CMOS

MOSFET معایبِ

هرکدام از MOSFET های نوع n و P مزایا و معایبی دارند.

ابتدا نوع P و سپس نوع n را ساختند

سریع‌تر از نوع P بود.

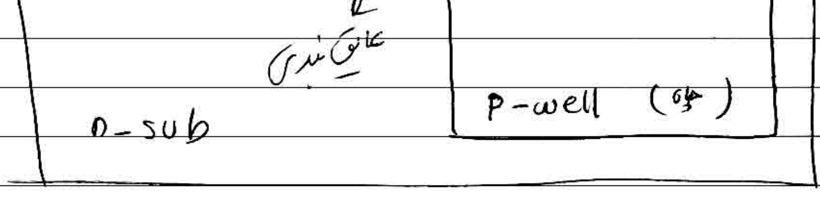
وقتی می‌خواهیم گیت طراحی کنیم از نوع دیگری از MOSFET به نام CMOS

استفاده می‌کنیم هر دو را کنار هم قرار می‌دهیم.

هزینه‌ی اضافه برای ساختش می‌دهیم که هر دو مدل n و P را کنار هم قرار می‌دهند

که باعث می‌شود به مزایایی دست یابیم. به طور مثال گیت not با CMOS

دارای توان صفر است.


PMOS
NMOS
S
G
D
S
G
P
p+
p+
SiO2
عایق‌بندی
n+
n+
p-well (چاه)
n-sub

برای ساخت

فرض می‌کنیم می‌خواهیم PMOS بسازیم.

ناخالصی P تزریق می‌کنیم.

در طرف دیگر n - sub است.

باید sub ← P داشته باشیم.

اما sub ← P نداریم همین در طرف دیگر n-sub داریم از P تخلیه کردیم

در طرف دیگر چاه P داریم. نفوذ الکترون‌ها را دارد. دو ناحیه‌ی n دارد

و ـــ (یعنی کارهایی را در فصل ۴ کردیم)

می‌تواند برعکس باشد یعنی sub ← P باشد چاه n داشته باشیم

چاه دوقلو هم می‌توانیم داشته باشیم دو چاه داشته باشیم ←

چاه n چاه p

باید از هم ایزوله شوند. با اکسید ← SiO2 را اول جلوتر در شکل‌ها ببینید

در ۳۰ ها اضافه می‌کنند.

مدارهایی که می‌خواهد ایجاد شود چند ترانزیستور باید کنار هم قرار بگیرد برای اینکه

روی همدیگر تأثیر نگذارند تا یکی دیودهایی که ما نمی‌خواهیم ایجاد شود.

تکنیک عایق بندی استفاده می‌کنند.

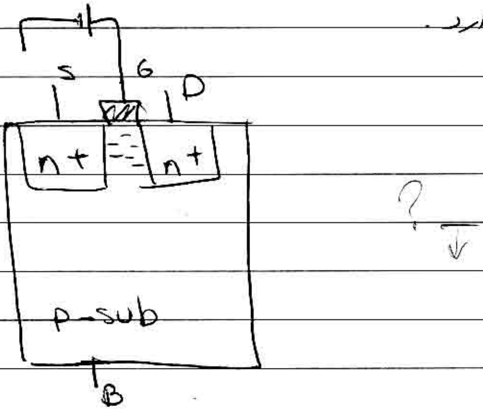
اگر نه ⇐ از B و S اختلاف دارند؟

بدنه را به S وصل می‌کنیم تا دیگر اختلاف ولتاژ نداشته باشیم و برای ما مشکلی ایجاد نکند.

اگر بدنه را به S وصل نباشد منفی V_{SB} داشته باشیم تاثیرش در فرمول این است

که روی ولتاژ آستانه دارد.

ولتاژ آستانه



V_{SB}

$$V_t = V_{t0} + \gamma\left[\sqrt{2\phi_f + V_{SB}} - \sqrt{2\phi_f}\right]$$

ولتاژ آستانه با صفر

پارامتر بدنه

اگر S و B وصل باشند → $V_{SB} = 0$

$V_{SB} > 0$ داشته باشیم → V_t را بالا می‌برد

ما می‌خواهیم کانالی از الکترون ⊖ ها ایجاد شود. ولتاژ مثبت بیشتری اعمال کنیم

تا کانال بتواند ایجاد شود.

ج) ترجیح می‌دهیم بدنه‌ها را به هم وصل کنیم.

در NMOS معمولاً بدنه‌ها و سورس پایینی‌ترین را می‌گیریم بدنه را به GND وصل کنیم

تا اختلاف ولتاژی نداشته باشیم.

ضعف روش: ممکن است نتوانیم این کار را انجام بدهیم؛ اگر نتوانیم این تاثیر

وجود دارد. اگر در مسئله عنوان شد لازم نیست اثر مدل گفته شده را

در نظر بگیریم ولی اگر گفته شد این تاثیر وجود دارد در کار است. باید اعمال کنیم.

جریان با V_t رابطه دارد.

$$I_D \sim K(V_{GS}-V_t)$$

اگر V_t تغییر کند به ازای V_{SB} که صفر نیست، V_t را زیاد کند

ج) جریان را کم می‌کند. روی جریان تاثیر ندارد.

ج) بدنه روی جریان تاثیری ندارد (سه) بدنه‌ها را به هم وصل می‌کنیم تا اثر

تاثیر را حذف کنیم.

اثر دما

دما تغییر کند روی $\left\{\begin{matrix} V_t \\ K \end{matrix}\right.$ تأثیرگذار است.

اگر دما زیاد شود ← V_t کم می‌شود.

$$I_D \downarrow\downarrow \sim K \downarrow\downarrow (V_{GS} - \overset{\downarrow\downarrow}{V_t})$$

علت: دما زیاد شود الکترون‌ها بیشتر حرکت می‌کنند، بارهای منفی می‌توانند کانال را پر کنند. مثبت‌ها می‌آیند پایین جا را خالی می‌کنند (با حرارت بیشتر)

دما $\uparrow\uparrow \longrightarrow K \downarrow\downarrow$

V_t کم و K ⇐ جریان کم می‌شود.

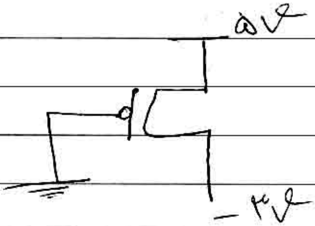
K نسبت مستقیم V_t نسبت عکس می‌بینیم برآیند تأثیری بیشتر

باید ببینیم کی غالب شود. (دما را زیاد می‌کنیم) در مجموع:

جریان کم می‌شود، غالب بودن K بیشتر است.

مثال:

در چه ناحیه‌ای است؟



$|V_t| = 4$ ولت

برای حل مسئله ابتدا فرض می‌کنیم چون PMOS افزایشی است.

$V_t<0$ است $V_t=-4$

در صورتی روشن است که V_{GS} منفی‌تر از V_t باشد.

مثبت تر را به S | $V_{GS} < V_t$
منفی تر را به D | ۱) ناحیه ✓ روشن $0-5 < -4$

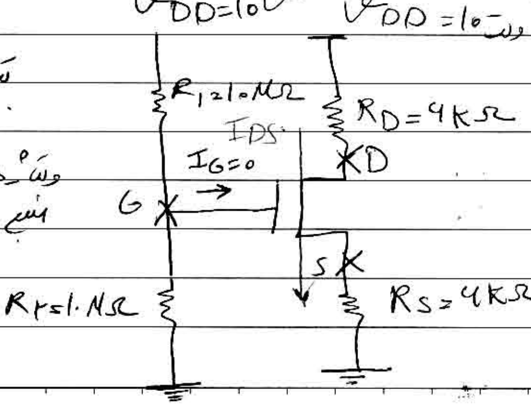
V_{DS} $V_{GS}-V_t$
در ناحیه اشباع است؟ $-3-5 < -5-(-4)$

در PMOS منبع دو منفی اعمال می‌کنیم
در N S به زمین
در P S ← وصل به باتری

مثال.

ترانزیستور در چه ناحیه‌ای کار می‌کند؟

$V_{DD}=10$ ولت


$V_{DD}=10V$
$R_1=10M\Omega$
$R_D=4K\Omega$
I_{DS}
$I_G=0$
D
G
S
$R_2=10M\Omega$
$R_S=4K\Omega$

ولتاژها را دقیق نمی‌دانیم معادلات را
منبع جریان را داریم

$V_t = 1$ ولت
$K_n = 0/5 mA/V^2$

معمولاً در N D ← وصل شده

معمولاً اگر دقیقاً نمی‌توانیم بگوییم در چه ناحیه‌ای کار می‌کند به یک ناحیه را فرض کنیم.

حل می‌کنیم تا برسیم به اینکه فرض اثبات می‌شود یا خیر. اگر شد نقض آن را ثابت کنیم.

$$v_G = \frac{10}{10M+10M} \times 10^M = ۵ \text{ ولت}$$

در NMOS $I_G = 0 \Rightarrow$ جریان گیت صفر است
دو مقاومت داریم که تقسیم ولتاژ شده.
به هر کدام ۵ ولت می‌رسد چون جریان نمی‌کشد.

$\left\{ \begin{array}{l} v_{GS} \\ v_{DS} \\ v_+ \end{array} \right.$

اگر روشن باشد. جریان I_{DS} به شکلی که کشیده شده وجود دارد.

چون جریان داشتیم ⇐ $v_D = v_{DD} - R_D I_{DS}$

$v_S = R_S I_D$

باید این دو را مقایسه کنیم v_{DS} $v_{GS} - v_+$

$v_{DD} - R_D I - R_S I$ ۵ $- R_S I - 1$
$10 -$ ۴$KI -$ ۴KI ۴ $-$ ۴KI
$10 -$ ۱۲KI ۴ $-$ ۴KI ①
دو طرف برحسب جریان است

در این جا نمی‌دانیم کدام طرف بزرگتر است => فرض می‌کنیم در ناحیه اشباع

است (جریان را می‌سنجیم که بعد قرار می‌دهیم تا درستی را بررسی کنیم)

فرض اشباع $I = K_n/2(V_{GS} - V_T)^2$

$\Rightarrow I = 0/5/2(5 - 6000I - 1)^2$

$\Rightarrow I \begin{cases} 0/89\,mA & V_{GS} = -0/34 < V_T \\ 0/5\,mA & V_{GS} = 2V > V_T \end{cases}$

غ ق ق
شرط روشن بودن را زیر سوال می‌برد.

ق ق

اگر این اشتباه بود می‌فهمیدیم فرض اشباع غلط است.

① شرط اشباع $4 - 6KI \qquad 10 - 12KI$

$4 - 6K \times 1/2 \qquad 10 - 12K \times 1/2$

$4 - 3 < 10 - 6$

$\boxed{4 > 1}$

$V_{DS} > V_{GS} - V_T$

=> فرض اشباع درست است. که این رابطه برقرار است.

=> چون نمی‌توانستیم دقیقاً ولتاژها را بدست آوریم فرض کردیم اشباع است.

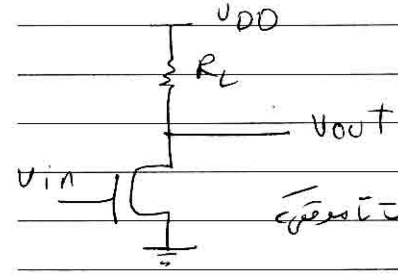
به علت ساده‌تر بودن معمولا اشباع ابتدا اشباع را فرض کردیم

I را بدست آوردیم از رابطه‌ی جریان.

سپس $V_{GS} > V_T$ را بررسی کردیم تا I قابل قبول را بدست آوریم

سپس در شرط اشباع وارد کردیم تا درستی را بررسی کنیم.

NMOS با بار مقاومتی
معکوس کننده



ساده ترین نوع معکوس کننده است.

کلید با ولتاژ کنترل می شود.

وقتی ولتاژ پایین می دهیم ترانزیستور که از ولتاژ آستانه گیت سورس است تا موقعی که کمتر است. که آن موقع خروجی مقدار high دارد.

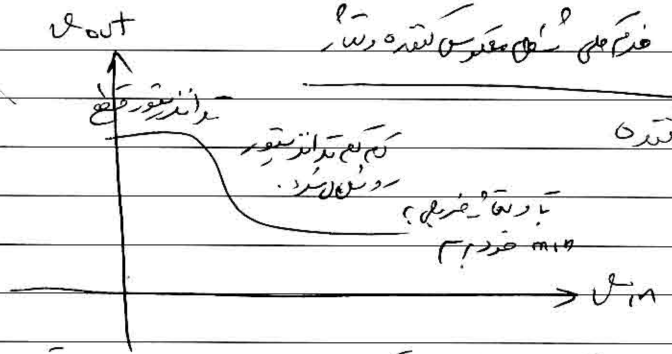
ولتاژ را اگر اضافه کنیم ترانزیستور می تواند روشن باشد. زمانی که بیشترین مقدار ولتاژ را به ورودی می دهیم خروجی دقیقاً طوری عمل می کند به زمین متصل وصل شده و خروجی مقدار low می گیرد.

ولی مقدار جریانی که می گذرد اندازه زیاد می شود که کل ولتاژ تقریباً روی مقاومت افت می کند.
باعث می شود $V_{DD}-RI$ تقریباً به صفر برسد ولتاژ خروجی min شود.
low می گیرد.

به همین خاطر می گوییم عین یک معکوس کننده باید عمل می کند.

هدف چیه؟ شکل معکوس کننده دیجیتال

VTC معکوس کننده



هدف این است که برای معکوس کننده های بعدی این منحنی را دقیق رسم کنیم

مقادیر دقیق این‌ها را می‌خواهیم.

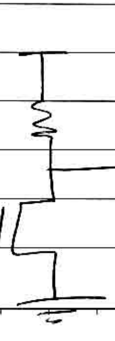
دو روش وجود دارد
۱ـ ترسیمی
۲ـ تحلیلی

هرگاه بخواهیم منحنی ولتاژ را رسم کنیم ابتدا باید V_{GS} V_{DS}

برحسب ولتاژ خروجی و ورودی بگوییم چقدر است؟

$$V_{GS} = V_{in} \qquad V_{DS} = V_{out}$$

هرجا بخواهیم می‌توانیم جای این‌ها را عوض کنیم

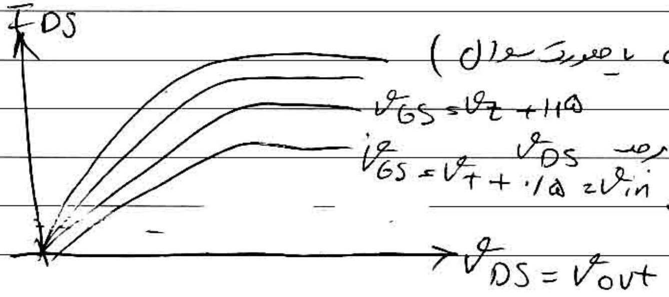


Subject: Date:

ترسیمی

باید منحنی جریان برحسب ولتاژ را ما برهند آن کاره‌ی ترانزیستور را بدانیم

(در datasheet یا صورت سوال)



$v_{GS} = v_T + 1/5$

$v_{GS} = v_T + 0/5 = v_{in}$

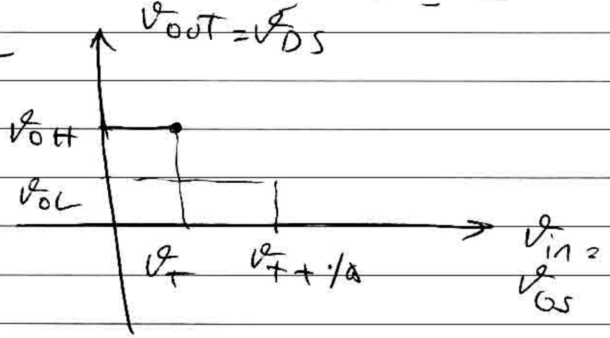
I_{DS} را برحسب v_{DS} دارند.

مقادیر دقیق v_{out} برحسب v_{in} را می‌خواهیم.

این شکل کلی است.

v_{GS} در یک بازه‌ی محدود تغییر می‌شود. به ازای v_{GS} های مختلف یک بازه برای v_{DS} می‌دهد. احتیاج به منحنی معادله خط مقاومت داریم تا منحنی بالا را قطع کند و ما مقادیر دقیق را بدست آوریم.

$I_{DS} = I_{RL}$



Pilavaran

$$I_{DS} = I_{RL} = \frac{V_{DD} - V_{out}}{R_L} = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_L}$$

$$I_{DS} = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_L}$$

برای رسم معادله بالا به دو نقطه احتیاج داریم.

$$\begin{cases} V_{DS} = 0 \Rightarrow I_{DS} = \frac{V_{DD}}{R_L} \\ V_{DS} = V_{DD} \Rightarrow I_{DS} = 0 \end{cases}$$

منحنی خط مقاومت به شکل اول است.

نقاط تقاطع را اگر رسم کنیم شبیه شکل مقدار اول است. ولی باید اعداد دقیق داشته باشیم تا مقادیر دقیق به دست بیاید.

اگر اعداد دقیق را نداشته باشیم نمی‌توانیم مقادیر دقیق نقاط کاری را به دست آوریم احتیاج به دقت زیادی دارد. (کاغذ شطرنجی) تقریبی نباشد به همین علت معمولاً به سراغ این روش نمی‌رویم.

۱۱ روش تحلیلی ۱۷

در نقاط بحرانی وضعیت ترانزیستور را مشخص کنیم سپس بر اساس وضعیتی که مشخص کردیم مقدار دقیق را بدست می آوریم.

وضعیت ترانزیستور	نقاط بحرانی
cut-off قطع	v_{OH}
saturation اشباع	v_{IL}
saturation "	v_M
Linear خطی	v_{IH}
Linear "	v_{OL}

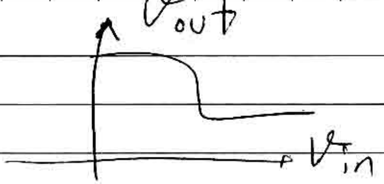
v_{OH} ← ولتاژ ورودی کم به ورودی می دهیم در خروجی ولتاژ زیر آستانه باشد نتواند ترانزیستور را نتواند روشن کند.

ولتاژ ورودی پایین می دهیم تا خروجی بالا بگیریم.

تقریبا v_{DD} است.

$$v_{out} \underset{\text{میل می کند}}{\longrightarrow} v_{DD}$$

$v_{in} = v_{GS} = 0 < v_T \Rightarrow$ ترانزیستور قطع cutoff



بیشترین مقداری که v_{in}

؟ $\boxed{v_{IL}}$ صفر است.

جایی که مشتق شیب را عوض می‌کند

$\boxed{v_{OH}}$

$v_{in} > v_T$

$v_{out} \rightarrow v_{DD}$ است

$\Rightarrow v_{GS} > v_T$ ترانزیستور خاموش

نزدیک v_{DD} است می‌خواهد افت کند

باید بیشترین که در ناحیه خطی است باشیم.

v_{IL}

$v_{DS} > v_{GS} - v_T$ ترانزیستور در حالت اشباع می‌رود.

v_{DD} عدد بزرگ‌تر هستند که از دو نقطه دیگر کل بزرگ‌تر است. → عدد کوچک هست.

$\boxed{v_M}$

$v_{in} = v_{out} = v_M \rightarrow v_{GS} = v_{DS}$

$\Rightarrow v_{GS} - v_T < v_{DS}$ اشباع

به اندازه‌ی ولتاژ آستانه کم می‌کنیم.

در بیشتر اوقات در v_M در حالت اشباع قرار داریم

$\boxed{V_{IH}}$

جایی است که ورودی انقدر بالا است که
به max مقدار خودش برسد.
به V_{DD} نزدیک شده ولی برابر نیست یعنی مقدار کمتر است

در مقابل خروجی به min مقدار خود در حال نزدیک شدن است

صفر ← دقیقاً صفر نیست.

$V_{in} \to V_{DD}$

$V_{out} \to 0$

$V_{DS} \quad V_{GS}-V_t$

$0\uparrow < V_{DD}-V_t$ خطی.

$\boxed{V_{OL}}$

$V_{in} \to V_{DD}$ ورودی max مقدار خود
$V_{out} \to 0$ خروجی min مقدار
خودش را دارد.

$V_{DS} \quad V_{GS}-V_t$

$0 < V_{DD}-V_t$ خطی

حال که تحلیل انجام شد می‌خواهیم بتوانیم مقادیر دقیق نقاط را بدست
بیاوریم.

عمل گفته شده برای دو ترانزیستور بعدی صادق است.

با یک مثال مقادیر مشخص نقاط بحرانی را بدست می‌آوریم تا با روابط بیشتر آشنا شوید.
برای راحتی کار با مثال مسئله را ادامه می‌دهیم.
مثال. مقادیر مشخص نقاط بحرانی را بیابید.

$R_L = 12K\Omega \ , \ V_{DD} = 5V$

$K' = 20\mu A/V^2 \ , \ V_T = 1V \ , \ W/L = 10/2 \frac{\mu m}{\mu m}$

$K_n = K'_n (W/L)$
$K_p = K'_p (W/L)$

* دقت Kn متفاوت است به جای $K' , W/L$ ← K_n
را بدهند.

$\boxed{V_{OH}}$ ترانزیستور قطع است $\Rightarrow I_{DS} = 0$

$$I_{RL} = I_{DS} = 0 \Rightarrow \frac{V_{DD} - V_{OUT}}{R_L} = 0$$

$$\Rightarrow V_{OUT} = V_{OH} = V_{DD} = 5$$

← مقدار هدف است و افت ندارد.
ممکن است در معکوس کننده‌های بعدی افت داشته باشیم.

معمولاً V_{OH} , V_{OL} را چون ساده‌تر است ابتدا حساب می‌کنیم.

سپس V_M و بعد V_{IH} , V_{IL}.
ممکن است در امتحان گفته باشم کدام را حساب کنید.

معمولاً فقط ما شماها توی تمرین بالایی $\left.\begin{matrix} v_{IH} \\ v_{OH} \end{matrix}\right\}$ را می‌خواهند

$\boxed{v_{OL}}$ خطی

$$I_{DS} = K[(\boxed{v_{GS}} - v_T) v_{DS} - v_{DS}^2/2]$$

$$I_{DS} = 2\times10^{-4} \times 10/2\,[(5-1)\,v_{out} - v_{out}^2/2] \quad ①$$

ولتاژ ورودی است v_{in}

v_{OL} ~~High~~ High ولتاژ ورودی ← د ← نی ← خروجی فقط وقتی

وقتی ۵ = high نبود داریم فرض می‌کنیم low را فراهم نبریم

حال

۵ = ورودی high است.

اصلاح: این مدار یک ترانزیستور داریم که با یک مقاومت.

$$I_{DS} = I_{RL} = \frac{v_{DD} - v_{out}}{R_L} \quad ②$$

$$2,1 \to 10^{-4}.[4v_{out} - v_{out}^2/2] = \frac{5 - v_{out}}{10\times10^3}$$

$$\Rightarrow v_{out} = v_{OL} = \frac{10 \pm \sqrt{60}}{2} \begin{cases} [illegible] \\ [illegible] \end{cases}$$

وقتی دو جواب بدست می‌آوریم قطعاً باید یکی حذف شود. معمولی اوقات ولی؟

منفی بدست می‌آوریم چون رنج ما بین ۰ ـ ۵ هست است

منفی حذف می‌شد. تا اینجا رنج ما ۰ می‌آید بیشتر از ۵ است پس آن حذف می‌شود.

v_{OL} جواب سوال ۲. ۰/۲

۰/۵

باید بررسی کنیم در شرط ترانزیستور ناحیه قطع باشد یا ناحیه مقاومتی باقی می ماند.

تا همین الان درست بودن انتفاضی می کند $>v_+$

اگر در شرط صدق کند ق ق است.

اگر دو جواب بدست داشته باشیم باید برای طراح سوال بنویسیم.

۲) دو جواب بدست در آوردیم دوتای منفی نیست.

$\boxed{v_m}$

v_M اشتباه

$v_{in} = v_{out} = v_m$

$$I_{DS} = I_{RL} = \frac{V_{DD} - v_{out}}{R_L}$$

$$\Rightarrow \frac{25 \times 10^{-6}}{2} \cdot 10/2 \,[v_m - 1]^2 = \frac{5 - v_m}{10 \times 10^3}$$

رابطه اشتباه را با I_{RL} برابر قرار می دهیم

$$\Rightarrow (v_m - 1)^2 = 10 - 2v_m \Rightarrow v_m \begin{cases} +3 & \text{ق ق} \\ -3 \end{cases}$$

منفی غ ق است

* باید دقت کنیم v_{in} ، v_{out} در حالتهای مختلف متفاوت است
v_{DS} v_{GS}

$\boxed{v_{IL}}$

اشباع، در این نقطه است . v_{IL}

$$I_{DS} = K/2 (v_{GS} - v_T)^2$$

$$I_{RL} = \frac{v_{DD} - v_{out}}{R_L}$$

$$\Rightarrow 20 \times 10^{-6}/2 \times 10/2 (v_{in} - 1)^2 = \frac{5 - v_{out}}{10 \times 10^3}$$

بجای v_{GS} می‌توانیم مقدار بذاریم v_{in} را جایگذاریم

می‌دانیم ورودی مقدار low را دارد اما نمی‌دانیم دقیقاً چقدر

است . مقدار دقیق v_{out} را هم نمی‌دانیم می‌دانیم ا

high مقدار است گفته شد اما نمی‌دانیم مقدار دقیق چقدر است ،

$$\Rightarrow \frac{dv_{out}}{dv_{in}} = -1$$

v_{IH} ، v_{IL}

$$\downarrow$$

$$\frac{dv_{out}}{dv_{in}} = -1$$

از این نکته استفاده می‌کنیم تا معادله ۲ مجهول را تک‌مجهول کنیم .

$\frac{1}{2}(v_{in}-1)^2 = 8 - v_{out}$

$\Rightarrow v_{in}-1 = -\cancel{\frac{dv_{out}}{dv_{in}}}^{\,-1}$

$\boxed{\Rightarrow v_{in}-1 = -(-1) \Rightarrow v_{in} = 2 = v_{IL}}$

چون v_{IL} را می‌خواستیم و به out ربطی ندارد، و مشتق گرفتیم

بدست آمد. ولی ممکن است این حالت پیش نیاید، v_{out} منفی

شود، مجبوریم با جفت‌های اول ۲ معادله ۲ مجهول کنیم تا

v_{IL} را بدست آوریم.

$\boxed{v_{IH}}$

$I_{DS} = K[(v_{GS}-v_T)v_{DS} - v_{DS}^2/2]$

$I_{RL} = \frac{v_{DD}-v_{out}}{R_L}$

$\Rightarrow 20\times10^{-6} \times 10/2\,[(v_{in}-1)v_{out} - v_{out}^2/2]$

$= \frac{5 - v_{out}}{10\times10^3}$ ①

$dv_{out}/dv_{in} = -1$

$\Longrightarrow$

$$v_{out} + (v_{in} - 1)\frac{dv_{out}}{dv_{in}} - \frac{dv_{out}}{dv_{in}} v_{out} = \frac{-dv_{out}}{dv_{in}}$$

چطور نوشتی گرفت ?

$\Rightarrow v_{out} - v_{in} + 1 + v_{out} = 1$

$\Rightarrow ۲v_{out} - v_{in} = 0$ ②

$۱،۲ \Rightarrow ۲v_{out} = v_{in} \Rightarrow v_{out} = v_{in}/۲$

$10^{-۴}[(v_{in} - 1)\, v_{in}/۲ - (v_{in}/۲)^۲/۲]$

$= \frac{۵ - v_{in}/۲}{۲}$

$\Rightarrow ۲\times10^{-۴}[\frac{v_{in}^۲ - 1}{۲} - v_{in}^۲/۴]$

$= ۵/۲ - v_{in}/۴$

$\Rightarrow 10^{-۴} v_{in}^۲ - 10^{-۴} - 10^{-۴} v_{in}^۲/۲$

$= ۵/۲ - v_{in}/۴$

$\Rightarrow ۴\times10^{-۴} v_{in}^۲ - ۴\times10^{-۴} - ۲\times10^{-۴} v_{in}^۲ - 10 + v_{in} = 0$

$۲\times10^{-۴} v_{in}^۲ - 10,000۴ + v_{in} = 0$

$1 - ۴(۲\times10^{-۴})(-10,000۴) = 1,00۸000۳۲$

$$\frac{-۱ \pm \sqrt{۱٫۰۰۸۰۰۰۴۲}}{۴ \times ۱۰^{-۴}} = \Big\langle \quad \pm \sqrt{۴۰}/۲$$

$+\sqrt{۴۰}/۲$ ق ق است.

ادامه مثال: حاشیه نویز بالا و پایین را بدست آورید.

$NM_H = |V_{OH} - V_{IH}|$

$NM_L = |V_{OL} - V_{IL}|$

ممکن است از ما فقط حاشیه نویز را بخواهند ⇐ فقط ولتاژ مربوطه را بدست می‌آوریم.

توان متوسط است

ولتاژ تغذیه × $/۲$ جریان ترانزیستور خروجی high +
low " " "

$\boxed{\text{NMOS با بار مقاومتی (فقط)}}$ برای

جریان ترانزیستور خروجی high برابر ⇐ $I_{OH} = 0$

چون در V_{OH} ترانزیستور قطع است

$$I_{OL} = \frac{V_{DD} - V_{OL}}{R_L}$$

متوسط توان مصرفی در حالت استا

$$\boxed{P = \frac{I_{OH} + I_{OL}}{۲} V_{DD}}$$

باید ببینیم برای چه مقدارهایی برقرار می‌شود بین I_{OH} مقدار می‌دهیم.
برای I_{OL}

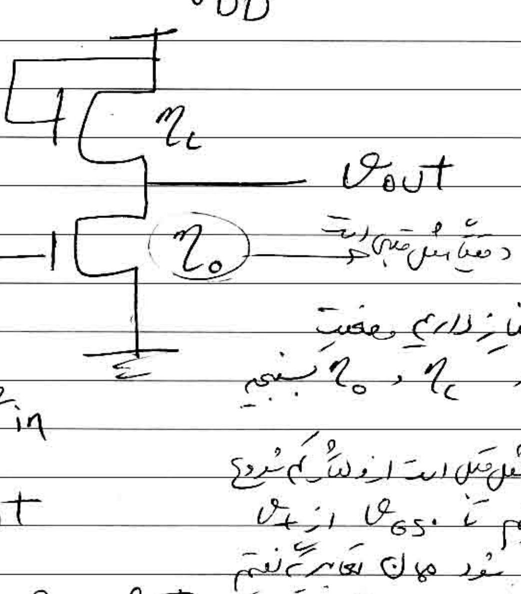
وقتی Q high ضد است.

اشکالش در مورد مقاومت است. وقتی v_{OL} دقیقاً صفر نیست
مقاومت در هنگام ساخت جای زیادی اشغال می‌کند.

ترجیح می‌دهند یک ترانزیستور به جای مقاومت قرار بدهند.

معکوس کننده NMOS با بار افزایشی

یعنی به جای مقاومت ترانزیستور قرار می‌دهد.



درایو هم نیاز داریم یعنی باید M_L و M_0 ببینیم

$v_{GS0} = v_{in}$

M_0 مثل قبل است از ولتاژ صفر شروع می‌کنیم تا v_{GS0} از v_t بیشتر شود چون تغییری نکنیم

$v_{DS0} = v_{out}$

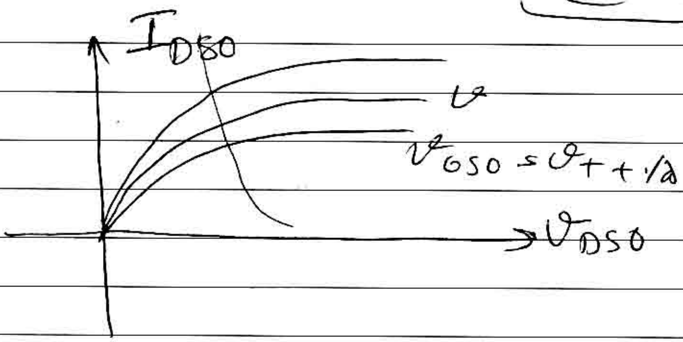
درین هم همان قبل است

$v_{GSL} = v_{DSL} = V_{DD} - v_{out}$

ج) برای M_L باید حساب کنیم.

$v_{GSL} = v_{DSL} \Rightarrow v_{GSL} - v_T < v_{DSL}$

$\boxed{\{ \text{اشباع} }$ ترانزیستور



می‌توانیم از روش ترسیمی یک سری مقادیر تقریبی بدست آوریم
(دقیق)

برای روش ترسیمی

برای ترانزیستور η_0 باید I_{DS} برحسب v_{DS} را داشته باشیم

منحنی دیگری می‌خواهیم که منحنی بالا را قطع کند ـ مقادیر جریان

$I_{DSO} = \overset{\downarrow}{I_{DSL}}$

$\Rightarrow K/2\,[(v_{GSL} - v_{TL})^2] = K/2\,(v_{DD} - v_{out} - v_{TL})^2$

$K/2\,(v_{DD} - v_{DSO} - v_{TL})^2$

نیاز داریم مقادیر دقیق بدانیم. نقاط تقاطع را نیز داریم.

محدودیت این روش: اگر منحنی نداریم جهت بدست آوردن نقاط تقاطع مشکل است.

روشن عملی η_L	وضعیت η_0	نقاط بحرانی
اشباع	قطع	V_{OH}
"	اشباع	V_{IL}
"	اشباع	V_M
"	خطی	V
"	خطی	V
"		

این بار هم صورت با رابطه‌ی مقادیر دیگر را بدست می‌آوریم.

$\boxed{V_{OH}}$ چون جریان هاشون است =) صفر
← قطع

η_L ← در فرمول داریم ← اشباع
باز هم صفر است

$$I_{DS0} = I_{DSL} \Rightarrow V_{GSL} - V_{tL} = 0$$

$$I_{DSL} = K/2 (V_{GSL} - V_{tL})^2 \Rightarrow I_{DSL} = 0$$

$$\Rightarrow V_{DD} - V_{OUT} - V_{tL} = 0$$

$$V_{OUT} = V_{OH} = V_{DD} - V_{tL}$$

high خروجی به ما می‌دهد. با این هم این منطق را دارد چون که تری

منطق بر پایه نسبت مقاومت چون ترانزیستور است.

$\boxed{V_{OL}}$

$I_{DSL} = K/2(V_{GSL} - V_{tL})^2$ اشباع

$I_{DSO} = K[(V_{GSO} - V_{tO})V_{DSO} - V^2_{DSO}/2]$ خطی

دقت کنید $V_{in} = high = V_{OH} = V_{DD} - V_{tH}$

تا در تقریب‌های V_{in} همان را نداریم.

[illegible] V_{tL} [illegible]

$\Rightarrow K/2 \quad (V_{DD} - V_{out})^2$

$= K[(V_{DD} - V_{tL} - V_{tO})V_{out} - V_{out}^2/2]$

$V_{out} = V_{OL} = ?$ معادله درجه ۲

که وقت نوشتنش نیست

$\boxed{V_M}$

$I_{DSL} = K/2\,(V_{GSL} - V_{tL})^2$

$I_{DSO} = K/2\,(V_{GSO} - V_{tO})^2$

$$\upsilon_{in} = \upsilon_{out} = \upsilon_m$$

چرا؟

$$\Rightarrow K/2\,(\upsilon_{DD} - \upsilon_{out} - \upsilon_{tL})^2 = K_0/2\,(\upsilon_{in} - \upsilon_{t0})^2$$

$$\Rightarrow K_L(\upsilon_{DD} - \upsilon_M - \upsilon_{tL})^2 = K_0(\upsilon_m - \upsilon_{t0})^2$$

$\Rightarrow \upsilon_m$ بدست میاد.

$\boxed{\upsilon_{IL}}$

$$I_{DSL} = K/2\,(\upsilon_{GSL} - \upsilon_{tL})^2$$

$$I_{DS0} = K/2\,(\upsilon_{GS0} - \upsilon_{t0})^2$$

از کجا [illegible] که $\upsilon_{GSL} = \upsilon_{DSL}$ هست؟

$$\Rightarrow KL/2\,(\upsilon_{DD} - \upsilon_{out} - \upsilon_{tL})^2 = K_0/2\,(\upsilon_{in} - \upsilon_{t0})^2 \quad ①$$

$$\Rightarrow d\upsilon_{out}/d\upsilon_{in} = -1 \quad ②$$

$\Rightarrow$ ۱ و ۲ $\rightarrow \upsilon_{in} = \upsilon_{IL}$

$\boxed{\upsilon_{IH}}$

$$I_{DSL} = K_L/2\,(\upsilon_{GSL} - \upsilon_t)^2$$

$$I_{DS0} = K_0\left[(\upsilon_{GS0} - \upsilon_{t0})\,\upsilon_{DS0} - \upsilon_{DS0}^2/2\right]$$

مثل υ_{IL} است.

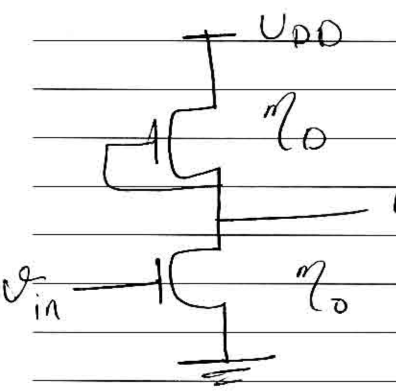
$\Rightarrow K_L/\text{۲}\,(v_{DD} - v_{out} - v_{tL})^{\text{۲}}$

$= K_o[(v_{in} - v_{to})v_{out} - v_{out}{}^{\text{۲}}/\text{۲}]$ ①

$\frac{dv_{out}}{dv_{in}} = -1$

$\xrightarrow{\hspace{3cm}} \text{۲} \Rightarrow \text{۱} ، \text{۲} \Rightarrow v_{in} = v_{IH}$

معکوس کننده NMOS با بار تخلیه‌ای (تهی شده)



$v_{GSO} = v_{in}$
$v_{DSO} = v_{out}$
$v_{GSD} = 0$
$v_{DSD} = v_{DD} - v_{out}$

$M_D : v_{tD} < 0$

$v_{GSD} = 0 > v_{tL}$ $v_{tD}?$

همواره روشن