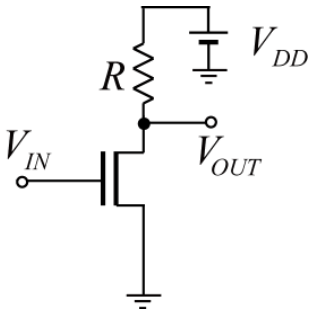
第２回講義メモ

ソース接地　MOSFET



V_{th} ＝ 0.5V　V_{DD}=2.5V　抵抗　1ｋΩ　としよう。V_{eff}=1V のときの飽和電流は 10mA　としたら、V_{IN} がいくつの時に飽和状態になっている？$0 < V_{eff} = (V_{IN} - V_{th}) < V_{DS}$ が基本　まず $V_{IN} > V_{th}$ は容易に判る。飽和していると $V_{OUT} = V_{DD} - I_{DS}R$　$I_{DS} = \frac{W}{2L}\mu C_{OX}(V_{IN} - V_{th})^2$ なので、

$V_{DD} - \frac{W}{2L}\mu C_{OX}(V_{IN} - V_{th})^2 R > V_{IN} - V_{th}$ ならば良い。

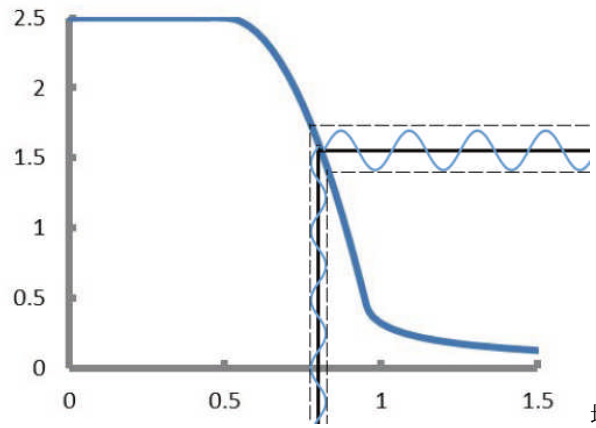
$0 > \frac{W}{2L}\mu C_{OX}(V_{IN} - V_{th})^2 R + V_{IN} - V_{th} - V_{DD}$

ここで値を入れると $0 > 10(V_{IN} - V_{th})^2 + V_{IN} - V_{th} - 2.5$

これが満たされるのは、$\frac{-1 \pm \sqrt{1+100}}{20} \simeq 0.4525$ よりも $V_{IN} - V_{th}$ が低い必要がある。V_{th}=0.5V なので飽和状態になるためには入力は 0.5V から 0.9525V の間である必要がある。この飽和状態でいられる電圧幅は R が大きいほど、またトランジスタの駆動能力が大きいほど小さくなる。

その間では、$V_{OUT} = V_{DD} - I_{DS}R = V_{DD} - \frac{W}{2L}\mu C_{OX}(V_{IN} - V_{th})^2 R$ と放物線上に落ちていく。

また、小さな変化を入力に与えたときの出力の変化＝増幅度・ゲインは $\frac{\partial V_{OUT}}{\partial V_{IN}} = -\frac{W}{L}\mu C_{OX}(V_{IN} - V_{th})R$ となり、その絶対値は、V_{IN} が大きいほど、R が大きいほど、大きくなる。数値を入れると、V_{eff} が 0.1V だと-2 だけど、V_{eff} が 0.4V だと-8 になる。



増幅のイメージ

0.9525V のとき、電流は 10x0.4525^2＝2.05mA　V_{OUT} は 0.452V　　利得は-9 くらい

一方、0.9525V を超えると、線形領域に入る。

$V_{OUT} = V_{DD} - I_{DS}R$　は同じだが、$I_{DS} = \frac{W}{L}\mu C_{OX}\{(V_{IN} - V_{th})V_{OUT} - \frac{V_{OUT}{}^2}{2}\}$

なので、V_{OUT}と V_{IN}の関係は$V_{OUT} = V_{DD} - \frac{W}{L}\mu C_{OX}\{(V_{IN} - V_{th})V_{OUT} - \frac{V_{OUT}{}^2}{2}\}R$

$$0 = \frac{V_{OUT}{}^2}{2} - \frac{L}{WR\mu C_{OX}}V_{OUT} - (V_{IN} - V_{th})V_{OUT} + \frac{L}{WR\mu C_{OX}}V_{DD}$$

$0 = V_{OUT}{}^2 - 2(V_{IN} - V_{th} + \frac{L}{WR\mu C_{OX}})V_{OUT} + \frac{2L}{WR\mu C_{OX}}V_{DD}$ なので、

$$V_{OUT} = V_{IN} - V_{th} + \frac{L}{\mu C_{OX}WR} \pm \sqrt{\left(V_{IN} - V_{th} + \frac{L}{\mu C_{OX}WR}\right)^2 - \frac{2LV_{DD}}{\mu C_{OX}WR}}$$

となる。

いまの数$\frac{W}{L}\mu C_{OX}R = 20$ と V_{DD}=2.5V、V_{TH}　＝　0.5V を入れると、

$$V_{OUT} = V_{IN} - 0.5 + \frac{1}{20} \pm \sqrt{\left(V_{IN} - 0.5 + \frac{1}{20}\right)^2 - \frac{1}{4}}$$

で、足し算の方をとると、$V_{OUT} \simeq 2V_{IN} - 1$なので、合わない。引き算の方。

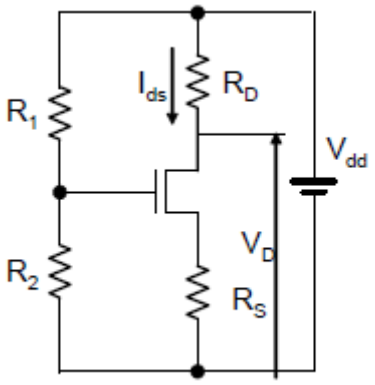
$$V_{OUT} = V_{IN} - 0.45 - \sqrt{(V_{IN} - 0.45)^2 - 0.25} \qquad \frac{\partial V_{OUT}}{\partial V_{IN}} = 1 - \frac{V_{IN} - V_{th} + \frac{L}{\mu C_{OX}WR}}{\sqrt{\left(V_{IN} - V_{th} + \frac{L}{\mu C_{OX}WR}\right)^2 - \frac{2LV_{DD}}{\mu C_{OX}WR}}}$$

これを計算すると、せっかく-9 までいった利得が、V_{IN}=1V のときにもう、-1.4 まで落ちているのが判る。1.1V では、－0.6 と 1 を下回って増幅が無くなる。

<u>バイアス</u>

入力を直流成分と交流成分に分けて考えよう。
普通は、交流成分の方が直流成分より小さく、直流成分が前で述べたどの電圧で動作して、どのようなゲインが出るかが決まる。
一方交流成分に情報が載っている。
そこで、直流成分をバイアス、交流成分を信号成分と呼ぶ。

どのようなバイアスに設定するかであるが、しきい値電圧などに依存していることは判る。
困ったことに、しきい値はバラついたりする。すると作ったトランジスタに依存して、回路の動きが変わる。
ここで、このしきい値依存性が小さくなるようにバイアスする回路を作ろう。
まずは抵抗を使って設定しよう。現在の集積回路では抵抗をつくるのとトランジスタを作るのでは、トランジスタを作る方が安かったりするので、電流ミラーなどを用いたりするが、当初の理解は抵抗の方が簡単である。



ゲートには直流電流は流れないので、ゲートにかかる電圧はR_1とR_2の比で決まる。$V_G = V_{DD}\dfrac{R_2}{R_1+R_2}$

トランジスタの上下は同じ電流が流れるので、そこでの電圧損失から$V_D = V_{DD} - R_D I_{DS}$、$V_S = R_S I_{DS}$である。飽和領域に入れるためには、$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S)I_{DS} > V_{GS} - V_{th}$にする必要があり、$V_{GS} = V_{DD}\dfrac{R_2}{R_1+R_2} - R_S I_{DS}$なので、$V_{DD} - R_D I_{DS} > V_{DD}\dfrac{R_2}{R_1+R_2} - V_{th}$を満たすように設定する必要がある。ここで、$R_1$と$R_2$は比だけで決まるので絶対値は電流消費と勘案して決める。

さて、$V_{eff} = V_{DD}\dfrac{R_2}{R_1+R_2} - R_S I_{DS} - V_{th}$から、しきい値変動の効果を考えよう。しきい値が大きいとR_Sの効果が無ければI_{DS}が減るが、R_Sの効果でV_{GS}が大きくなり、V_{eff}を大きくなるように戻ろうとし、I_{DS}の減少を減らす。

逆にしきい値が小さいとR_Sの効果が無ければI_{DS}が増えるが、R_Sの効果でV_{GS}が小さくなり、V_{eff}が小さくなるように戻ろうとし、I_{DS}の増大を減らす。

以上から、R_Sの効果でしきい値依存性を小さくできることが判る。

でも、当然ペナルティを払っている。

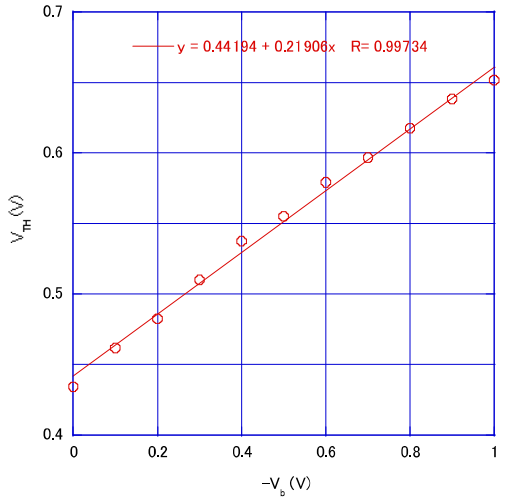
飽和領域にあると考えよう。

$V_{GS} = V_{IN} - R_S I_{DS}$なので、$I_{DS} = \dfrac{W}{2L}\mu C_{OX}(V_{IN} - R_S I_{DS} - V_{th})^2$である。本当はキチンと計算すべきだが、ちょっと手を抜いて微分すると$\dfrac{\partial V_D}{\partial V_{IN}} = -\dfrac{W}{L}\mu C_{OX}(V_{IN} - R_S I_{DS} - V_{th})R_D$となり、

利得が$R_S I_{DS}$分だけ落ちていることが判る。電流が増えると利得が減るというフィードバックという概念も出てくるが、これは後で勉強しよう。

またR_Sによって、ソースの電位がグラウンドより高くなった。従ってバックゲート効果を考える必要が出てくる。

前回にも話したように、しきい値電圧はバックゲート電圧に対して直線増加と近似して良い。



ここで注意すべき事。ΔV_{th}が 0.2 V_{SB}位でること。(前回話した)
ドレインより電圧が下がると、ドレインからみたしきい値が上がることに注意しよう。
(ポテンシャルが反対方向に動くから・・・)

さて、バイポーラトランジスタは、小さな電圧振幅による電流変化が MOSFET より大きいので、バイアスの設計は、より丁寧に行う必要がある。
バイポーラでは、ベースに電流が流れるが、バイアスの設計では当初は無視してしまうことが多い。流したい電流量の電流源をベースコレクタ間に入れて、その電流量を発生させるための電圧差(普通、0.7V 程度)の電池をベース/エミッタ間に入れて設計するという考え方が良く用いられる。ただし、ベース電圧を決める抵抗については、ベース電流による補正をあとで加えるべきでもある。
さて、バイポーラトランジスタの電圧に対する電流量もバラツキがある(温度によっても変わる)。このときもエミッタとアースの間に抵抗を入れるとその依存性を弱くできる。