

2do PARCIAL DE ELECTRONICA 1**01/07/04**

50705849

Resolver cada problema en hojas separadas y utilizando solo UNA carilla por hoja.

Duración de la prueba: 3 horas 30 minutos.

La prueba es sin material.

Los puntos indicados son sobre un total de 100.

PROBLEMA 1 (26 puntos)

- En el circuito de la Figura 1 todos los transistores son idénticos entre sí, habiendo n transistores de un lado y m del otro cómo se muestra en la figura. Determine la relación entre I_1 e I_2 .
- Considere el circuito de la Figura 2, donde T_3 es igual a T_4 . Determine la relación entre I_1 e I_2 , en particular I_1 en función de I_2 .
- Se arma el circuito de la Figura 3. Determine la corriente por la resistencia R_L en función m , n y R , si T_5 es idéntico a los restantes transistores pnp del circuito.
- ¿Qué condición deben cumplir m y n para que la corriente por R_L no sea nula?
- ¿Cómo depende la corriente por R_L de la temperatura?

NOTA: En todo el problema se supondrá que el β de los transistores es suficientemente grande como para poder despreciar las corrientes de base, V_{CC} (o los elementos a los que se conectan los circuitos en el caso de las Figs. 1 y 2) son adecuados para asegurar que todos los transistores operan en zona activa

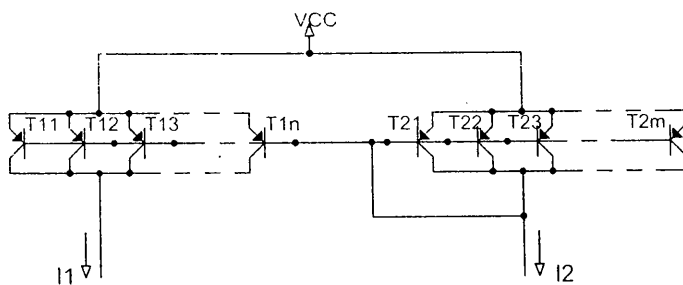


Figura 1

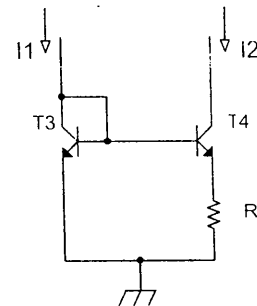


Figura 2

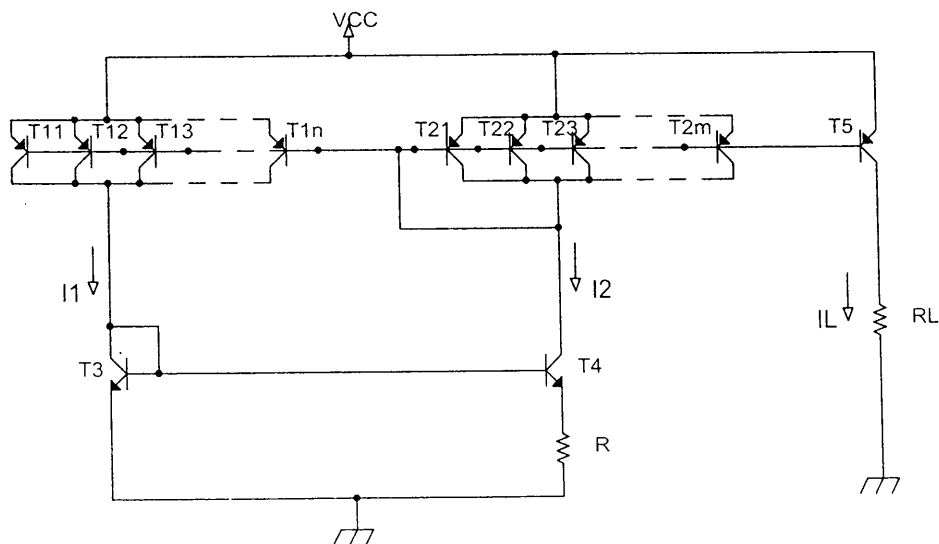


Figura 3

PROBLEMA 2 (27 puntos)

- a) En el circuito de la Figura 1 calcular la resistencia de entrada y ganancia en la zona plana de la misma, a frecuencias medias. Dar la expresión simbólica y numérica de ambos resultados, pero realizando para la expresión simbólica las simplificaciones que corresponda realizar considerando los valores de los componentes indicados en el circuito.
- b) ¿Cómo se comparan los resultados de la parte a) con los que se tendrían en la configuración clásica de la Fig. 2? ¿La configuración de la Fig. 1 brinda alguna mejora? Explique porqué si o porqué no.
- c) Si C_L y C_B se pueden suponer infinitos, dimensionar C_i para que la frecuencia de corte inferior del circuito sea de 10 Hz.

Datos:

$V_{CC}=15V$, $R_1=R_2=10k\Omega$, $R_B=100k\Omega$, $R_E=10k\Omega$ y $R_L=4.7k\Omega$,
 Q1: $\beta=200$, $V_{BE}=0.7V$

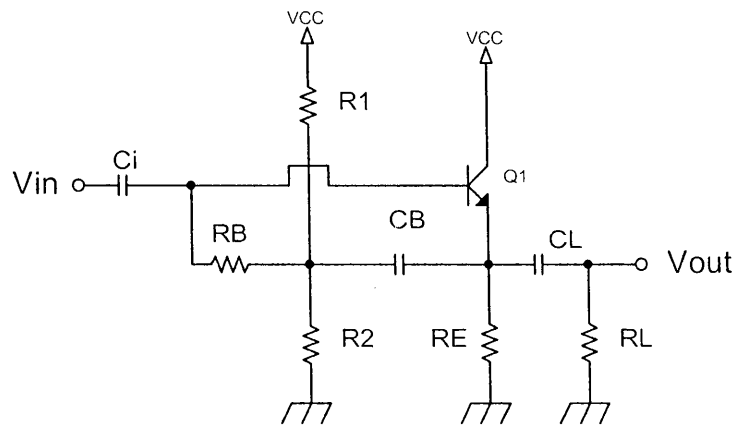


Figura 1

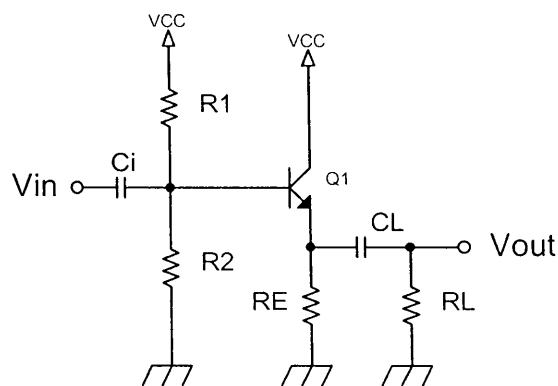


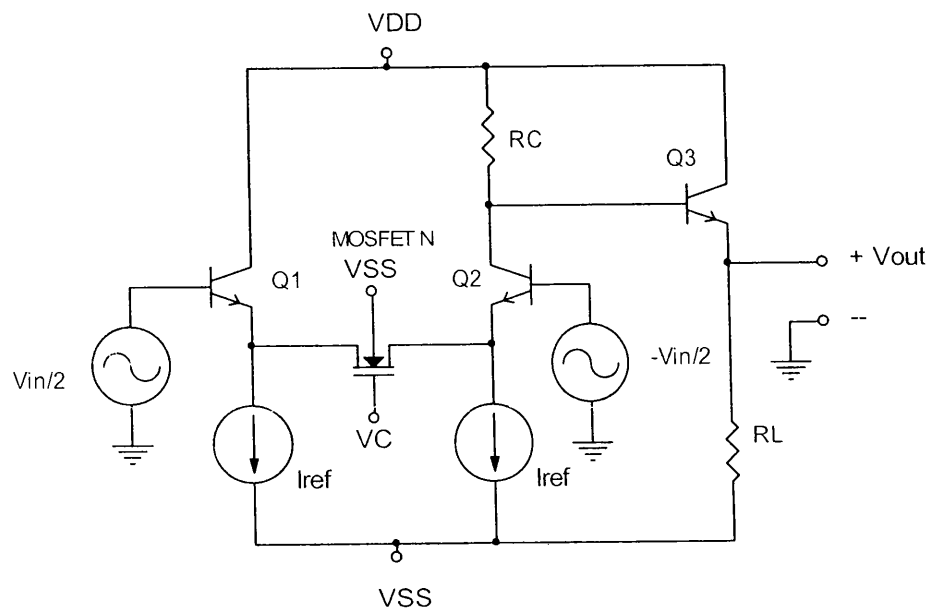
Figura 2

PROBLEMA 3 (27 puntos)

En el circuito de la figura se supone V_C tal que el transistor MOS opera en zona lineal y $V_{in} \ll V_C$.

- Hallar el valor de continua de V_{out} .
- Hallar la ganancia V_{out}/V_{in} .
- ¿Qué condición debe cumplir V_C para que el transistor MOS se comporte como se supuso?

Datos: $V_{SS} = -V_{DD}$, para todos los transistores bipolares $\beta \gg 1$ y tensión de Early infinita, para el transistor MOS $\delta = 0$ y tensión de Early infinita. Para el resto de los parámetros se usará la nomenclatura usual.



PROBLEMA 4 (20 puntos)

- a) Se tiene un inversor CMOS cargado con una capacidad C_L al que se aplica en la entrada un escalón ideal de 0 a V_{DD} . Indicar si el tiempo de propagación t_{pHL} es proporcional o inversamente proporcional a cada una de los siguientes magnitudes.

Magnitud	Proporcional o Inversamente proporcional
C_L	
V_{DD}	
$\beta = \mu \cdot C_{OX} \cdot (W/L)$	

- b) En una nueva generación tecnológica de la familia lógica CMOS, los parámetros tecnológicos cambian como se indica en la siguiente Tabla.

Parámetro	Se multiplica por	Comentario
L (largo del transistor)	(1/k)	
W (ancho del transistor)	(1/k)	
t_{OX} (espesor del óxido de puerta)	(1/k)	Por lo tanto la capacidad del óxido por unidad de área C_{OX} se multiplica por k.
V_{DD} (tensión de alimentación)	(1/k)	

Siendo k un número mayor a 1.

Se considerará que la capacidad de carga de las compuertas en un circuito integrado de esta tecnología esta dada exclusivamente por la capacidad vista hacia el gate de los transistores, la cuál es proporcional a $W \cdot L \cdot C_{OX}$.

- b.1) Al pasar un circuito dado de la tecnología vieja a la nueva, ¿por qué factores se multiplicarán el retardo de propagación, la máxima frecuencia de operación admisible y la potencia dinámica cuando se opera a esta máxima frecuencia admisible ?

- b.2) Si se desea mantener la frecuencia de operación que se tenía en la tecnología original al pasar a la nueva tecnología, ¿ Por qué factor se debe multiplicar V_{DD} ? ¿ Por qué factor se multiplica el consumo dinámico en este caso ?

Problema 1

a) Como el V_{BE} de todos los transistores es el mismo y los transistores son idénticos

$$\Rightarrow I_{C1} = I_{Cj}, \forall i \in (1 \dots m), \forall j \in (1 \dots m)$$

$$\Rightarrow I_1 = m \cdot I_{C1}, I_2 = m \cdot I_{C2}$$

$$\Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{m}{m}$$

b)

$$\left. \begin{array}{l} V_{BE3} = V_{BE4} + R I_2 \\ \parallel \qquad \qquad \parallel \\ V_T L \frac{I_1}{I_S} \qquad V_T L \frac{I_2}{I_S} \end{array} \right\} \Rightarrow R I_2 = V_T L \frac{I_1}{I_2}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_1 = I_2 \cdot e^{\frac{R I_2}{V_T}}}$$

c) $I_L = I_{C5} = \frac{I_2}{m} = \frac{I_1}{m}$, pues $T_5 = T_{ej} = T_{ji}$

Al conectar los dos circuitos:

$$I_3 = I_2 e^{R I_2 / V_T} = \frac{m}{m} \cdot I_2$$

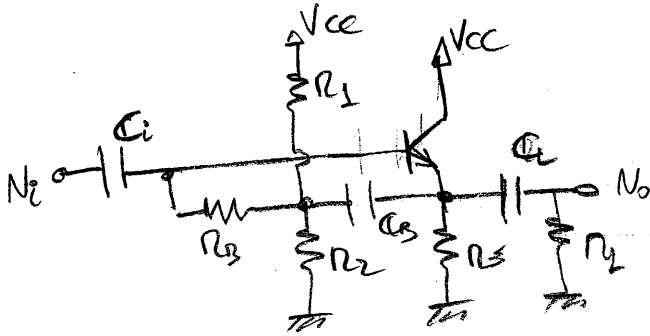
$$\Rightarrow \boxed{I_2 = \frac{V_T}{R} \cdot L \frac{m}{m}}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_L = \frac{V_T}{R \cdot m} \cdot L \frac{m}{m}}$$

d) Como los corrientes deben ser positivas, sólo los transistores cortarán $\Rightarrow \boxed{M > m}$

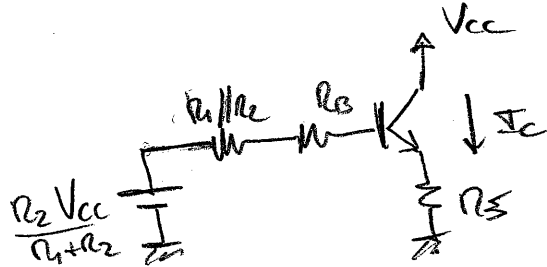
e) $I_L \propto T$, pues $V_T = \frac{kT}{q} \propto T$, es el único elemento dependiente de T la temperatura es T_L

2



(a) DC

Eg. Thevenin:



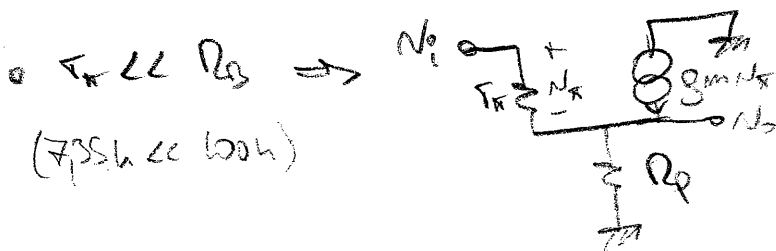
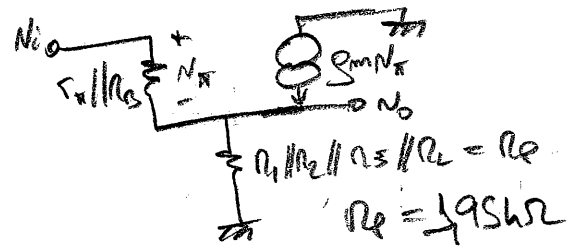
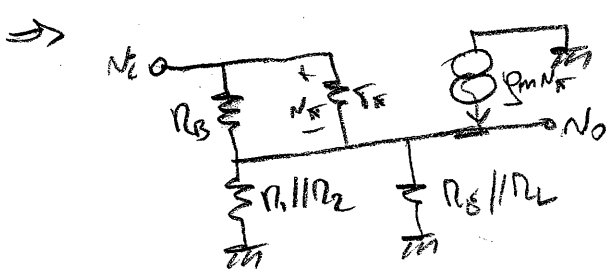
De pteco $I_B \Rightarrow V_B = \frac{V_{cc} R_2}{R_1 + R_2} = 7,5 \text{ V}$

$\Rightarrow V_E = 6,8 \text{ V} \Rightarrow I_E = 0,68 \text{ mA}$

$\Rightarrow I_B = 3,4 \mu\text{A} \Rightarrow (R_1 || R_2 + R_B) I_B = 0,36 \text{ V} \ll 7,5 \text{ V}$

\Rightarrow MOD. peg. señal: $\left\{ \begin{array}{l} g_m = 9,02725 \\ r_{\pi} = 7,354 \Omega \end{array} \right.$

AC A freq. mediana todos los Cs son cables



configuración seguidor clásico

②
 (c) (sigue)

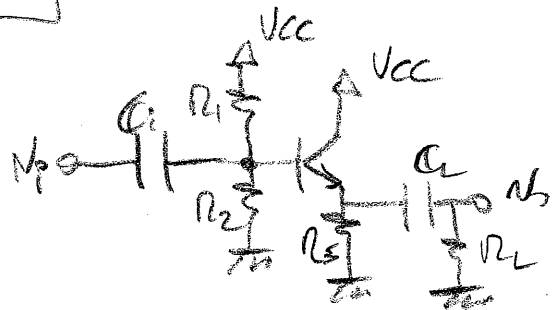


$$\Rightarrow \boxed{\begin{aligned} R_{in} &= r_{\pi} + (\beta + 1)R_P \\ R_{in} &\approx 400 \text{ k}\Omega \end{aligned}}$$

$$\frac{N_o}{N_i} = \frac{(\beta + 1)R_P}{(\beta + 1)R_P + r_{\pi}} = \frac{R_P}{R_P + 1/g_m}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{N_o}{N_i} \approx 1}$$

(b) Conf. clásica:



DC

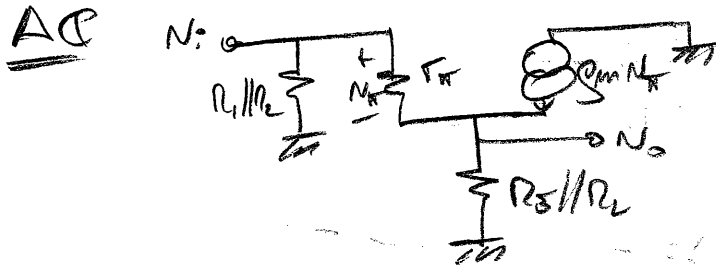
$$\text{sup. } I_B \ll I_{R_1, R_2}$$

$$\Rightarrow V_B = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow \boxed{I_C = 0.68 \text{ mA}}$$

$$\begin{aligned} I_B &= 3.9 \mu\text{A} \\ I_{R_1, R_2} &= 0.75 \text{ mA} \end{aligned} \Rightarrow I_B \ll I_{R_1, R_2} \checkmark$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} g_m &= 0.02725 \\ r_{\pi} &= 7.35 \text{ k}\Omega \end{aligned} \right.$$

② b) (sigue)



$$\Rightarrow R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel (R_5 + (\beta + 1)R_5 \parallel R_2)$$

$$\approx 650 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_1 \parallel R_2 = 5 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_{in} \approx R_1 \parallel R_2 = 5 \text{ k}\Omega$$

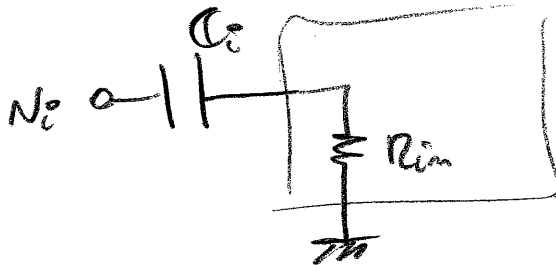
$$\frac{N_o}{N_i} = \frac{(\beta + 1)R_5 \parallel R_2}{(\beta + 1)R_5 \parallel R_2 + R_5} \approx \frac{R_5 \parallel R_2}{R_5 \parallel R_2 + \frac{1}{\beta}}$$

$$\Rightarrow \frac{N_o}{N_i} \approx 1$$

AMBAS CONFIGURACIONES IMPLEMENTAN SEGUIDORES (BUFFERS). SIN EMBARGO LA PRIMERA PRESENTA UNA $R_{in1} \gg R_{in2}$ (80 VECES). ESTO SE DEBE A QUE LA MISMA ACPLA EN SEÑAL LAS RESISTENCIAS DE POLARIZACIÓN (R_1 Y R_2) A LA SALIDA SUIVANDO ASI QUE LAS MISMAS DETERMINAN LA RESISTENCIA DE ENTRADA.

2b PARCIAL EL 2004

②
①



$$\Rightarrow f_{3dB} = \frac{1}{2\pi R_{in} C_i} = 10 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow C_i = \frac{1}{2\pi 4 \times 10^6} \Rightarrow \boxed{C_i = 40 \text{ nF}}$$

~~Handwritten scribble~~

3

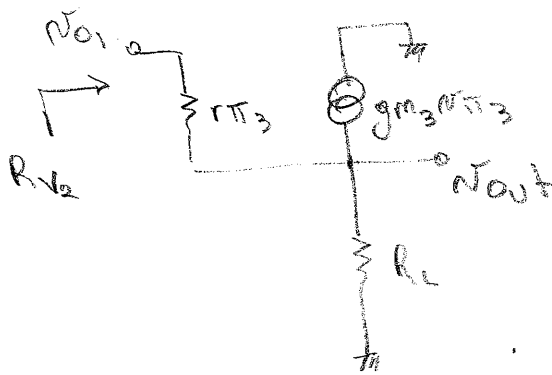
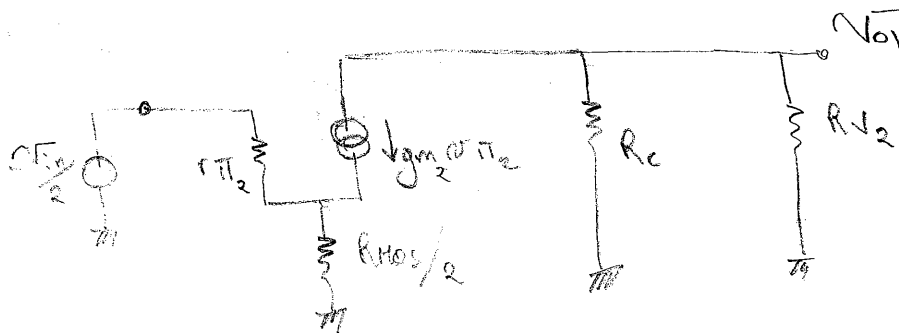
a) $I_{CQ2} = I_{ref}$

$V_{CQ2} = V_{CC} - R_C \cdot I_{ref}$

$V_{out} = V_{CQ2} - V_{BE3} = V_{CC} - R_C I_{ref} - V_{BE}$

b) Mos en zona lineal \approx resistencia $R_{mos} = \frac{1}{\beta(V_{GS} - V_T)}$

Entrada diferencial, transistores idénticos, considero solo Q_2 en señal:



$R_{V2} = r_{\pi 3} + (\beta + 1) R_C$

$v_{out} = (v_{in} - v_{out}) \left(\frac{1}{r_{\pi 3}} + \beta gm_3 \right) R_C$

$v_{out} = v_{in} - gm_3 R_C v_{out}$
 $\Rightarrow gm_3 R_C v_{out} = v_{in} - v_{out}$

$$\frac{V_{o1}}{V_{in}} = \frac{\beta (R_c \parallel R_{v2})}{(r_{\pi 2} + (\beta + 1) R_{Hos/2}) \cdot 2}$$

$$\Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{o1}} \cdot \frac{V_{o1}}{V_{in}} = \frac{g_{m3} R_L}{(1 + g_{m3} R_L)} \cdot \frac{\beta (R_c \parallel R_{v2})}{(r_{\pi 2} + (\beta + 1) R_{Hos/2}) \cdot 2}$$

c) Mos debe estar en zona lineal

$$\Rightarrow V_{gs} > V_T \quad (\text{I})$$

$$V_{ds} < V_{DSAT} = V_{gs} - V_T \quad (\text{II})$$

$$V_{gs} \approx V_c + V_{BE}$$

$$V_{ds} \approx V_{in} \approx 0$$

$$V_c + V_{BE} > V_T \Rightarrow V_c > -V_{BE} + V_T \text{ para cumplir (I)}$$

$$V_c + V_{BE} - V_T > 0 \Rightarrow V_c > -V_{BE} + V_T \text{ para cumplir (II)}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_c > -V_{BE} + V_T}$$

2do PARCIAL EI 2004

Prob. (4)

~~A~~

$$(a) t_{PHL} = \alpha \frac{C_L}{\beta V_{DD}} \Rightarrow$$

C_L	PROP.
V_{DD}	INV. PROP.
β	INV. PROP.

$$(b) \text{ b1) } C_L = WL C_{ox} \Rightarrow C_L' = \frac{W}{k} \frac{L}{k} k C_{ox} = \frac{C_L}{k}$$

$$\beta = \mu C_{ox} \frac{W}{L} \Rightarrow \beta' = \mu k C_{ox} \frac{W}{L} \frac{1}{k} = k\beta$$

$$\Rightarrow t_{PHL}' = \alpha \frac{C_L'}{\beta' V_{DD}'} = \alpha \frac{C_L/k}{k\beta V_{DD}/k} \Rightarrow t_{PHL}' = \frac{t_{PHL}}{k}$$

$$f_{max} = \frac{1}{t_{PHL}} \Rightarrow f_{max}' = \frac{k}{t_{PHL}} \Rightarrow f_{max}' = k f_{max}$$

$$P_{DYN} = C_L V_{DD}^2 f \Rightarrow P_{DYN}' = \frac{C_L}{k} \left(\frac{V_{DD}}{k}\right)^2 k f_{max}$$

$$\Rightarrow P_{DYN}' = P_{DYN} / k^2$$

Gracias al escalado de la tecnología
 podemos disminuir la frecuencia de operación
 en un factor k . Dado que la potencia
 dinámica DEPENDE DE $V_{DD}^2 \Rightarrow$ EL AUMENTO
 DE CONSUMO DINÁMICO BASTA DADO k k^2

2do PARCIAL EA 2004

4

b.2)

$$f'' = \frac{k\beta V_{DD}''}{C_L/k} = \beta \frac{V_{DD}''}{C_L} = f$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{DD}'' = V_{DD}/k^2}$$

SI MANTENEMOS LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN ANTERIOR, PODEMOS REDUCIR V_{DD} EN UN FACTOR k^2

$$\Rightarrow P_{dyn}'' = \frac{C_L}{k} \left(\frac{V_{DD}}{k^2}\right)^2 f \Rightarrow \boxed{P_{dyn}'' = \frac{P_{dyn}}{k^5}}$$

CON ESA REDUCCIÓN E V_{DD} PODEMOS LOGRAR (GRACIAS A LA DEPENDENCIA DE P_{dyn} CON V_{DD}^2) UNA REDUCCIÓN EN EL CONSUMO DINÁMICO DEL ORDEN DE k^5 !!