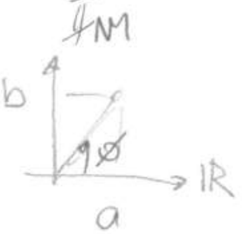
NUMEROS COMPLEXOS

$a+jb = Z$ / $\mathrm{Re}[Z] = a$

\ $\mathrm{Im}[Z] = b$



plano complexo

$A = \mathrm{abs}[Z] = \sqrt{a^2+b^2}$ $\phi = \arg[Z] = \angle Z = \mathrm{ATAN}\,\frac{\mathrm{Im}}{\mathrm{Re}} = \mathrm{ATAN}\left(\frac{b}{a}\right)$

atenção Matlab!
Função perigosa depende do SINAL

Notação $a+jb$ → cartesiana

$A\angle\phi$ → notação polar

HP
Matlab
Excel (?)

Formula Moivre/Euler $Ae^{j\phi} = A\cos\phi + j\sin\phi = a+jb$

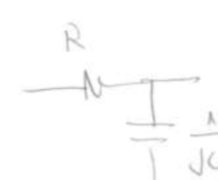
SINAL : mexe na fase $-10 = |10|\angle 180°$

Corrente/tensão adiantada/atrasada
no tempo "j"

Na noção jA ~~A~~ ou jV
significa delay temporal
em relação a alguma referência

FUNÇÃO $f(a,b) \in \mathbb{C}$ também

(ex) $H(s) = H(j\omega)$ Laplace



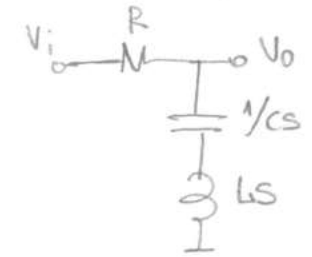
$\frac{V_o}{V_i}(j\omega) = \frac{1/j\omega C}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1+jR\omega C}$

$\left|\frac{V_o}{V_i}\right| = \frac{1}{\sqrt{1+(R\omega C)^2}}$

$\arg\angle\frac{V_o}{V_i} = -\mathrm{ATAN}\left[R\omega C\right]$

denominador

Exemplo



$$\frac{V_o}{V_i}(s) = \frac{\frac{1}{CS} + LS}{R + \frac{1}{CS} + LS} = \frac{\frac{1 + LCS^2}{CS}}{\frac{RCS + 1 + LCS^2}{CS}} = \frac{\frac{S^2 + 1/LC}{\cancel{1+LCS^2}}}{S^2 + \frac{R}{L}S + \frac{1}{LC}}$$

Zeros: $S_Z = \pm \cancel{1/\sqrt{LC}} \pm J\sqrt{LC}$
$(1 + LCS^2 = 0)$

polos: $S^2 + \frac{R}{L}S + \frac{1}{LC} = 0$

chamada equação característica (EDO)

$$S_{p1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

ou mais compacto:

$$S_{p1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

unidade [Np/s]

EDO!

$\alpha = \frac{R}{2L}$ e $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ $\left[S^2 + 2\alpha S + \omega_0^2 \right]$

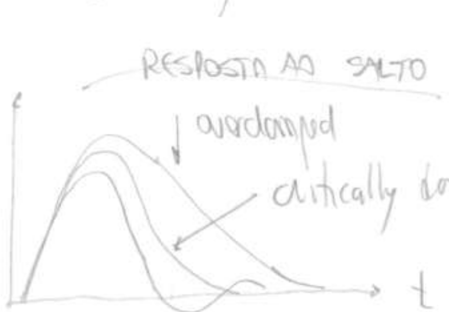
$\omega_0 \rightarrow$ frequencia natural de oscilação (balanço criança)
tempo violão, micro-ondas
sinal "demora p/ passar" na ressonancia
(phase B)

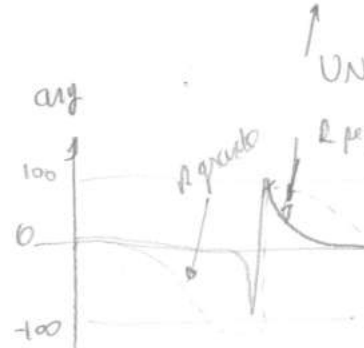
$\alpha \rightarrow$ fator amortecimento (damping factor), perdas

over damped ($\alpha > \omega_0$)
critically damped ($\alpha = \omega_0$)
underdamped ($\alpha < \omega_0$)

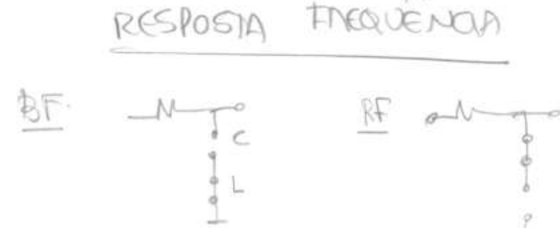
analogia mola em uma porta

RESPOSTA AO SALTO

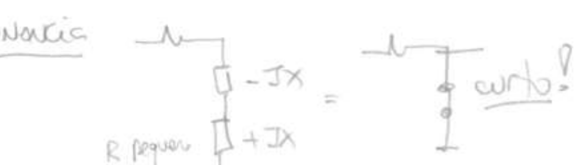


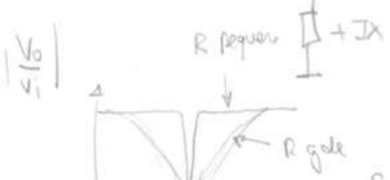


RESPOSTA FREQUÊNCIA



PASSA TUDO?





TEORIA LINK SWARTHMORE
PRÁTICA LINK MULTISIM

Ex_1

ELETRÔNICA APLICADA

① Resposta em frequência de Amplificadores, Multiestágio, diferenciais, opamps
② Realimentação
④ Osciladores
③ OpAmps
⑤ Filtros Ativos

25% Trabalhos
75% Provas [P1 P2]
Sub Livre

Novidade? Frequência

RESPOSTA EM FREQUENCIA → CAP 11 Boylestad

Decibels → Medida relativa, expande a faixa dinâmica $G = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$ [pot]

$G = 20 \log \frac{V_2}{V_1}$ [tensão]

. Medida potência [Access Points] dBm

$P = 10 \log \frac{P}{1mW}$

qual é maior? 0 dBm = 1 1mW

Access point: [-54 MBPS -65 dBm => 3.16E-7 mW
-6 MBPS -82 dBm => 6.3E-9 mW

ex quantos dBm é 100 mW?

$P = 10 \log 100 = 10 \log 10^2 = 20$ dBm

Vantagem 1 → Faixa dinamica grande

Ganho -30 dB => Ganho potência de 0.001

$A_V = 32.335 \rightarrow G_V = 20 \log 32335 = 90.19$ dB

Obs falar que -30 dB o (-) não é fase, fase é separada p/ ex: $|30| \angle 10^\circ$

Vantagem 2 → Operações produto viram soma

$V_1 = 20mV$ $V_0 = 20 \cdot 0.8 = 16mV$

$A_V = 0.8$

26 dBmV 24 dBmV

-1.93 dB

$\approx$ 26 dBmV - 1.93

Av = 0.8

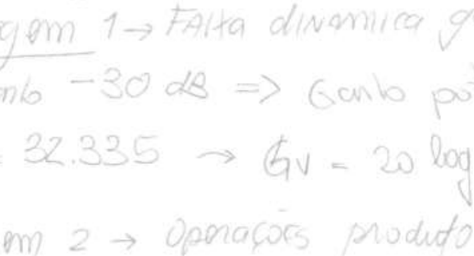
 $A_{V_T} = 1.6$

Av = 2

2dB -1dB

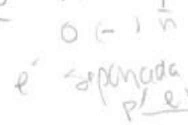
 $A_{V_T} = 1$ dB

RESPOSTA EM FREQUÊNCIA MATEMÁTICA



0.707 MAX ou queda 3 dB de potência

f_L definido por capacitores passagem, desacoplamento RE



f_H capacitancias/indut. parasitas do K

EIApl.1

Lembrando.

$C_i \to X_{C_i} = \frac{1}{j\omega C_i}$

$C_o \to X_{C_o} = \frac{1}{j\omega C_o}$

P/ freqs baixas o capacitor vai apresentar um comportamento de ckt. aberto

Banda = faixa de operação = $f_H - f_L$

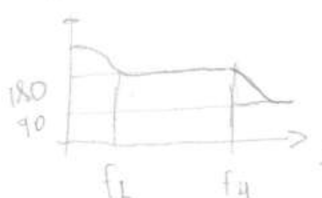
Normalizar

$\Rightarrow$

$\log 1 = 0$ Lembrando

$\log K < 0$ se $K < 1$

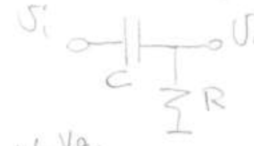
FASE



Por que 180° ⇝ Emissor Comum inverte a fase

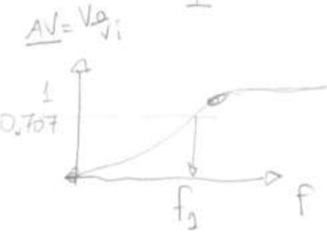
Diagrama de Bode

Transistor tem muitas vezes CKTS. RC, interna e externamente.



Baixas $X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{0} = \infty$ open

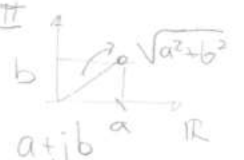
Altas $X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{\infty} = 0$ short



Matematicamente

$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{R + X_C} \Rightarrow |A_V| = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$

Complexo



$0.707\angle 45^\circ$

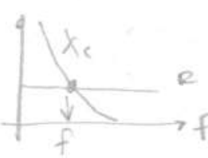
não é metade 0.5! complet

quando $X_C = R \to |A_V| = \frac{R}{\sqrt{2R^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$

vira ÷ tensão c/ 2 resistores de mesmo valor

isso corre na frequencia:

$X_C = R = \frac{1}{2\pi f_1 C} \to \boxed{f_1 = \frac{1}{2\pi RC}}$



dois são iguais

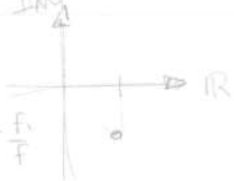
Nesse ponto (f_1) $G_V = 20 \log A_V = 20 \log \frac{1}{\sqrt{2}} = -3dB$

No pto. maximo $G_V = 20 \log 1 = 0$ dB

Posso escrever a eq. Ganho como $A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{R - jX_C} = \frac{1}{1 - j\left[\frac{X_C}{R}\right]} = \frac{1}{1 - j\left[1/\omega C R\right]} = \frac{1}{1 - j\left[\frac{f_1}{f}\right]}$

$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{\sqrt{1+(f_1/f)^2}}$ $\underline{\angle ATAN(f_1/f)}$ phase

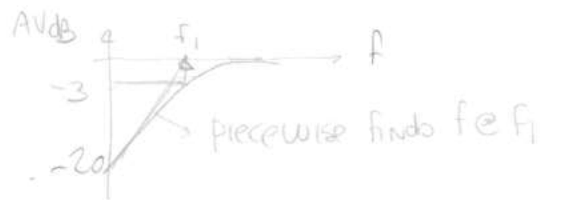
modulo $|A_V|$



$\angle A_V = ATAN\left(\frac{X}{R}\right)$

$|A_V|_{dB} = 20\log\left[1/\sqrt{1+(\frac{f_1}{f})^2}\right] = -20\log\left[1+\left(\frac{f_1}{f}\right)^2\right]^{1/2} = -10\log\left[1+\left(\frac{f_1}{f}\right)^2\right] \simeq -20\log\frac{f_1}{f}$

@ $f \ll f_1$



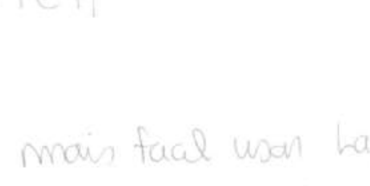
Ponto $f = 0 \rightarrow A_{VdB} = -10\log[1+0]$

→ Matlab, Excel [fica mais facil usar Laplace transform $s = j\omega$]

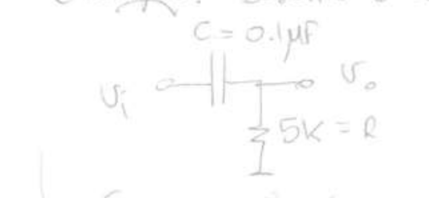
Exemplo: Desenhe o diagrama de Bode, acho freq. corte f_1,

(a) $f_1 = \frac{1}{2\pi R_1 C} = \frac{1}{6.28.(5k)(0.1E-6)} = 318.5$ HZ

↓ Sempre pensa na freq. corte efeito dos dois tem que ser igual [reat (ca) = resist] $X_C = R$: $\frac{1}{\omega C} = R \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi RC}$

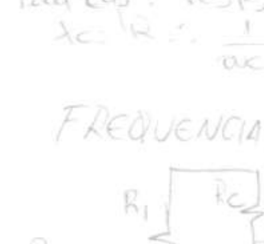


FREQUENCIA CORTE: INFERIOR BJT



Ponto quebra inferior em frequencia definido pelos capacitores C_S, C_E & C_C.

(C_S)



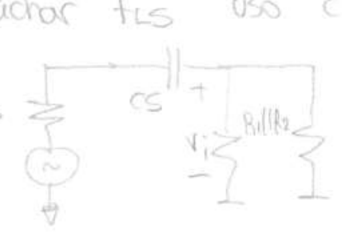
$f_{LS} = \frac{1}{2\pi[R_S+R_i]C_S}$

p/ freqs medias, capacitor aproximado p/ curto. acho V_i como ÷ tensão

$V_i = V_S.\frac{R_i}{R_i+R_S}$

EL - Apl. 2

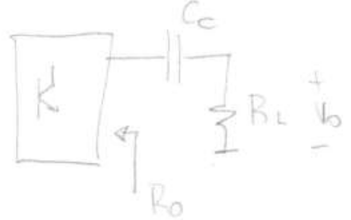
p/ achar f_{LS} uso CKT que o capacitor enxerga



$R_i = R_1 \| R_2 \| \beta r_e \rightarrow \boxed{V_i = \dfrac{R_i V_S}{R_S + R_i - jX_{CS}}}$

↳ analisa essa eq se $f \to 0$ toda tens fica sobre C !

(C_C)

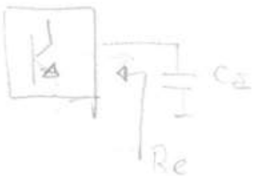


$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi(R_o + R_L)C_C}$$

R_o = resistencia saída R_o = $R_C \| r_o$

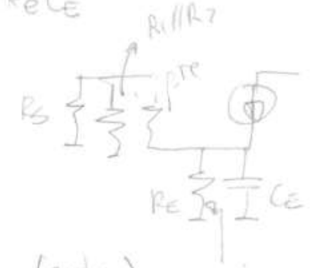
Lembrando r_o data sheet

(C_E) Rede que C_E "enxerga"



$$R_{LE} = \frac{1}{2\pi R_e C_E} \qquad R_e = R_E \| \left(\frac{R_S'}{\beta} + r_e\right)$$

↳ base $R_S' = R_S \| R_1 \| R_2$

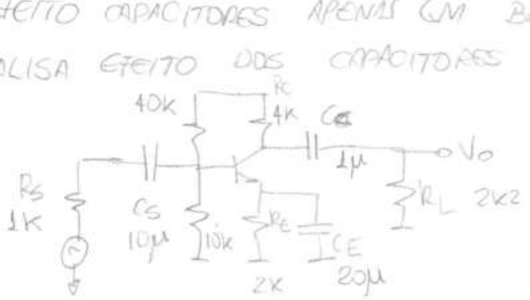


Lembrando: A_V s/ $C_E = -\dfrac{R_C}{r_e + R_E}$ (ganho menor) $\qquad A_V$ c/ $C_E = -\dfrac{R_C}{r_e}$

EFEITO CAPACITORES APENAS EM BAIXAS FREQS. MEDIAS/ALTAS ELES VIRAM CURTO

ANALISA EFEITO DOS CAPACITORES INDIVIDUALMENTE

Ex:



$\beta = 100$
$r_o = \infty$
$V_{CC} = 20V$

Ache a freq. corte + baixa do CKT

Preciso achar r_e, calculando bias

$\beta R_E = 100 \cdot 2k = 200k \gg 10R_2 = 100k$
ok

análise aprox. $V_B = 20 \dfrac{10}{50} = 4V \Rightarrow I_E = \dfrac{V_E}{R_E} = \dfrac{4 - 0.7}{2k} = 1.65mA$

$r_e = \dfrac{26}{1.65} = 15.76\Omega$

Ganho $A_V = \dfrac{V_o}{V_i} = -\dfrac{R_C \| R_L}{r_e} = -\dfrac{4k \| 2k2}{15.76} = -90$

Imped. $Z_i = R_i = R_1 \| R_2 \| \beta r_e = 40k \| 10k \| 100(15.76) = 1.32k$

$V_i = \dfrac{R_i}{R_i + R_S} V_S \rightarrow \dfrac{V_i}{V_S} = \dfrac{R_i}{R_i + R_S} = \dfrac{1.32k}{1.32k + 1k} = 0.569$

$A_{VS} = \dfrac{V_o}{V_S} = \dfrac{V_o}{V_i} \cdot \dfrac{V_i}{V_S}$

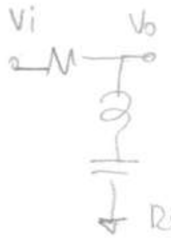
$= (-90)(0.569) = -51.21$

ANALISE CAPACITORES

(C_S) $R_i = R_1 \| R_2 \| \beta r_e$
$= 40k \| 10k \| 1.576k = 1k32$

$f_{LS} = \dfrac{1}{2\pi(R_S + R_i)C_S} = \dfrac{1}{6.28[1k + 1.32k]10\mu}$

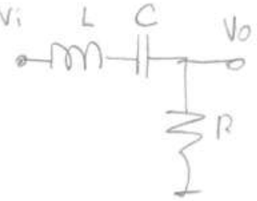
$f_{LS} = 6.86Hz$



RESISTOR SÉRIE C/ Vo
$Q \propto 1/R$

NOTCH

$$H(s) = \frac{s^2 + 1/LC}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC}}$$



RESISTOR // Vo

$Q \propto R$

BPF

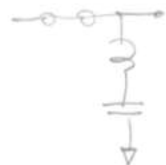
$$H(s) = \frac{RCs}{RCs + 1 + LCs^2}$$

$$H(s) = \frac{(R/L)\,s}{s^2 + \left(\frac{R}{L}\right)s + \left(\frac{1}{LC}\right)}$$

R aparece também no zero!

LEI GERAL $\boxed{Q \propto \text{PERDAS JOULE}^{-1}}$

NOTCH – $R \to 0$



perdas ↑ se R ↓

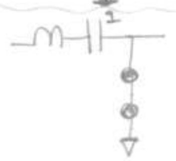
melhor caso se R=0 !

$P_L = \frac{V^2}{R}$

$R \to \infty$

quero maximizar Vo
se R ↑ energia
nele é perdida (calor)
melhor caso R=0

BPF – $R \to 0$

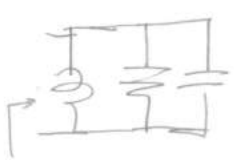


Perdas ↑ se R ↓
Q ↓ se R ↓

$R \to \infty$

quero maximizar Vo se R ↓ Vo ↓
logo se R = ∞ melhor caso
($Q \propto R$)

RLC paralelo



$$Q = \frac{R}{2\pi f L} = 2\pi f RC = R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad \underset{(3dB)}{BW} = \frac{f_0}{Q}$$

na ressonancia

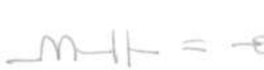
MAXIMA tensão !

RLC serie

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} \qquad BW = f_0/Q$$

na ressonancia



maxima corrente !

Projete dois ressoadores para a freq. de 1MHz. Deseja-se uma banda passante de 5%. Considere $C = 1nF$

(a) Apresente os valores de R,L para as configurações série e paralelo, considerando o C dado.

$$2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} = \frac{1}{(2\pi . 1E6) . 1E-9} = 2,53E-5\ H = 25.3\,\mu H$$

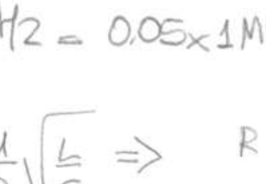
$BW = 5\%$ de $1MHz = 0.05 \times 1MHz = 0.05 MHz$ $\qquad BW = \frac{f_0}{Q} \therefore Q = \frac{1}{0.05} = 20$

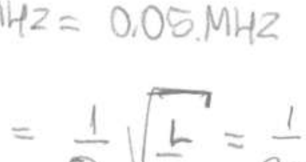
SÉRIE: $Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} \Rightarrow R = \frac{1}{Q}\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{20}\sqrt{\frac{25.3E-6}{1E-9}} = 7.95\,\Omega$

paralelo: $Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \Rightarrow R = Q\sqrt{\frac{L}{C}} = 20\sqrt{\frac{25.3E-6}{1E-9}} = 3.2K\Omega$

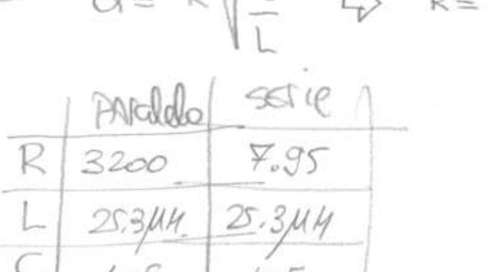
	Paralelo	série
R	3200	7.95
L	25.3µH	25.3µH
C	1nf	1nF

(b) MULTISIM

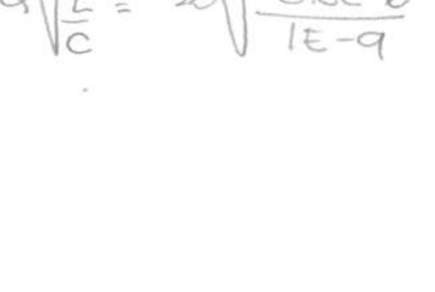




SIMULATION : SIMULATE/ ANALYSES
AC ANALYSIS
monitora no ckt série corrente em qualquer componente e no paralelo a tensão

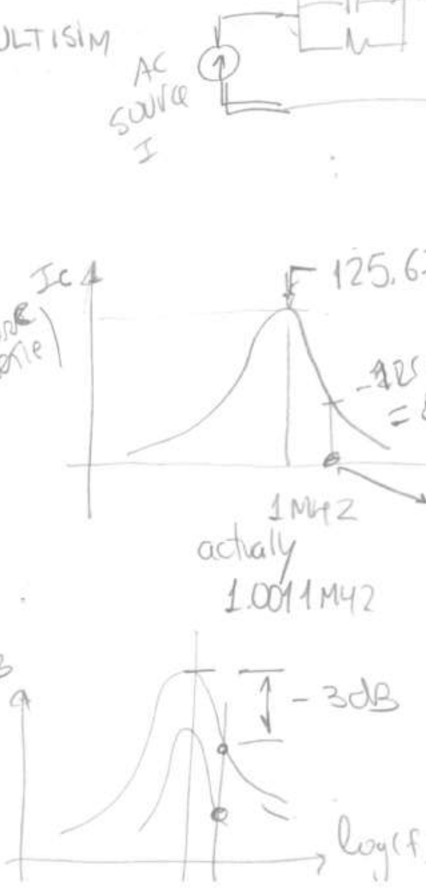


actually
1.0011MHz



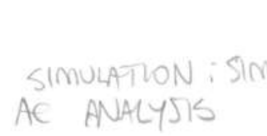
$$\left[\begin{array}{l} 1 + \frac{0.05}{2} = 1.025 \\ 1 - \frac{0.05}{2} = 0.975 \end{array}\right.$$

(c)



NÃO

(d)



sai apenas o 1MHz!

TRABALHO_1_17

CST
COMPUTER SIMULATION TECHNOLOGY

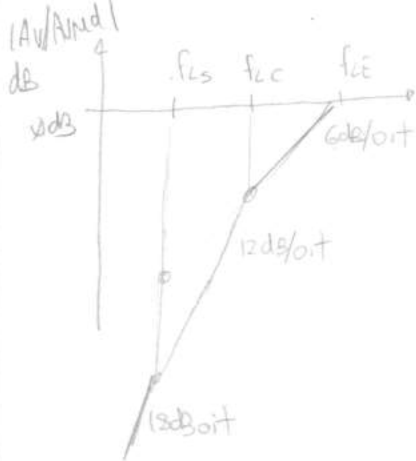
$(C_C)\quad f_{LC} = \dfrac{1}{2\pi(R_C+R_L)C_C} = \dfrac{1}{6.28[4k+2k2].1\mu} = 25.68\ HZ$

$(C_E)\quad R_s' = R_s // R_1 // R_2 = 1k // 40k // 10k = 0.889k$

$Re = Re // \left(\dfrac{R_s'}{\beta} + re\right) = 2k // \left(\dfrac{0.889k}{100} + 15.\ldots\right)$

$Re \simeq 24.35\Omega$

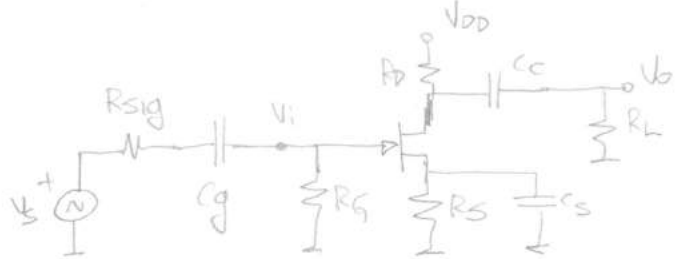
$f_{LE} = \dfrac{1}{2\pi\, Re C_E} = \dfrac{1}{6.28(24.35)(20\mu)} = \underline{\underline{327 HZ}}$



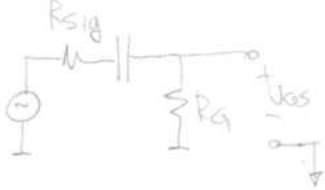
cada capacitor (polo) insere 6 dB queda por oitava (1 oitava = 2 dobro da freq)

$\boxed{20dB/dec = 6dB/oit}$

RESPOSTA BF FET



(C_G)

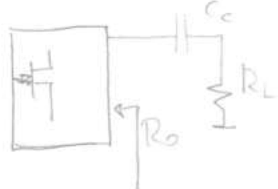


$f_{LG} = \dfrac{1}{2\pi(R_{sig}+R_i)C_G}$

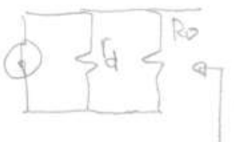
normalmente $R_G >> R_{sig}$

$V_{gs} = V_s \dfrac{R_G}{R_G + R_{sig}} \approx V_s$ since R_G enorme

(C_C)



$f_{LC} = \dfrac{1}{2\pi(R_o+R_L)C_C}$



$R_o = R_D // rd$

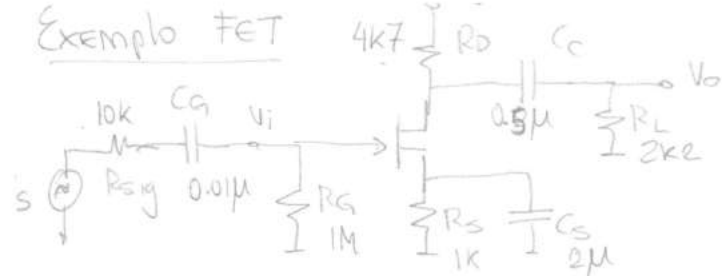
$(C_S)\quad f_{LS} = \dfrac{1}{2\pi R_{eq} C_S}$

$R_{eq} = \dfrac{R_S}{1 + R_S(1+g_m rd)/(rd + R_D // R_L)}$

se $rd \cong \infty$ $\quad R_{eq} = R_S // \dfrac{1}{g_m}$

$\boxed{El\,Apl\,3}$

Exemplo FET



$I_{DSS} = 8mA$ $V_p = -4$ $r_d = \infty$ $V_{DD} = 2\ldots$

BIAS

$I_D = I_{DSS}\left[1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right]^2$ acho $V_{GSQ} = -2$, $I_{DQ} = 2mA$

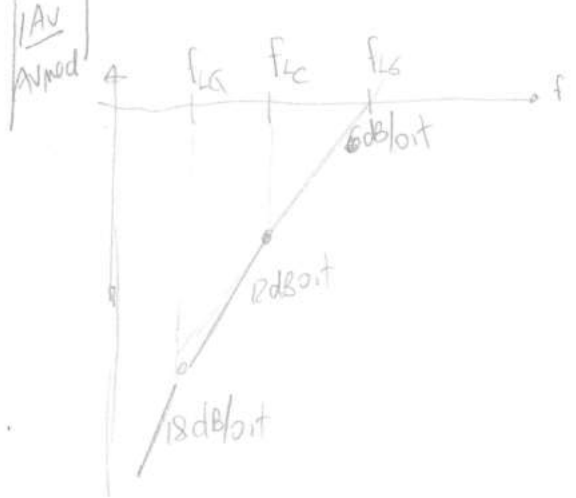
$g_m = \frac{2 I_{DSS}}{|V_p|}\left[1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p}\right] = \frac{2.8mA}{4V}\left[1 - \frac{-2}{-4}\right] = 2m$

$C_G \Rightarrow f_{LG} = \frac{1}{2\pi [10k + 1M](0.01\mu)} = 15.8\,Hz$

$C_C \Rightarrow f_{LC} = \frac{1}{2\pi [4k7 + 2k2](0.5\mu F)} = 46.13\,Hz$

$C_S \Rightarrow R_{eq} \approx R_S \| \frac{1}{g_m} = 1k \| \frac{1}{2mS} = 333.33\,\Omega$ $f_{L_S} = \frac{1}{2\pi[333.2](2\mu)} = 238.73\,Hz$

Ganho faixas médias: (máximo) $A_V = \frac{V_o}{V_i} = -g_m (R_D \| R_L) = -2mS(4k7 \| 2k2) = -3$



exemplo # interconexão
interelectrode capacitance

coupling ↑ lf
f ↑ (L seria o curto)

CAPACITANCIA & EFEITO MILLER

Problema quando tenho capacitores realimentando amplificadores — VALE P/ AMPLIF. QUE INVERTEM O SINAL

$I_i = I_1 + I_2$

$I_i = \frac{V_i}{Z_i}$ $I_1 = \frac{V_i}{R_i}$ $I_2 = \frac{V_i - V_o}{X_{cf}} = \frac{V_i - A_V V_i}{X_{cf}}$

$I_2 = \frac{V_i(1 - A_V)}{X_{cf}}$

substituindo:

$\frac{V_i}{Z_i} = \frac{V_i}{R_i} + \frac{(1-A_V)V_i}{X_{cf}}$

$\frac{1}{Z_i} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{X_{cf}/(1-A_V)}$

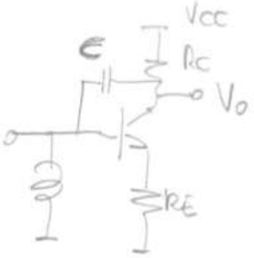
chamo $X_{CM} = \frac{X_{cf}}{1 - A_V} = \frac{1}{\omega(1 - A_V) C_f}$ e $\frac{1}{Z_i} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{X_{CM}}$

↳ capac. equivalente

Exemplo Miller effect

R. Sobot book: 7.11, estime a frequencias que o common emitter amplif. pode ser usado, se $L = 2.533\mu H$ $R_C = 9k9$ $R_E = 100$ $\beta = 100$

$C_{CB} = 1pF$



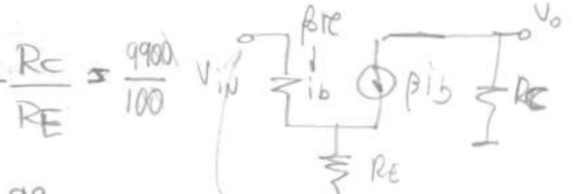
→ COMMON EMITTER INVERTE FASE logo há efeito Miller

Frequencia ressonancia

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$A_V = -\frac{R_C}{R_E} = \frac{9900}{100}$$

$$A_V = -99$$



$$V_o = -\beta i_b R_C$$

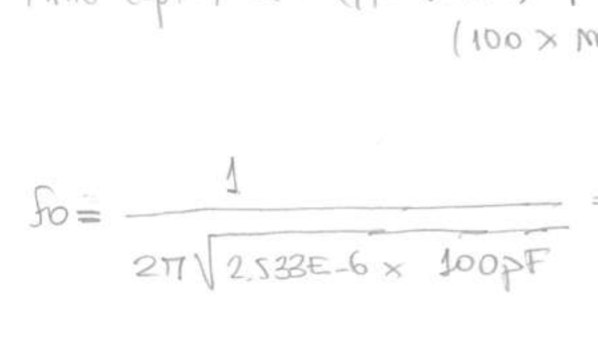
$$V_{IN} = i_b \beta r_e + (\beta+1) i_b R_E$$

$$\frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{-\beta i_b R_C}{i_b \beta r_e + (\beta+1) i_b R_E}$$

$$\cong -\frac{R_C}{R_E} \quad r_e \ll R_E$$

Miller capacitance → $C_M = (99+1)\, 1pF = 100pF$ (100 x maior !)

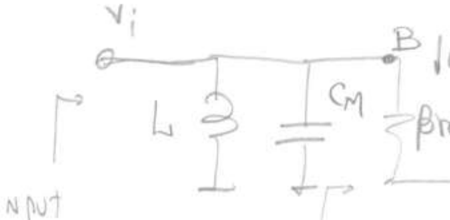
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{2.533E\text{-}6 \times 100pF}} = \underline{10\ MHz}$$



LC paralelo na ressonancia é um ckt. aberto

$$Z = \frac{\text{produto}}{\text{soma}} = \frac{(JX)(-JX)}{JX - JX} = \frac{}{0} = \infty$$

Assim ckt funciona apenas qdo LC ressoa, BPF



estimando Banda (formulas RLC //)

$$Q = \frac{R}{\omega L} = \omega RC = R\sqrt{\frac{C}{L}} = (100 \cdot 100)\sqrt{\frac{100E\text{-}12}{2.533E\text{-}6}} = 62.83$$

$$BW = \frac{f_0}{Q} = \frac{10}{62.83} = 0.16MHz$$

$$V_{IN} = \beta r_e I_{IN} + (\beta+1) R_E I_{IN}$$

$$R_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} = \beta r_e + (\beta+1) R_E$$

$r_e \ll R_E \quad R_{IN} \approx \beta R_E$

obs RLC serie $Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$

EL-APL-3a

*

http:// conservativereview.us

CST
COMPUTER SIMULATION TECHNOLOGY

Tenho a rede equivalente 

$C_M = (1 - A_V) C_F$

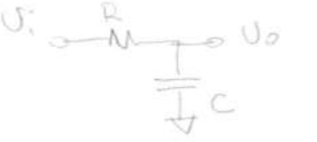
capacitor aparece na entrada sendo MULTIPLICADO pelo ganho A_V.

$\boxed{C_{Mi} = (1 - A_V) C_F}$ capacitor que "Reflete" na entrada

- Aumenta nivel Z_o (capacitancia na saida) $\rightarrow$ ($I_o \cong V_o - V_i / X_{CF}$ $\rightarrow$ $C_{Mo} = \left(1 - \frac{1}{A_V}\right) C_F$
- Porque A_V deve ser negativa? Se $A_V > 0$ terei capacitancia negativa. $C_{Mo} \approx C_F$ p/ $A_V >> 1$

*RESPOSTA EM ALTA FREQUENCIA (BJT)

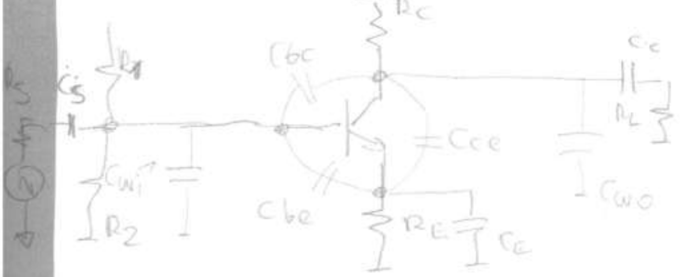
FALAR MOSFET CAPAC. ENTRADA O QUE ACONTECE



explicar $\frac{V_o}{V_i}$ como função frequência

$$A_V = \frac{1}{1 + j\left[\frac{f}{f_2}\right]}$$

de onde vem esses capacitores?



Cbc, Cbe, Cce $\Rightarrow$ capacitores "parasitas"
em geral Cbe maior todas, Cce menor capacit

Cwi, Cwo $\Rightarrow$ WIRING capacitances

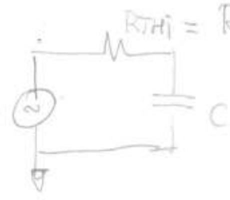
modelo pequenos sinais

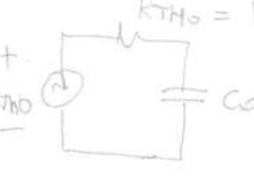
$C_i = C_{wi} + C_{be} + C_{Mi}$ $\quad$ $C_o = C_{wo} + C_{ce} + C_{Mo}$

Miller

Thevenin

$R_{THi} = R_S \| R_1 \| R_2 \| R_i$ $\quad$ $R_{THo} = R_C \| R_L \| r_o$





quando f ↑ Co fica curto
V_o ↓

EL-APL-4

P/ Thevenin input $f_{H_i} = \frac{1}{2\pi R_{Thi} C_i}$ com $\begin{cases} R_{Thi} = R_s // R_1 // R_2 // R_i \\ C_i = C_{wi} + C_{be} + C_{Mi} = C_{wi} + C_{be} + (1 - A_v) C_{bc} \end{cases}$ e

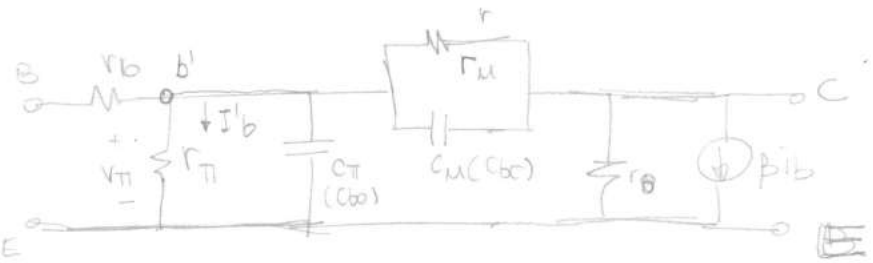
P/ Thevenin output $f_{H_o} = \frac{1}{2\pi R_{THo} C_o}$ com $\begin{cases} R_{THo} = R_c // R_L // r_o \\ C_o = C_{wo} + C_{ce} + C_{Mo} \end{cases}$

VARIAÇÃO hfe (ou β) COM FREQUENCIA

Segue a equação $h_{fe} = \frac{h_{fe\,mid}}{1 + j\left[f/f_\beta\right]}$

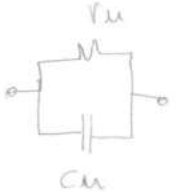
hfe = mais usado por fabricantes do que β.

usa o Modelo + complexo [Giacoletto]



r_b: BASE CONTACT RESISTANCE

r_π, r_μ, r_o } Resistencias contato terminal e dispositivo quando na região Linear



Realimenta sinal saída com entrada.
significa: CORRENTE BASE DEPENDE (POUCO) V_{CB}

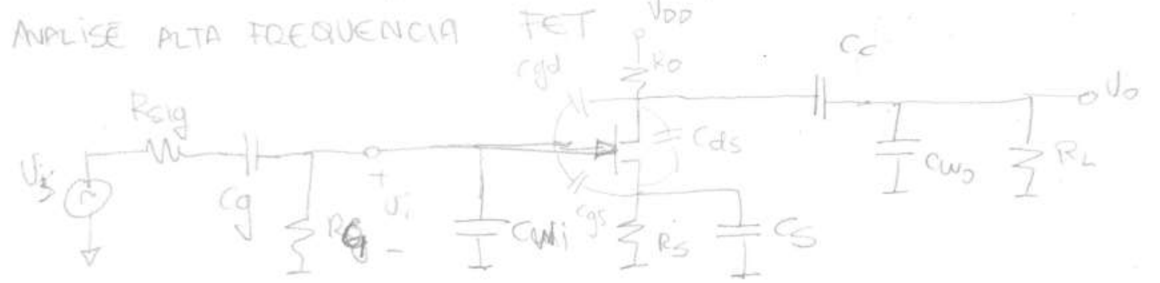
$$f_\beta \text{ (ou } f_{hfe}) = \frac{1}{2\pi r_\pi [C_\pi + C_\mu]}$$ ou reescrevendo $$f_\beta \approx \frac{1}{2\pi \beta_{mid} r_e [C_\pi + C_\mu]}$$

equação mostra que f_β é função de BIAS! $r_e = \frac{V_T}{I_{EQ}} = \frac{26mV}{I_{EQ}}$

Base comum tem resposta em frequencia + elevada do que emissor comum
Lembrando: Base comum é não inversora, logo ∄ possui efeito Miller.

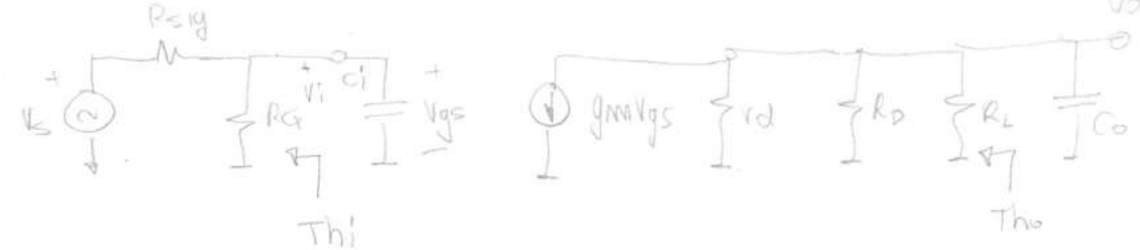
Por esse motivo parâmetros alta frequência são usados sempre como base comum.

ANÁLISE ALTA FREQUÊNCIA FET

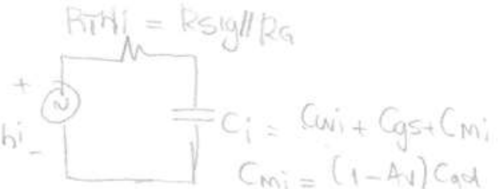


Cwi, Cwo → interelectrode capacitance   Cgd, Cds, Cgs → capacitâncias internas

Modelo pequenos sinais



Thevenin input

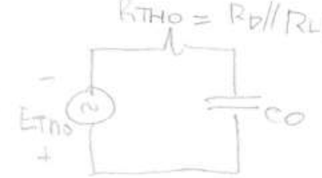


$C_i = C_{wi} + C_{gs} + C_{Mi}$

$C_{Mi} = (1 - A_V) C_{gd}$

$$f_{Hi} = \frac{1}{2\pi R_{THi} C_i}$$

Thevenin OUTPUT



$$f_{HO} = \frac{1}{2\pi R_{THO} C_O}$$

$R_{THO} = R_D // R_L // r_d$

$C_O = C_{wo} + C_{ds} + C_{MO}$

$C_{MO} = \left(1 - \frac{1}{A_V}\right) C_{gd}$

EFEITO CASCATEAMENTO

Mais de um estágio → estágio "enxerga" capacitâncias do estágio posterior

Cascateando estágios idênticos

+ um estágio faz a freq. corte ser cada vez menor

EL-APL-5

$Av_{LOW\,TOTAL} = (Av_{LOW})^n \qquad n = n^{o}$ estágios

p/ achar pto. 3 dB

$$\frac{Av_{LOW}}{Av_{medio}}_{TOTAL} = \left[\frac{Av_{LOW}}{Av_{mid}}\right]^n = \frac{1}{\left[1 - \frac{jf_1}{f}\right]^n}$$

FAZENDO $\dfrac{1}{\sqrt{\left[1+\left(\frac{f_1}{f_1'}\right)^2\right]^n}} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$

ou $\left\{\left[1+\left(\frac{f_1}{f_1'}\right)^2\right]^{1/2}\right\}^n = \left\{\left[1+\left(\frac{f_1}{f_1'}\right)^2\right]^n\right\}^{1/2} = (2)^{1/2} \Rightarrow 1+\left(\frac{f_1}{f_1'}\right)^2 = 2^{1/n}$ isolo f_1' como

$f_1' = \dfrac{f_1}{\sqrt{2^{1/n}-1}}$ e para alta frequencia $f_2' = f_2\left[\sqrt{2^{1/n}-1}\right]$ obtenho uma tabela:

n	$\sqrt{2^{1/n}-1}$
2	0.64
3	0.51
4	0.43

Ex: $n=2$ $f_2' = 0.64 f_2$ ou seja 64% menor que p/ um estágio simples.

$f_1' = \frac{1}{0.64} f_1 = 1.56 f_1$ 56% maior que p/ um estágio simples

PARAMETRO IMPORTANTE: GAIN. BANDWIDTH (GBW)
(GANHO FAIXA) = cte

TESTE C/ ONDA QUADRADA

quero saber a resposta em freq. de um amplificador.

meço o ganho p/ cada frequencia

Construo uma tabela

[M42]

$\frac{1}{s}$ | Resposta ao Impulso $\delta(t)$ "1" — $\boxed{H(s)}$ — out(t) $H(s)$

$\mathcal{L}^{-1}$

$\int$ | resposta ao step (salto) $\frac{1}{s}$ — $\boxed{H(s)}$ — salto(t) $\frac{H(s)}{s}$

opção: usar onda quadrada!

= soma de várias frequencias (Série Fourier)

$$V(t) = \frac{4}{\pi} V_m \left[\sin(2\pi f_s t) + \frac{1}{3}\sin(2\pi . 3 f_s)t + \frac{1}{5}\sin(2\pi.(5f_s)t) + \ldots + \frac{1}{n}\sin(2\pi f_s . nt)\right]$$

1º termo Fundamental

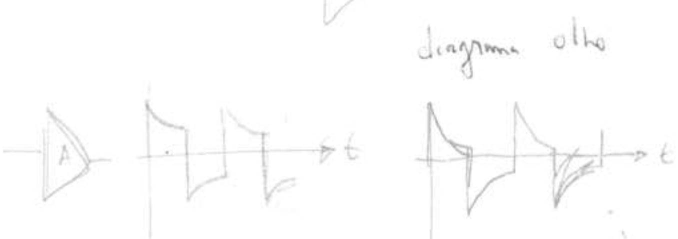
soma varias "harmônicas"

Como usa na prática?
Se eu parar na 9ª harmônica, sua amplitude será 10% da fundamental, posso parar "truncar" nela
P/ ex: quero testar amplificador freq máximo de 20KHz, freq. $f_S \leq \frac{20KHz}{9} = 2{,}2\ KHz$

Ideal:

entra quadrada sai quadrada

diagrama olho



RUIM f_L MUITO RUIM f_L

DEFEITO NAS BAIXAS FREQ'S ∴ Investigar f_L do amplificador
!! Lembrar: BAIXAS FREQ'S ASSOCIADAS C/ DC / PARTE ESTÁTICA DA CURVA

RUIM MUITO RUIM

DEFEITO NAS ALTAS FREQ'S ∴ Investigar f_H do amplif., trocar transistor
!! Lembrar: ALTAS freq's tem a ver com transições.

Como Calcula Banda (regra prática):
mede tempo subida (RISE time) de 10% a 90% da onda quadrada

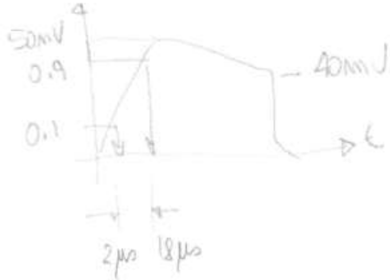
$$BW \simeq f_H \simeq \frac{0.35}{t_r} \quad \left(\text{Freq. Corte Superior}\right)$$

$$\%\,TILT = \frac{V-V'}{V} \cdot 100\% \qquad P = tilt = \frac{V-V'}{V}$$

$$f_{LO} = \frac{P}{\pi} f_S \quad \left(\text{Freq. CORTE Inferior}\right)$$

EL-APL-6

Ex: Aplico 1mV, 5KHZ onda quadrada e obtenho na saída do amplif.



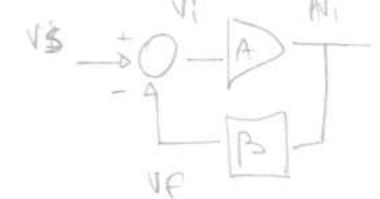
t_r = Rise time = $(18 - 2)\mu s = 16\mu s$

$BW = \frac{0.35}{t_r} = \frac{0.35}{16\mu s} = 21.875\,HZ \approx 21KHZ$

$P = \frac{V - V'}{V} = \frac{50 - 40}{50} = 0.2 \rightarrow f_{Lo} = \frac{0.2}{\pi} \cdot 5KHZ$

$f_{Lo} = 318.31\,HZ$

REALIMENTAÇÃO (Feedback)



$V_i = V_s - V_f$

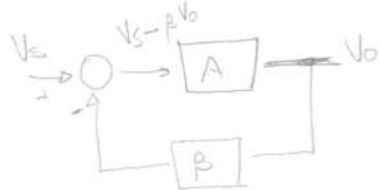
$V_o = AV_i = A(V_s - V_f)$

$V_f = \beta V_o = \beta A(V_s - V_f)$

Negative Feedback → subtrai a entrada da realimentação

Positive Feedback → soma a entrada c/ a realimentação

Realimentação Diminui o ganho



$V_o = A[V_s - \beta V_o] = AV_s - A\beta V_o \Rightarrow V_o[1 + A\beta] = AV_s$

$\frac{V_o}{V_s} = A_{V_F} = \frac{A}{1 + A\beta}$

Ganho s/ feedback: A

Ganho c/ feedback: $A/1 + A\beta$

reduzido pelo fator $(1 + A\beta)$

MAS:
- # Aumenta Zin
- # Estabiliza Av [lembrar RE no Emissor Comum] $A_V = -\frac{R_C}{R_E}$ vs $A_V = -\frac{R_C}{r_e}$ re depende bias, β, etc
- # Melhora resposta em frequencia
- # Reduz Zo
- # Reduz Ruído
- # Lineariza a resposta melhor

TIPOS REALIMENTAÇÃO
- # VOLTAGE SERIES (Tensão série)
- # VOLTAGE SHUNT (tensão paralelo)
- # CURRENT SERIES (corrente série)
- # CURRENT SHUNT (corrente paralelo)