curvas características:



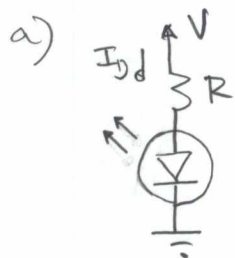
Coras:

Vermelho, amarelo, verde, infravermelho, azul (muito raro)

Tamanhos:

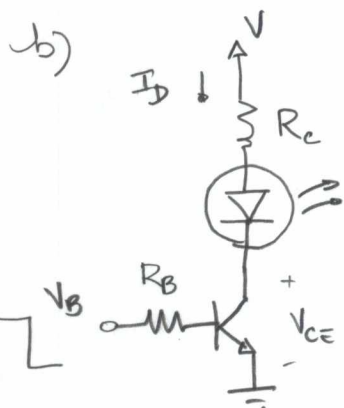
3mm e 5mm (mais comuns), 10mm (grosso)
 $\underbrace{10mA} \quad \underbrace{15mA} \rightarrow$ correntes de iluminação nominais.

Circuitos:



Para se ter $I_D = 10mA$ com $V_{D0} = 2V$

$$R = \frac{V - V_{D0}}{I_D}$$



$$I_D = \frac{V - V_{DO} - V_{CE}}{R_C}$$

c/ o transistor saturado: $V_{CE} = V_{CE\text{SAT}}$

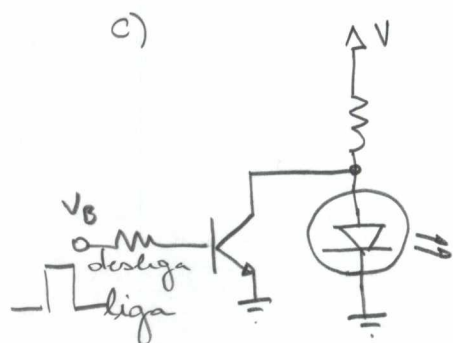
$$R_C = \frac{V - V_{DO} - V_{CE\text{SAT}}}{I_{D \text{ nominal } 10\text{mA}}}$$

e/ o transistor saturado ($V_B = 5\text{V}$):

$$I_D = 10\text{mA} = \beta \cdot \frac{V_B - V_{BE}}{R_B}$$

sendo $\beta \in [\beta_{\min}, \beta_{\max}]$, é melhor escolher R_B

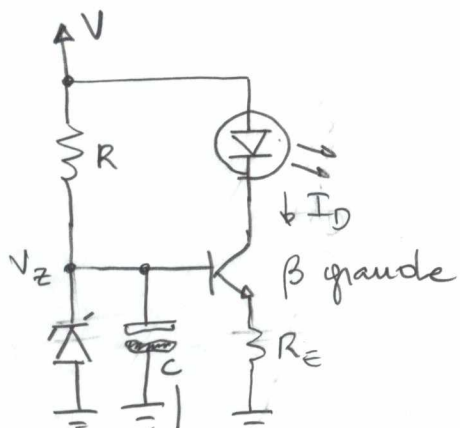
$$R_B = \beta_{\min} \cdot \frac{(V_B - V_{BE})}{I_D} \}$$



led ligado: $V_B = 0\text{V}$

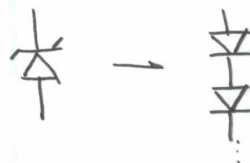
" desligado: $V_B = 5\text{V}$

d) corrente constante (menos sensível a variações na tensão V)

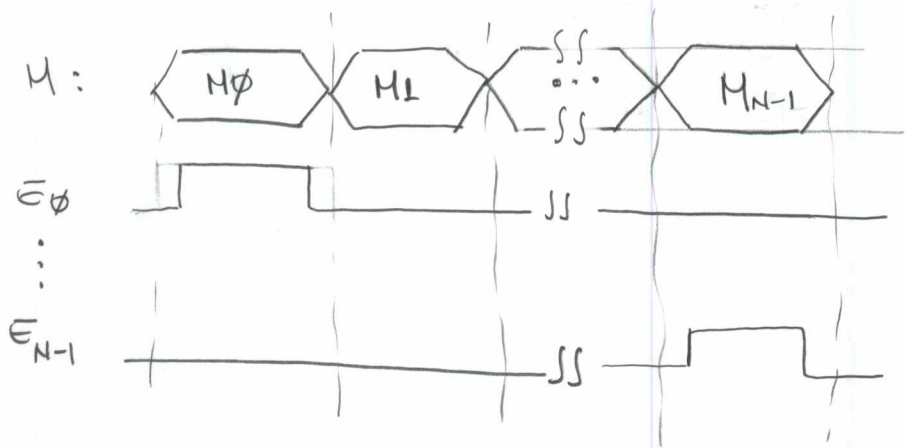


$$I_D \approx \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E}$$

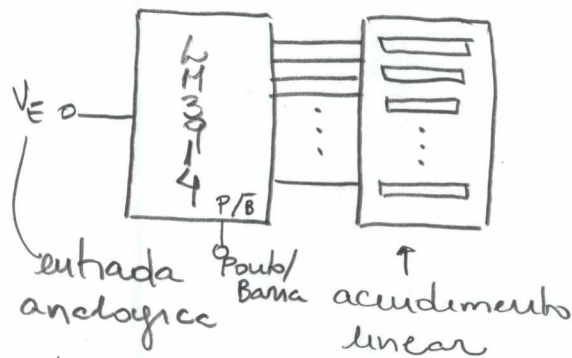
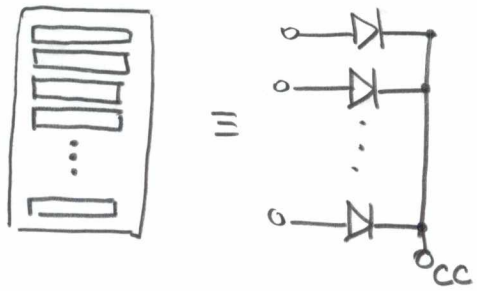
ou ainda:



P/ maior estabilidade

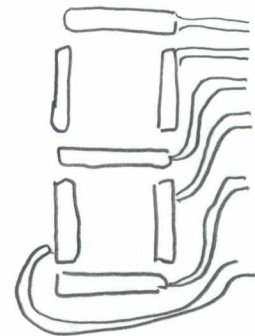
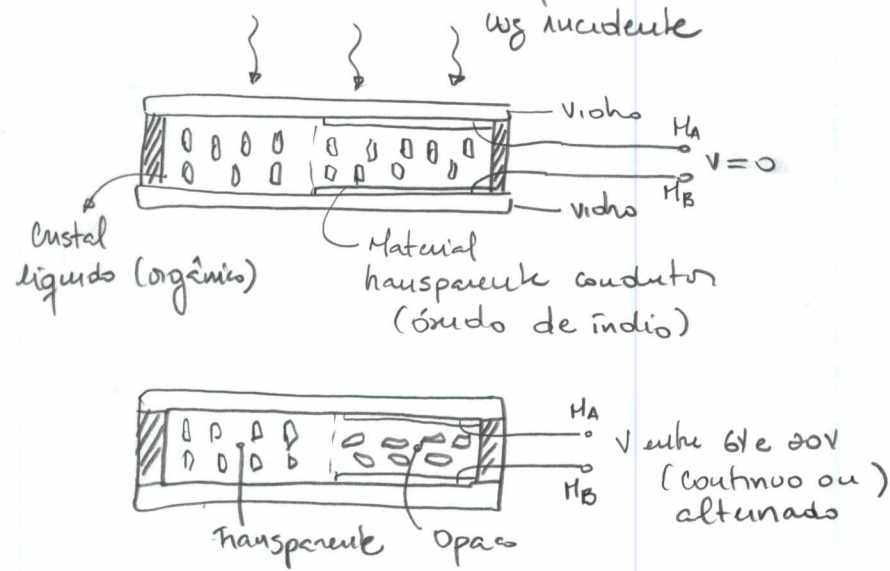


c) Bargraph

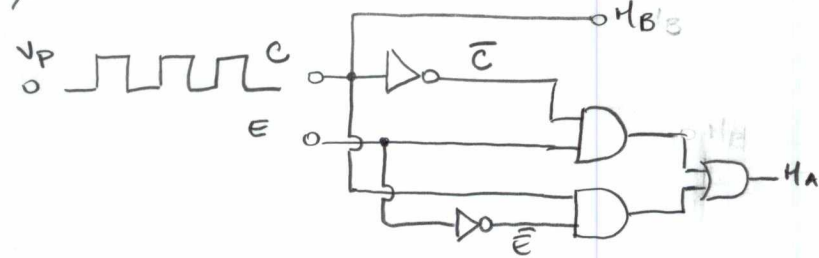


LM3915: Acudimento proporcional a $\log(V_E)$. } Decibéis }

4. Display de cristal líquido

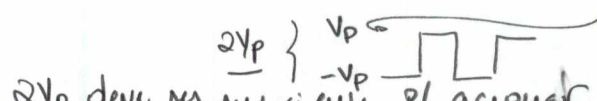


Em sistemas de baixa tensões:

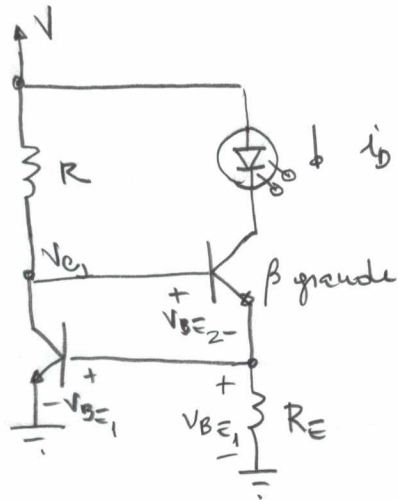


q $E=0$:
 $H_A = C = H_B \therefore H_A - H_B = 0$

q $E=1$
 $H_A = \bar{C} \therefore H_A - H_B = \pm V_P$



e) corrente constante e malimentação

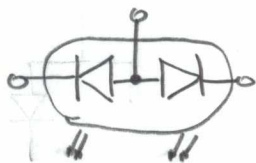


$$I_B \approx \frac{V_{BE1}}{R_E}$$

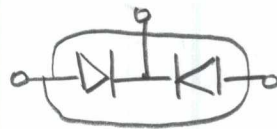
Se I_B diminuir, V_{BE1} diminui, e V_{BE2} aumenta, aumentando assim I_D .

3.1. Dispositivos derivados

a) LED Bicolor

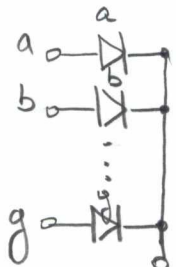


anodo comum

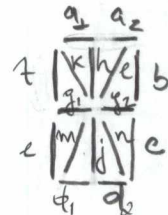


anodo comum

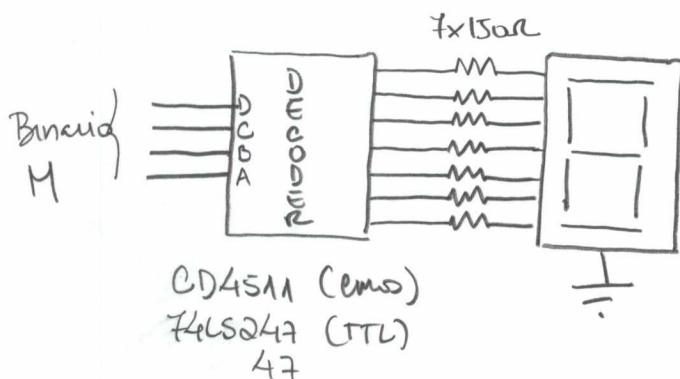
b) Display de 7 ou mais segmentos



cc (catodo comum)



técnicas de acionamento:



CD4511 (CMOS)
74LS247 (TTL)
47

linhas multiplexadas

