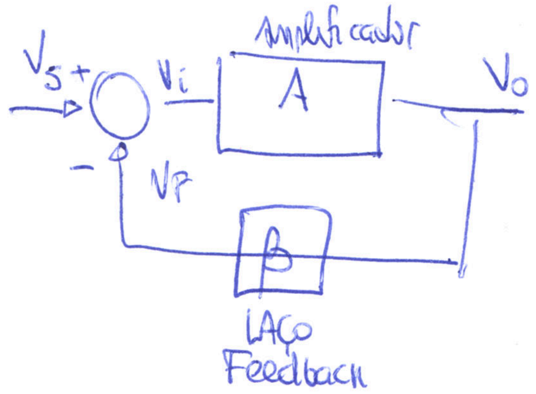
Realimentação - Feedback



$V_i \rightarrow$ tensão que alimenta amplificador
$V_o \rightarrow$ tensão saída do sistema
β: laço realimentação (—/\/\/— p/ ex.)

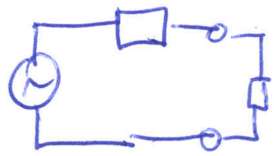
$V_i = V_s - V_f$ e $V_o = A V_i$;

$V_o = A[V_s - V_f] = A[V_s - \beta V_o]$

$V_o = A V_s - A\beta V_o \rightarrow \boxed{\dfrac{V_o}{V_s} = \dfrac{A}{1 + A\beta}}$

Ganho s/ feedback $\rightarrow A$
Ganho c/ feedback $\rightarrow A/(1 + A\beta)$ ⇨ Ganho reduzido! mas...

\# Aumenta Z_{IN}

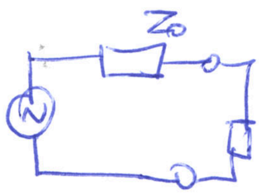


Z_{IN} ideal : Z_{IN} ↑ possível

\# Estabiliza AV : qualquer Vs dá o mesmo ganho
temperatura ñ mexe com valor AV

\# Melhora resposta em frequencia : + plana a resposta

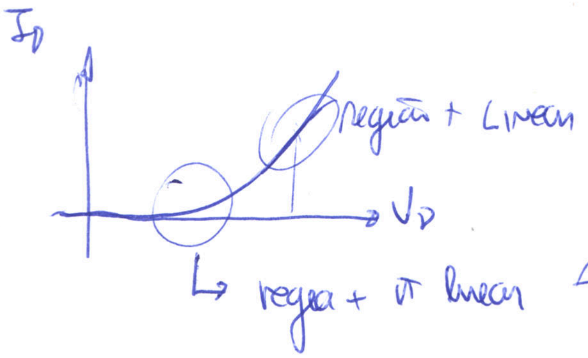
\# reduz Z_o

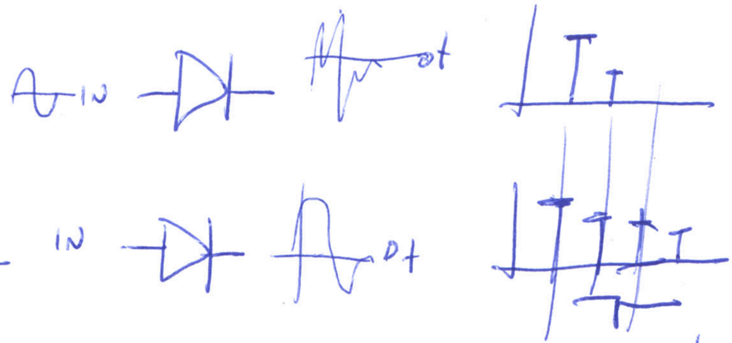


ideal Z_o ↓ p/ que a queda no resistor seja + baixa possível

\# Reduz ruído

\# Lineariza a resposta : ñ linearidades dispositivo introduzem distorções (i.e. frequencias "filhote")





geração harmônica

Tipos Feedback

- # voltage series (tensão serie)
- # voltage shunt (tensão paralelo)
- # current series (corrente série)
- # current shunt (corrente paralelo)

obs Compara : IN (na entrada)
amostra : OUT (na saída)

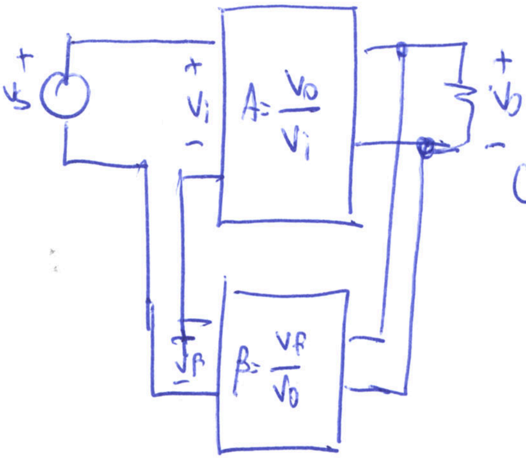
tendências gerais

- Feedback serie → Z_i feedback ↑
- Feedback paralelo/shunt) Z_i feedback ↓

- Voltage feedback → Z_o ↓
- current feedback → Z_o ↑

voltage series

$\beta = \frac{\text{Compara}^{\text{o que}}}{\text{o que amostra}}$



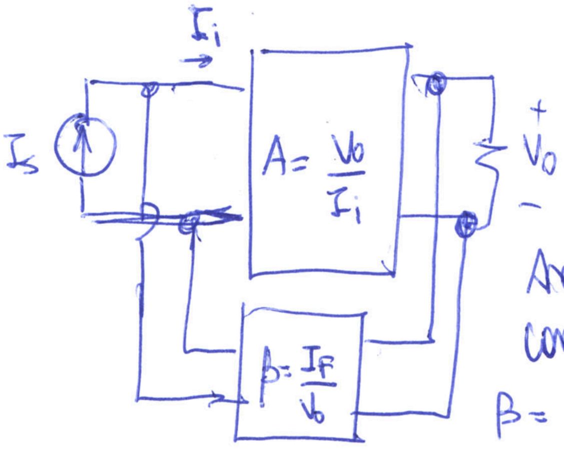
Amostra : V
Compara : V
logo $\beta = \frac{V_F}{V_0}$

Importante
identificar quem amostra quem compara

só o β sozinho informa muita coisa!

Voltage shunt

há nó!
compara corrente!

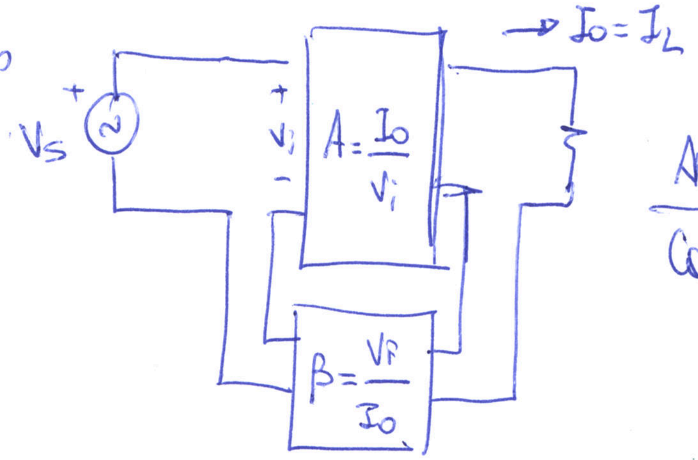


Amostra V
compara : I
$\beta = I_F / V_o$

Feedback 2

Current Series

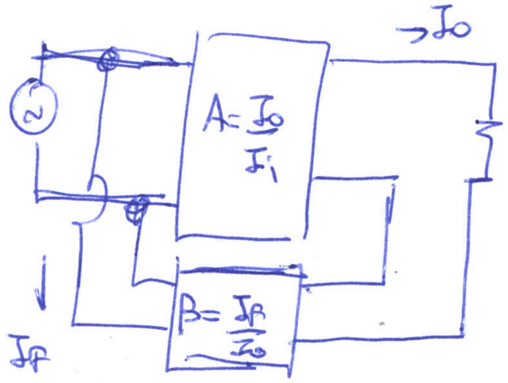
Não compara



Amostra I

Compara V

Current shunt



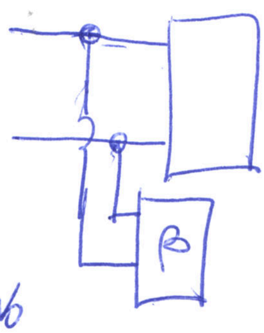
Amostra I

Compara I

TABELA

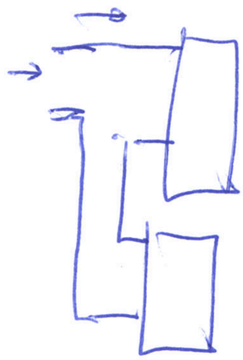
	voltage serie TENSÃO SÉRIE	corr. series CORR. SÉRIE	voltage shunt TENSÃO paralelo	corr. shunt Corr. paralelo
Z_{iF}	$Z_i[1+\beta A]$	$Z_i[1+\beta A]$	$Z_i/(1+\beta A)$	$Z_i/(1+\beta A)$
Z_{oF}	$Z_o/(1+\beta A)$	$Z_o[1+\beta A]$	$Z_o/(1+\beta A)$	$Z_o(1+\beta A)$

quando Comparo I



Estou pendurando um negócio extra na entrada, drenando + corrente, logo $Z_i \downarrow$ (ruim)

quando Comparo V



ponho um negócio em série com o amplif. assim diminuindo a impedância

quando amostro I: $Z_o \uparrow$ pois coloco outro negócio em série

qdo. amostro V: $Z_o \downarrow$ pois ponho rede feedback em // !

Feedback - 3

Exemplo: Ache o ganho de tensão, Zif e Zof de um ckt de realimentação tensão serie com $A = -100$, $Ro = 20\,K$ e $\beta = -0.1$ e $\beta = -0.5$. $Ri = 10K$

(a) para $\beta = -0.1$ (realim "+ fraca")

$$A_f = \frac{A}{1+\beta A} = \frac{-100}{1-100(-0.1)} = \frac{-100}{11} = -9.09$$

$$Z_{if} = Z_i\,[1+\beta A] = 10k\,[1+100(0.1)] = 110k$$

$$Z_{of} = \frac{Z_o}{1+\beta A} = \frac{20\,K}{1+(-100)(-0.1)} = 1.82k$$

βA sempre > 0 nosses casos! observe

(b) $\beta = -0.5$ (realim + forte)

$$A_f = \frac{A}{1+\beta A} = \frac{-100}{1-(100)(-0.5)}$$

$$A_f = -1.96$$

$$Z_{if} = 10k\,[1+100(0.5)] = 510k$$

$$Z_{of} = \frac{20k}{1+(100)(0.5)} = 392.16\,\Omega$$

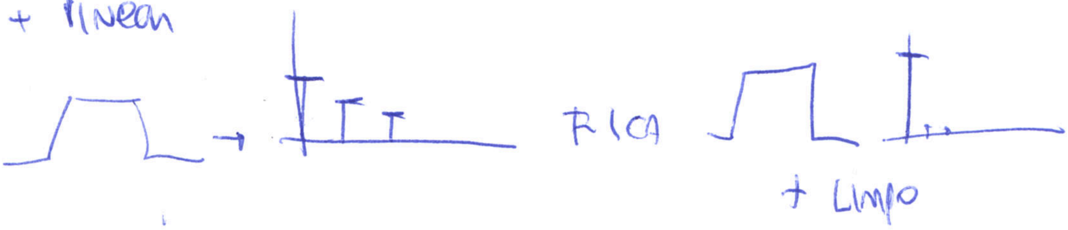
Redução distorção em frequência (muito importante)

se $\beta A \gg 1$ $(A \gg 1)$

$$A_f = \frac{A}{1+\beta A} = \frac{A}{\beta A} \simeq \frac{1}{\beta}$$

β em geral depende só de R, independe de frequencia. Assim ganho independe do ckt ativo, posso trocar o R's e A_f permanece inalterado!

mesmo se aplica a redução ruído e distorção não linear se torna + linear → ruido Schottky (portadores se chocando),

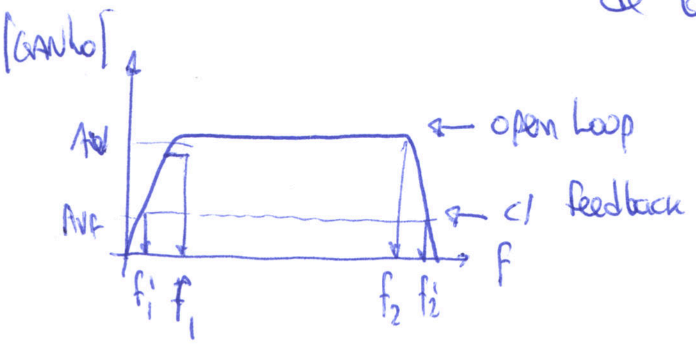


Feedback - 4

EFEITO NA BANDA PASSANTE!

$A_f \cong \frac{1}{\beta}$ se $A\beta >> 1$

MAS quem amplifica é o A, logo os pólos de alta / do β permanecem bem como de baixa (cap. externos!)



Banda s/ feedback ($f_1 - f_2$)

Banda c/ feedback ($f_1' - f_2'$) MAIOR

MAS ganho cai c/ feedback

produto GAIN-BANDWIDTH (GBW) é CONSTANTE!

ESTABILIDADE DE GANHO

$$\left| \frac{dA_{vf}}{dA_v} \right| = \frac{1}{|1+\beta A|} \cdot \frac{dA}{A} \simeq \frac{1}{\beta A} \frac{dA}{A} \quad \text{se } \beta A >> 1$$

p/ exemplo: mudo o ganho do amplificador; de quanto muda o ganho total realimentado?

⇒ a mudança do ganho do amplificador é ÷ pelo fator βA! Logo seu efeito global realimentado é bem menor

Exemplo: Amplificador $A = -1000$ e $\beta = -0.1$. Seu ganho A varia 20% devido à temperatura, quanto varia o ganho global realimentado?

$$\left| \frac{dA_f}{A_f} \right| \simeq \left| \frac{1}{\beta A} \right| \left| \frac{dA}{A} \right| = \frac{1}{|1000 \cdot 0.1|} \cdot 20\% = 0.2\% \;!$$

Feedback-5

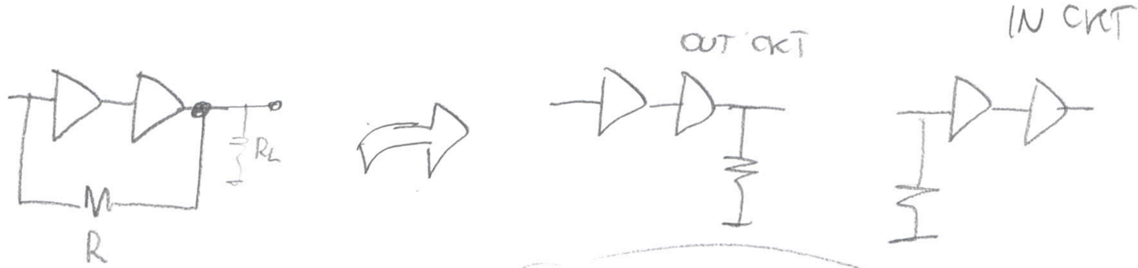
Sedra - Smith
Pedroni, ckts. eletronicos

⇨ ELIMINA FEEDBACK LOOP P/ FICAR + SIMPLES (COMO MILLER!)

Para aplicar nos circuitos precisa identificar o tipo amostra e comparação.

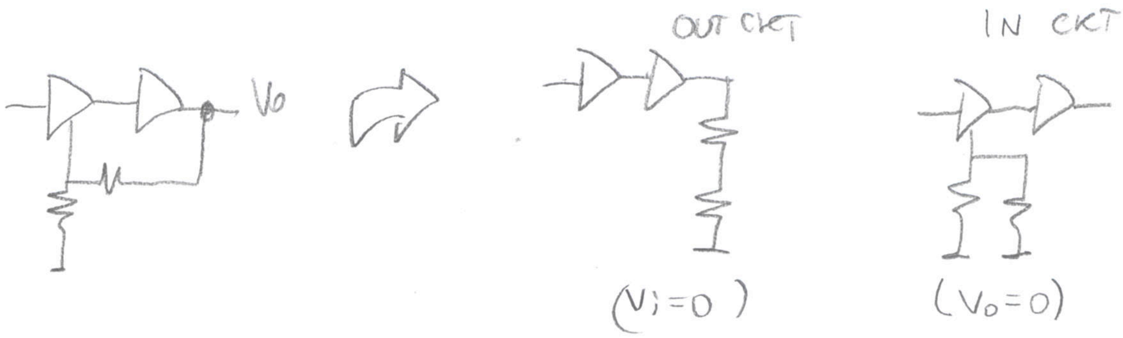
no ckt. entrada	Amostra tensão? → $V_o = 0$ Amostra I? → $I_o = 0$
no ckt. saída	Compara I? → $V_i = 0$ Compara V? → $I_i = 0$

Exemplo:



Amostra V
Compara V̸ I

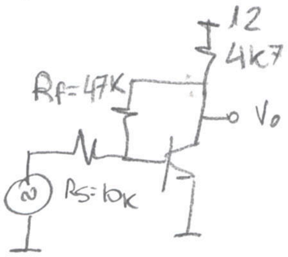
= EFEITO MILLER!



Amostra V
Compara V

OU SEJA: ELIMINO FEEDBACK E AO MESMO TEMPO MANTENHO EFEITOS LOADING. COMO ENTRA A REALIMENTAÇÃO? VIA EQ. $1/1+\beta A$!

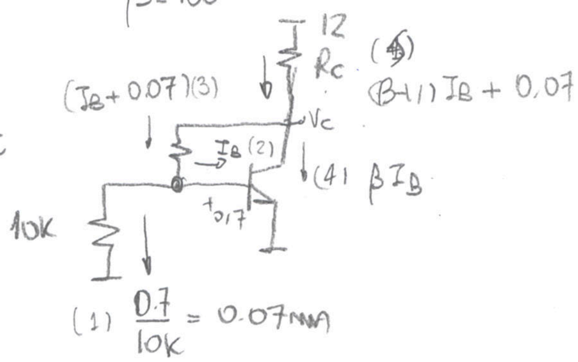
Exemplo
S.S. 83



Amostra V
Compara I (chega num nó)

$\beta = 100$

ANALISE DC

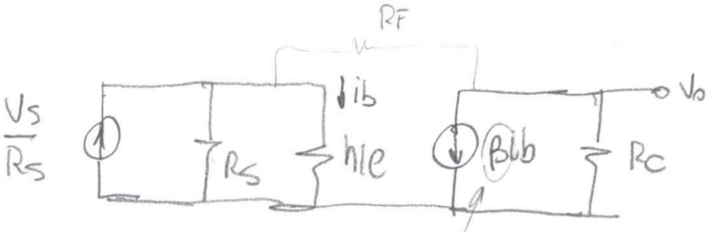


$$V_C = 0.7 + (I_B + 0.07)\,47 = 3.99 + 47 I_B$$

$$\frac{12 - V_C}{4.7} = (\beta + 1)\, I_B + 0.07$$

Resolve e acha $I_B = 0.015$ mA
$I_C = 1.5$ mA
$V_C = 4.7$ V

Como comparo I (na entrada) excitação precisa ser transformada em fte. Corrente !

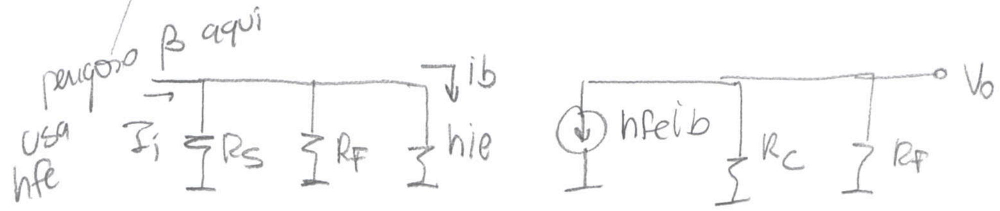


Amostro V → FAZ $V_o = 0$

Compara I → FAZ $V_i = 0$

obs $hie = \beta r_e$

$\beta = hfe$



Amostra V
Compara I → $\beta = \frac{\text{compara}}{\text{amostra}} = \frac{I_f}{V_o}$

Como $A\beta$ = n° s/ unidade

$A = \frac{V_o}{I_i}$!

$$hie = \beta r_e = 100 \frac{V_T}{I_{eq}} = 100 \cdot \frac{26}{1{,}5} = 1733\Omega \quad \therefore \quad V_o = -hfe\, ib\, [Rc // RF]$$

↳ preciso escrevê-lo como função I_i ! p/ chegar V_o/I_i

$$I_i = \frac{ib\, hie}{[hie // Rs // RF]}$$

Logo $A = \frac{V_o}{I_i} = \frac{-hfe\, ib\, [Rc//RF]}{\frac{ib\,[hie]}{[hie//Rs//RF]}} = -\frac{hfe}{hie}[Rc//RF][hie//Rs//RF]$

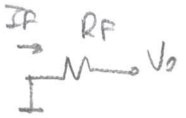
$$A = -\frac{100}{1733}[4K2][1K42] = -3.44E5$$

→ obs: sem feedback open loop !

R_i = resistencia entrada = $Rs // RF // hie$ = 1K42
(s/ feedback)

R_o = resistencia saida = $Rc // Rf$ = 4K2
(s/ feedback)

$\beta = ? \rightarrow \beta = \frac{I_F}{V_o}\Big|_{V_i=0}$



$\beta = -\frac{1}{R_F} = \frac{-1}{47k}$

Duvida qto sinal? veja diagrama em blocos no livro ou considera $\beta A > 0$ sempre.

Agora considera o efeito do feedback (closed loop)

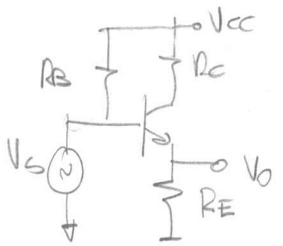
$$A_f = \frac{V_o}{I_s} = \frac{A}{1+A\beta} = \frac{-3.44E5}{1+\frac{1}{47k}\,3.44E5} = -41.3E3 \ V/A$$

Se eu quiser $\frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{I_s . R_s} = \frac{-41.3E3}{10E3} = -4.13 \ V/V$

$R_{if} = \frac{R_i}{(1+A\beta)} = \frac{1.42}{8.63} = 162.2$

$R_{of} = \frac{R_o}{1+A\beta} = \frac{4.2}{8,63} = 495\Omega$

Coletor Comum



Amostra V
Compara V

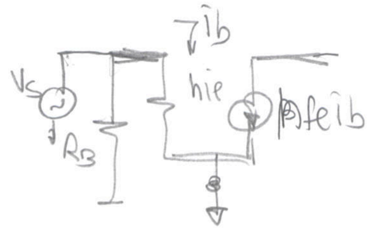
⇒ CKT IN: V=0

CKT OUT: Ii=0

$\beta = \frac{V_f}{V_o}$

$V_o = V_f$ logo $\beta = 1$

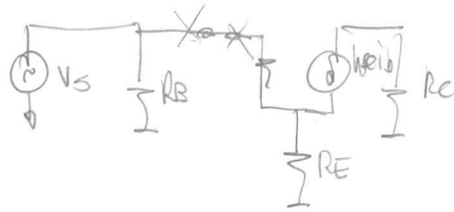
CKT IN



$i_b = \frac{V_s}{h_{ie}}$

CKT OUT:

CORTA AQUI

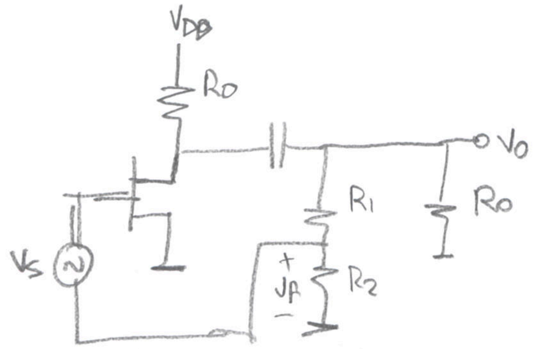


$V_o = h_{fe} i_b R_E$

logo $A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{h_{fe} i_b R_E}{i_b . h_{ie}} = \frac{h_{fe} R_E}{h_{ie}}$ (s/ feedback)

(c/ feedback) $A_f = \frac{V_o}{V_s} = \frac{\frac{h_{fe} R_E}{h_{ie}}}{1 + \frac{h_{fe} R_E}{h_{ie}}} = \frac{h_{fe} R_E}{h_{ie} + h_{fe} R_E}$

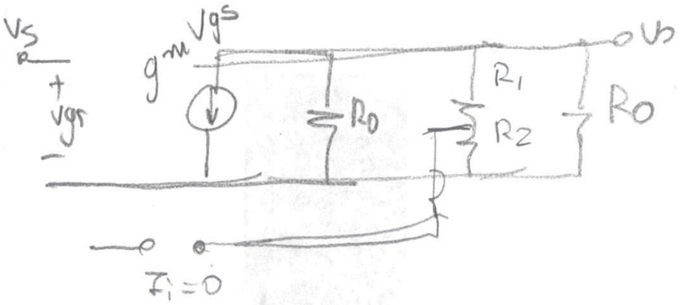
$\frac{A}{1+\beta A}$



- Amostra tensão (pega bem o Vo, como voltímetro)
- compara tensão (ñ chega em nós)

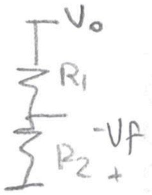
$\beta = \frac{V}{V}$ e $A = \frac{V}{V}$

Amostra tensão → Vo=0 no ckt IN
compara tensão → $I_i = 0$ no ck OUT



$V_i = V_s \rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -g_m R_L \quad R_L = R_D // (R_1 + R_2) // R_o$

β =>
(tem que ser negativo pois A<0)



$V_f = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_o \rightarrow \frac{V_f}{V_o} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2}$

Juntando via eq. Black :

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A} = \frac{-g_m R_L}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} R_L g_m} = \frac{-g_m R_L (R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2 + R_L g_m)}$$

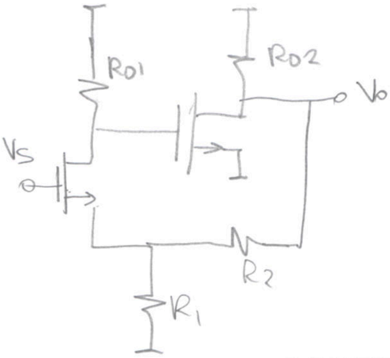
Exemplo se $R_1 = 80k$, $R_2 = 20k$, $R_o = 10k = R_D$ e $g_m = 4000\ \mu S$

$R_L \cong \frac{R_o R_D}{R_o + R_D} = 5K$ ignora $R_1 + R_2$ Bem grande

$A = -g_m R_L = -4E-3 \cdot 5K = -20 \qquad \beta = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{-20}{100} = -0{,}2$

$$A_f = \frac{A}{1 + \beta A} = -4$$

laço aberto (open loop) s/ feedback → $A = -20$
c/ feedback (closed loop) → $A_f = -4$



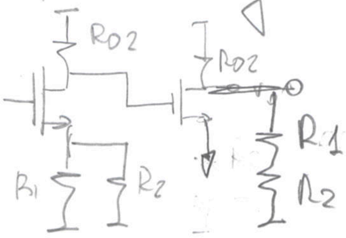
amostra: V
compara: V

⇨ $\beta = \frac{V_f}{V_o}$ ⇨ amostra V → INPUT $V_o = 0$
compara V → OUTPUT $I_i = 0$

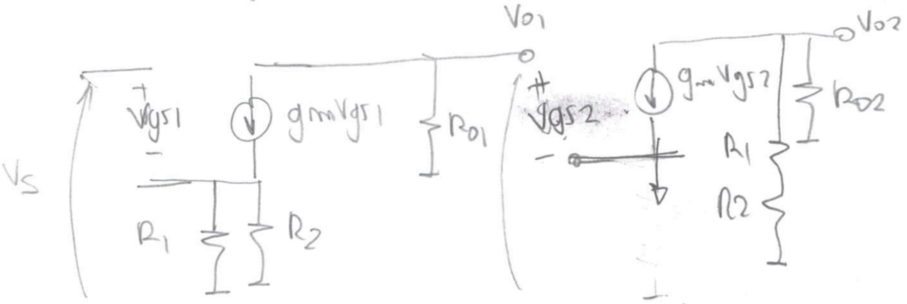
$A = \frac{V_o}{V_s}$

$g_{m1} = g_{m2} = 4\,mA/V$ $R_{o1} = R_{o2} = 10K$ $R_1 = 1K \quad R_2 = 9K$ Ache A_{vf}

efeito Loading



Small signal



stage #1 $\quad V_s = V_{gs1} + g_m V_{gs1}(R_1 // R_2) = V_{gs1}[1 + g_m(R_1 // R_2)]$

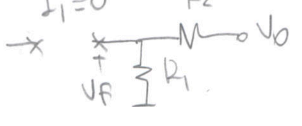
$$V_{gs1} = V_s / [1 + g_m(R_1 // R_2)]$$

$$V_{o1} = -g_m V_{gs1} \cdot R_{o1} = \frac{-g_m R_{o1} \cdot V_s}{[1 + g_m(R_1 // R_2)]} \rightarrow A_{v1} = \frac{-g_m R_{o1}}{[1 + g_m(R_1 // R_2)]}$$

Stage #2 $\quad V_{o2} = -g_m V_{o1} \cdot R_{o2} // (R_1 + R_2)$

$$\frac{V_{o2}}{V_{o1}} = -g_m R_{o2} // (R_1 + R_2)$$

$$A_T = \frac{V_{o2}}{V_{o1}} \cdot \frac{V_{o1}}{V_s} = \frac{g_m R_{o2}}{1 + g_m(R_1 + R_2)} \left[g_m R_{o2} // (R_1 + R_2)\right] = 173.9\ V/V$$

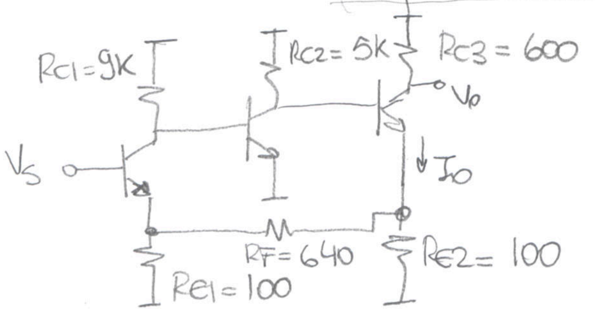


$$V_f = V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} \rightarrow \beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0.1$$

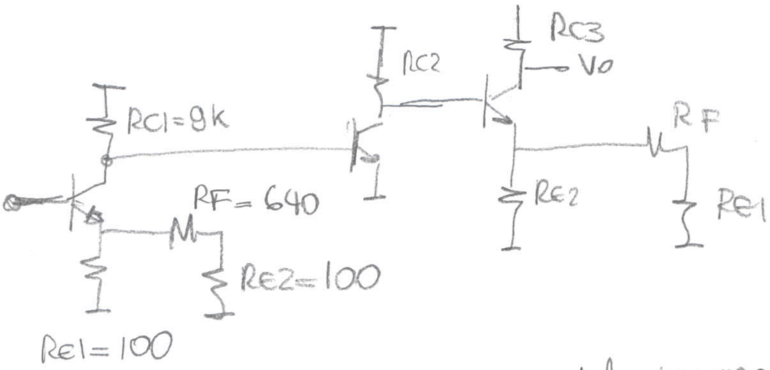
⇨ $\frac{V_o}{V_s} = A_f = \frac{A}{1 + A\beta} = 9.5\ V/V$

Chip MC1553 [high frequency video amplifier BW = 35 MHz]

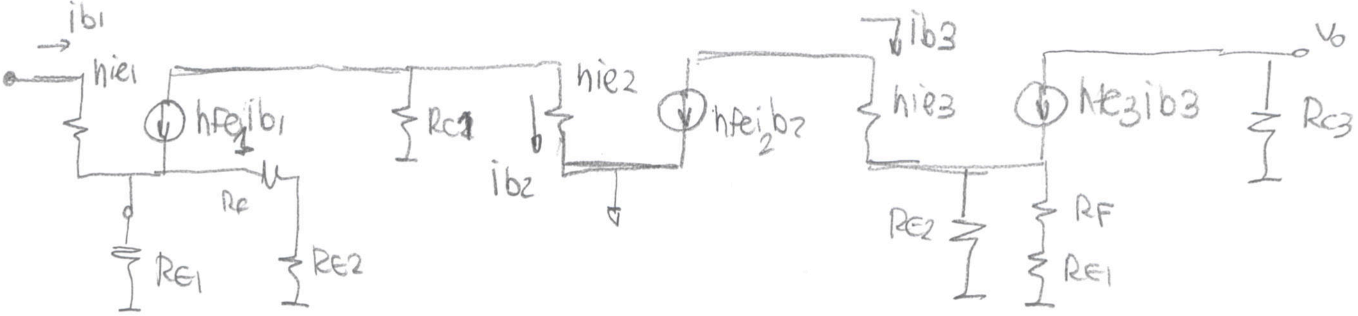
significado sinal video
amplifica DC ? s/ capacitores



Compara tensão → FAZ $I_i = 0$ p/ CKT OUTPUT
amostra corrente → FAZ $I_o = 0$ p/ CKT INPUT



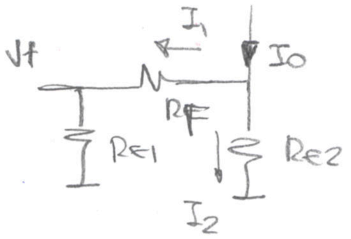
montando modelo pequenos sinais



sai → $A_F = \frac{I_o}{V_s} = 20.7$ A/V

3 estagios emissor comum em cascata → A alto!

$\beta = \frac{\text{comparo}}{\text{amostro}} = \frac{V_F}{I_o}\Big|_{I_i=0}$



$I_1 = I_o \frac{R_{E2}}{R_{E1} + R_{E2} + R_F}$

$V_F = I_1 R_{E1} = I_o \frac{R_{E1} R_{E2}}{R_{E1} + R_{E2} + R_F}$

$\beta = \frac{V_F}{I_o} = \frac{R_{E1} R_{E2}}{R_{E1} + R_{E2} + R_F} = 11.9$

$A_F = \frac{I_o}{V_s} = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{20.7}{1 + 20.7\,(11.9)} = 83.7$ mA ✓

$\frac{1}{\beta} \approx 84.0$ mA/V !!

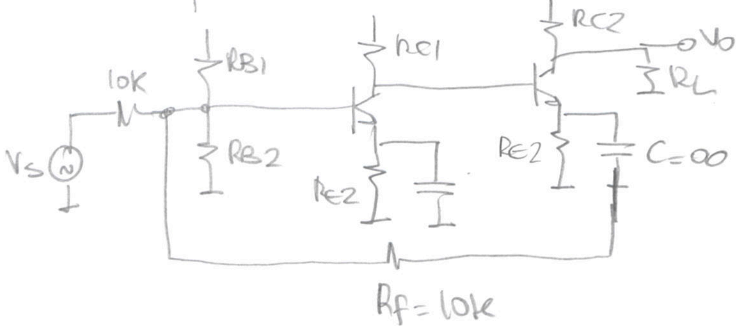
$\frac{V_o}{V_s} = -\frac{I_c R_{C3}}{V_s} = -A_F R_{C3} = -50.2$ V/V

FEEDBACK-10

$A \cong \frac{1}{\beta}$ se $A\beta$ alto $\quad A \simeq \frac{1}{11{,}9} = 84.03 \ \frac{mA}{V}$ → praticamente igual ao $\frac{A}{1+A\beta}$!

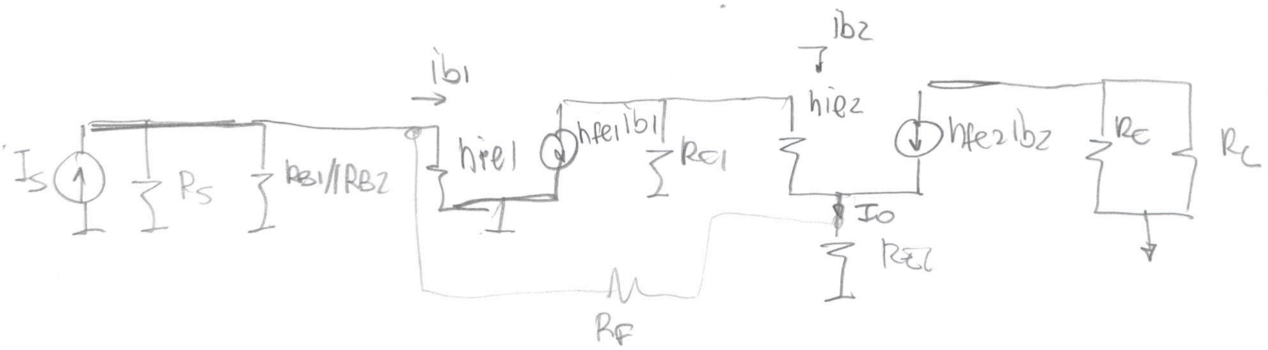
Com essa simplificação: $\frac{V_o}{V_S} = -A_F \cdot R_{C3} = -84.03 \times 0.6 = -50.42 \ V/V$!

Exemplo 8.4 Sedra Smith

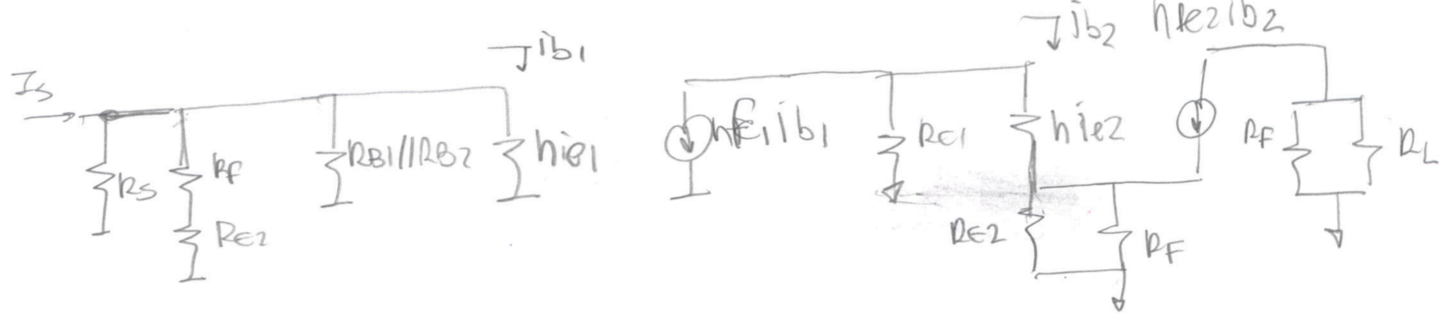


amostro I → $\beta = \frac{I_F}{I_o}$ e $A = \frac{I_o}{I_i}$
comparo I

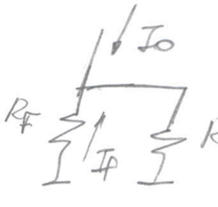
ckt entrada → faço $I_o = 0$
ckt saída → faço $V_i = 0$



em uma versão + simples CORTO o feedback mas mantenho o efeito de loading



$\beta = \frac{I_F}{I_o}$

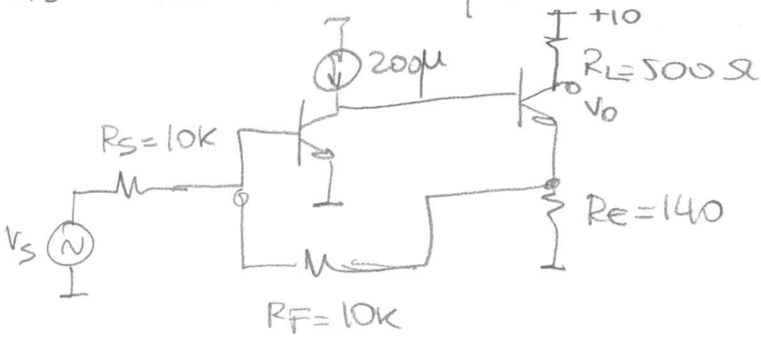


$\beta = \frac{I_F}{I_o} = \frac{-R_{E2}}{R_{E2} + R_F}$

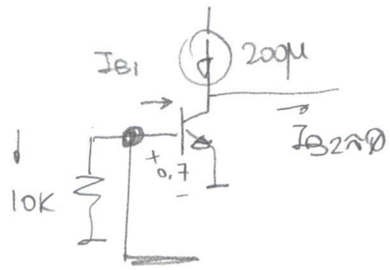
FEITO COMPLETO Sedra Smith

Exercício 8.5.1 5ª edição S.S.

Assuma que V_s tem componente DC nulo, ache pontos polarização e as correntes. Ache β, considere $h_{fe} = 100$.



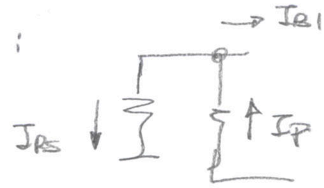
BIAS:



$I_{RS} = \frac{0.7}{10K} = 0.07\,mA$

$I_{B1} = \frac{200}{100} = 2\,\mu A$

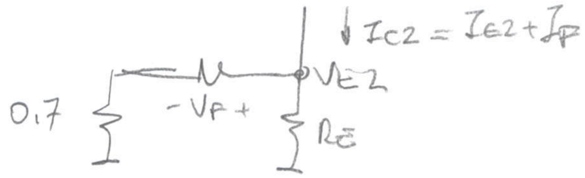
no nó feedback:



$I_F = 0.07\,mA + 2\,\mu A = 0.072\,mA$

$V_F = I_F R_F = 0.072 \times 10 = 0.72V$

$V_{E2} = 0.72 + 0.7 = 1.42V$



Logo $I_{E2} = \frac{V_{E2}}{R_E} = \frac{1.42}{140}$

$I_{C2} = \frac{1.42}{140} + 0.072 = 10.2\,mA$

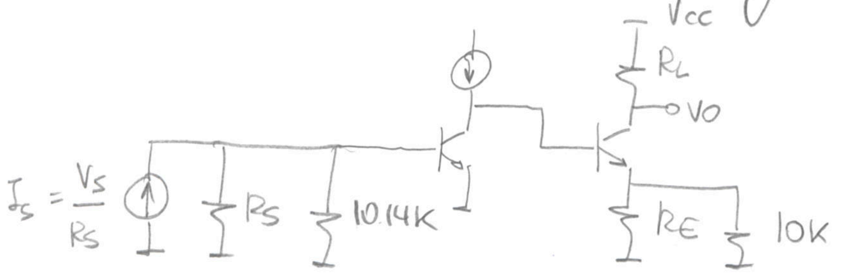
$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta} \approx$ muito pequeno (cfme. suposição inicial. Livro faz outras iterações)

Cálculo Vo:

$V_o = 10 - 0.5(10.2) = 4V9$

$\Rightarrow r_{e2} = \frac{V_T}{I_{E2}} = \frac{26}{10.2} = 2.5\,\Omega$

Amostra I
Compara I ⇨ mata feedback mas mantém o loading ⇒ Amostra I → FAZ $I_o = 0$ INPUT
Compara I → FAZ $V_i = 0$ OUTPUT



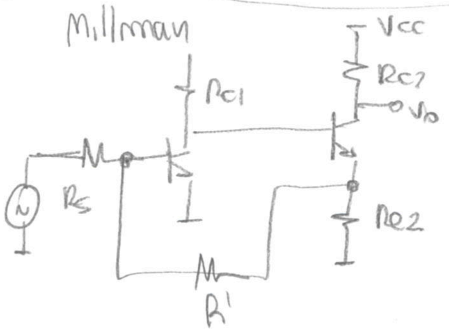
$\beta = \frac{I_F}{I_o}$

$$I_F = I_o \frac{R_E}{R_E + R_F} \Rightarrow \beta = \frac{I_F}{I_o}$$

$$= \frac{140}{140 + 10K}$$

$$= 0{,}0138$$

Millman

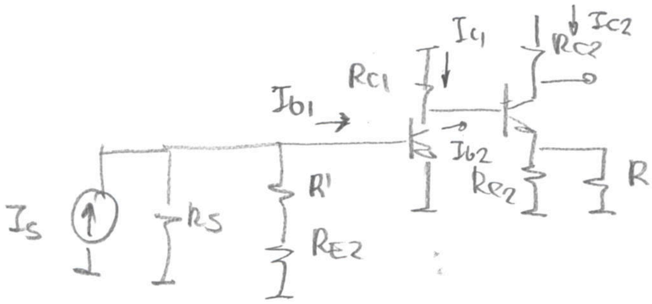


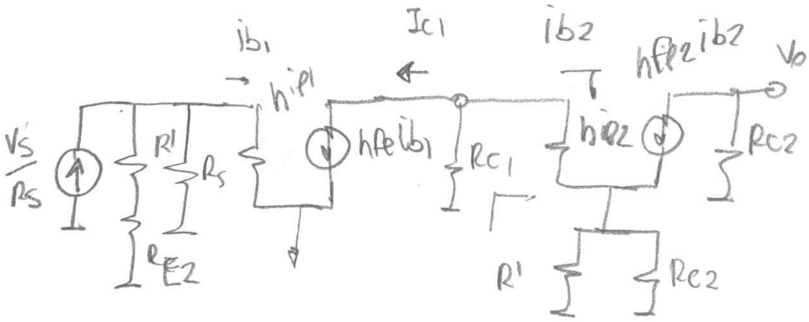
Amostra : I → $\beta = I_F / I_o$
Compara : I
$A = \frac{I_o}{I_s}$

↓

Amostra I → faço $I_o = 0$ p/ INPUT
Compara I → faço $V_i = 0$ p/ OUTPUT

$R_{C1} = 3k$
$R_{E2} = 50$
$R' = R_S = 1K2$
$h_{fe} = 50$
$h_{ie} = 1K1$





pois ($I_{C2} = -I_o$)

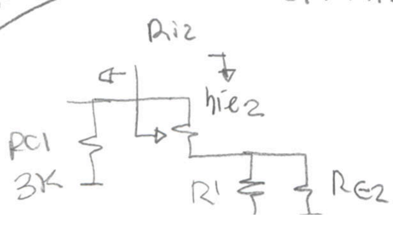
$$A_I = -\frac{I_{C2}}{I_S} = -\frac{I_{C2}}{I_{b2}} \cdot \frac{I_{b2}}{I_{C1}} \cdot \frac{I_{C1}}{I_{b1}} \cdot \frac{I_{b1}}{I_S}$$

$$-\frac{I_{C2}}{I_{b2}} = -h_{fe} = -50$$

$$\frac{I_{C1}}{I_{b1}} = h_{fe} = 50$$

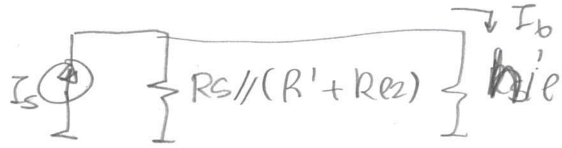
∴ corrente!

$$\frac{I_{b2}}{I_{C1}} = -\frac{R_{C1}}{R_{C1} + R_{i2}} = \frac{-R_{C1}}{R_{C1} + [h_{ie} + (1 + h_{fe})(R_{E2} + R')]} = \frac{-3}{3 + 1{,}1 + (51)(0{,}05 // 1{,}2)}$$



$$\frac{I_{b2}}{I_{C1}} =$$

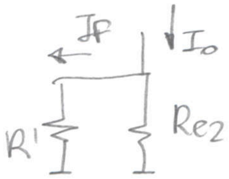
$\frac{I_{b1}}{I_s} = \frac{R}{R+h_{ie}}$ ÷ Corrente $R \doteq R_S // (R' + R_{e2})$



$= \frac{0.6}{0.6+1.1} = 0.358$

$A_I = (-50)(-0.457)(50)(0.358) = 406$

$\beta = \frac{I_F}{I_o}$



$\beta = \frac{R_{e2}}{R_{e2}+R'} = \frac{50}{1250} = 0.04$

$A_{IF} = \frac{A_I}{1+\beta A_I} = \frac{406}{1+406(0.04)} = 23.6$!!

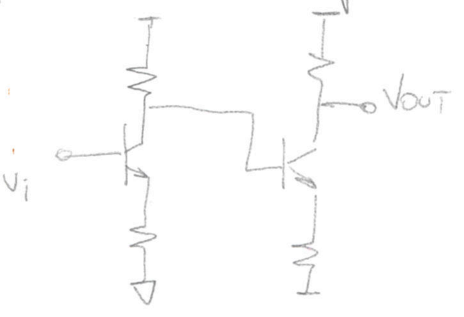
Se pegan $A_{IF} \approx \frac{1}{\beta} = 25$

$A_{vf} = \frac{V_o}{V_s} = -\frac{I_{c2} R_{c2}}{I_s . R_s} = A_{IF} . \frac{R_{c2}}{R_s} = 23.6 \frac{(0.5)}{1.2} = 9.83$

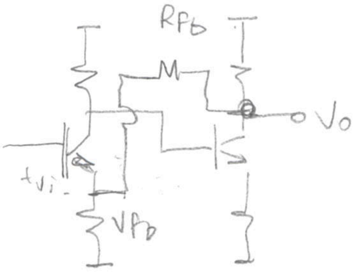
$R_i = R // h_{ie} = 0.6 // 1.1 = 0.394$ ⇨ $R_{if} = \frac{R_i}{1+\beta A} = \frac{394}{17.2} = 23$ (too low tough)

$R_o = R_{c2} = 500$ ⇨ $R_{of} = 17.2(500) = 8K6$ (too high)

Como implementar as 4 topologias feedback nos estágios aí?



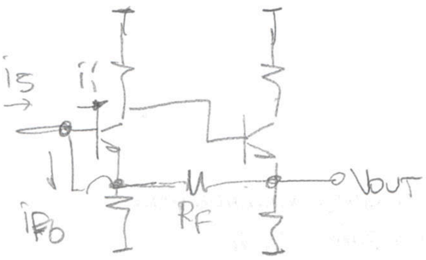
TENSÃO TENSÃO (series-shunt)



Voltage series

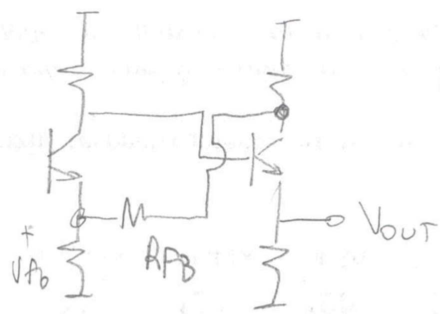
Amostra V
Compara V

current-voltage



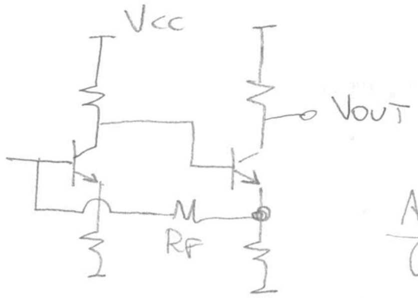
Amostra tensão
compara corrente

Voltage - Current



Amostra corrente
Compara V

Shunt - series



Amostra i
Compara i