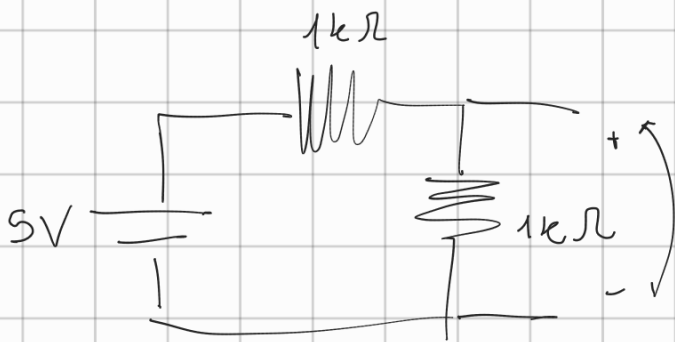




$$V_{TH} = 2\psi_F + \sqrt{\frac{2qNA}{\epsilon} 2\psi_F}$$

Tensione che si crea ai capi dell'ossido

Tensione per fornire un canale elettronico all'interno del semiconduttore

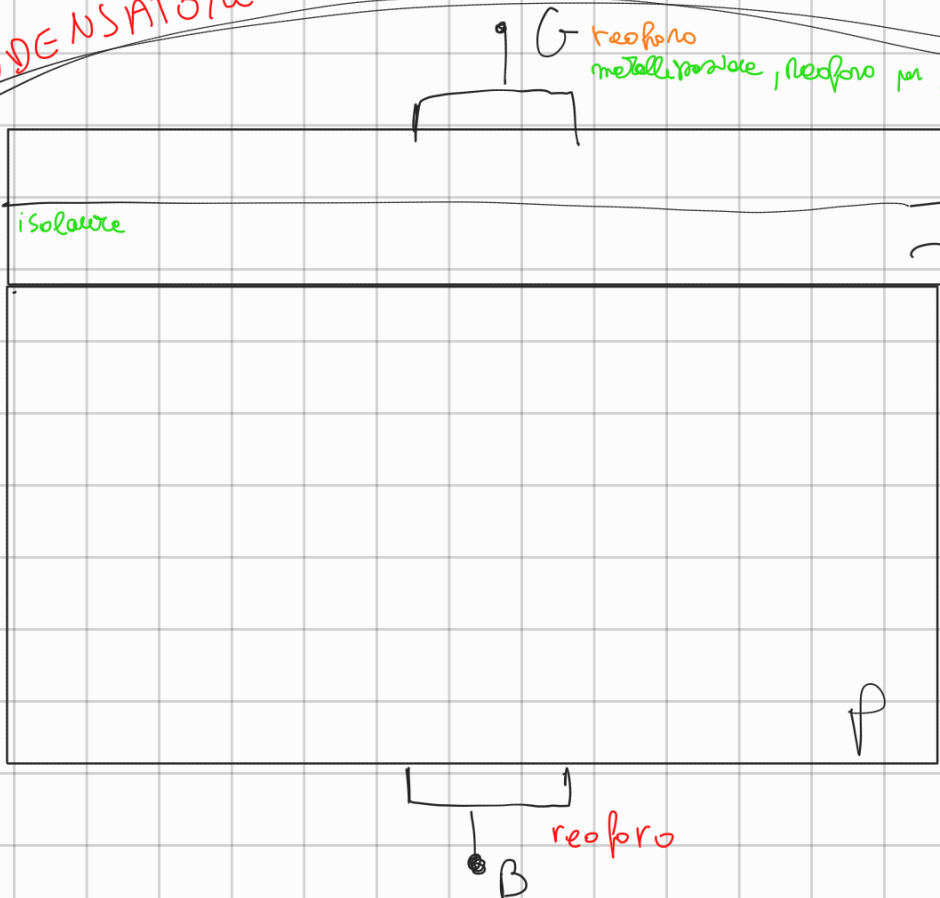
$V_G = 2,5V$ misuro $2,41V$

Resistere vero, fanno una tolleranza $\pm 5/10\%$

5V, non saranno 5V, 4.95, 5.01 ecc, fanno una certa tolleranza.

però anche sbagliano ad misurare e montare

CONDENSATORE MOS



SiO_2 isolante per sé

al Si servono 4 elettroni,

non ci sono più elettroni liberi per la conduzione

i 4 el. del silicio se li sono presi gli ossigeni

Facile ossidare il silicio
perfora isolante

Se $V_G > V_{TH}$

data da $2\psi_F$ (legata alla reg. svuotata della parte P)
+ la tensione che si crea ai capi dell'ossido.

Dipende dal drogaggio della parte P. Se drogato invece

Drogaggio di Tipo N, potrebbe diverso, portatore maggioritario saranno elettroni, non lacune. Dovrà usare un potenziale diverso di una

CONDENSATORE MOS

Certo voglio

CONDENSATORE con CAPACITÀ che varia in base alla $V_G < V_{TH}$ allargando la regione svuotata
Tensione APPLICATA

condensatore
a facce
piatte
e parallele

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

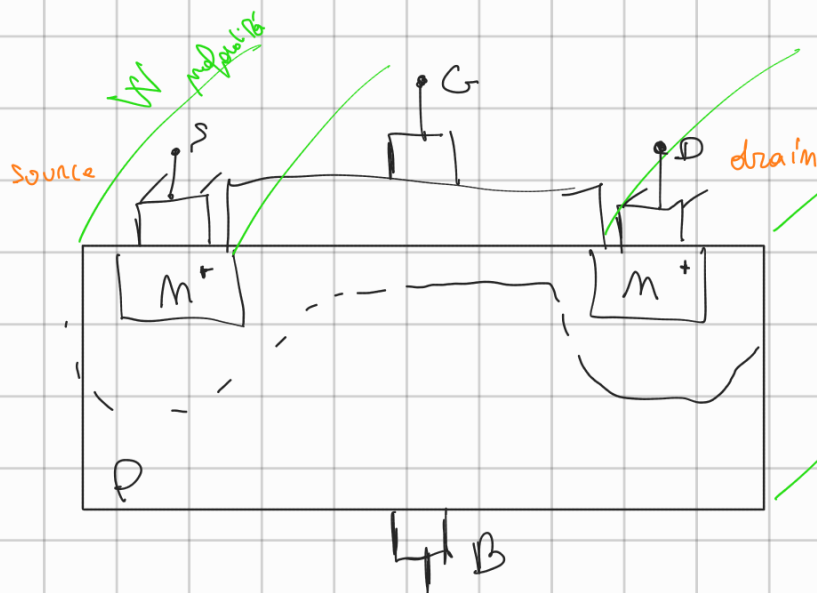
sup. facce affacciate
d: inter. armature
se d aumenta, capacità aumenta

passo modulando la capacità

Solo la depletion, quando sono sopra, tutte le cariche libere m^2 vanno sull'interfaccia (l'ossido ha distanza fissa)

modulo la distanza tra le armature, diminuisce capacità

• $V_G > V_{TH}$, ho cariche libere affacciate, ci realizzo un dispositivo, per farle scorrere (voglio una corrente), APPLICHO UNA FORZA alle cariche, serve un campo, dunque una TENSIONE dove applico la tensione?



Guai due Forze, due Commessioni addizionali: drogato molto di Tipo N (attacco con l'acido idrossilico e maschero per droppare di Tipo N)

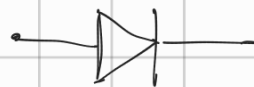
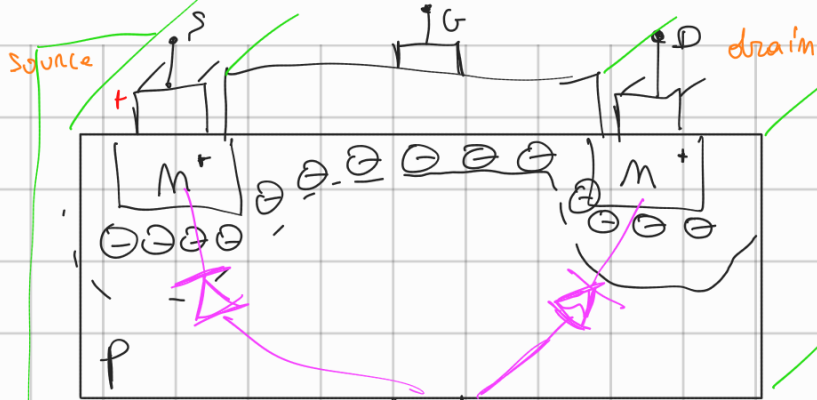
Metteno elettroni, vale legge orione di Hoon, so estraggo

GATE, Porta, cio' che IMPEDISCE il passaggio quando la luce parte via (drogando N) poiche' V tra D e S, se non ho elettroni liberi sotto il gate NON PASSA NIENTE. Gate abilita il passaggio. e' vero, finche' $V_G < V_{TH}$, non ho elettroni liberi da condurre

SOURCE, sorgente. Corrente e' variazione di cariche nell'unita' di tempo, se ho lo elettroni, e li trasporto, poi finiscono... serve una SORRENTE di ELETTRONI

DRAIN, ^{assemblare} porto via, ho bisogno di un ingresso e una uscita
• Se non ho b che mi mantiene le cariche sotto l'ossido
Se non applico V_G , le cariche vanno in giro e si rimescolano con le lacune.

Tra N e P ho una GIUNZIONE, dunque ho un diodo, ho una regione SVUOTATA, che gira' tutto verso il BULK. loro sono drogati N^+ , molto più di P, la regione svuotata e' principalmente nella zona P



eq. diodo

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right)$$

Corrente scorre da S a B,
Ma $-I_0$, per... non mi piace

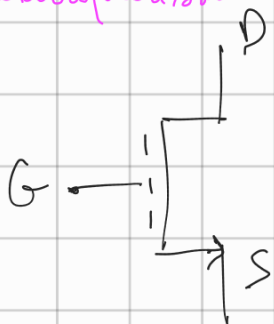
Se applico potenziale
tra S+ a B-, può scorrere
una corrente piccola, sono
in contro polarizzazione

Per evitare di polarizzare il diodo,
collocandolo B e S, così V_D
è 0, è un C.a.

$$I_D = 0$$

Ma 2 diodi in
contro polarizzazione
tra S e B e tra D e B

NON HO IL BODY, viene collegato



MOS a canale N ad ACCUMINENTO

accorcia interfaccia con
elettroni, per avere canale
N dove accorcia il canale,

=> Applico Tensione V_{GS} $\rightarrow V_{TH}$
allora ho una carica localizzata
sulla superficie

ora è V_{GS} , non V_G perché Body S e
Body sono collegati; Body non a massa

Se c.c. B e S, ho un MOS a canale N, i portatori
sono gli elettroni, e le drain
 V_{DS} che deve essere maggiore di V_{TH}

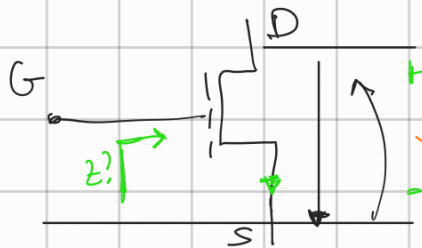
$$V_{TH} \text{ dato da } 2\phi_F + \eta \phi_{ss} \text{ dato}$$

$V_{GS} > V_{TH}$

Voglio applicare tensione + a D e minore a S, così spostò
elettroni dal source verso il DRAIN, dunque nasce una
corrente dal DRAIN verso il source

Corrente controllata dal GATE è 0, è un condensatore
si accumula carica. Considero questo come rete
a due porte.

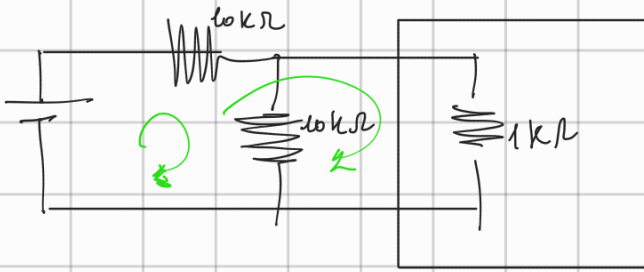
impedenza di G è infinita



Freccia così la corrente I_D dal drain al source

V_{GS} non vuole il circuito a DX

es. lo circuito partitore



Collega al circuito partitore di tensione un multimetro con resistenza da 1kΩ

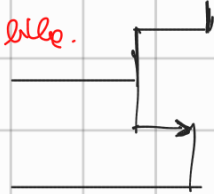
Se lo attacco, impedo più piccola nello strumento, corrente circola nello strumento.
 rispetto al circuito
 corrente
 circuito di tensione MINORE.

Voglio resistenza più grande possibile.

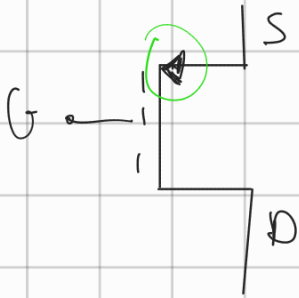
Ci attacco il MOS. impedo

"infinita", problema la tensione

senza caricare il circuito, senza che ci sia corrente



MOSFET a canale P



drog tipo N, canale a P+, all'interfaccia con lacune, e le lacune vanno da S a D, nella direzione delle lacune ???

La corrente scorre in entrambi i casi nella stessa dir., ma elettroni e lacune hanno mobilità DIVERSE, densità di corrente diversa in questo caso + al source e - al DRAIN

Quantifico corrente tra D e S

VOGLIO QUANTIFICARE

carica mobile nel condensatore MOS, voglio quantificare $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
 CARICA IMMAGAZINATA nel Condensatore
 minimo

CAPACITA' IN UN CONDENSATORE

TIPO N

CARICHE IONIZZATE, NON FISSO

$$C = \frac{Q}{\Delta V}, Q = C \cdot \Delta V$$

$$Q = -C_{ox} (V_{GS} - V_{TH})$$

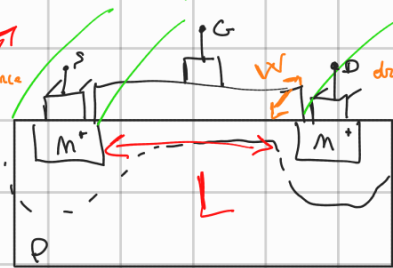
Carica accumulata su ogni cella di questo tipo, tensione di gate da V_{GS} a G e S,

carica mobile accumulata sotto ossido quando $V_{GS} > V_{TH}$

$$C_{ox} = \frac{\epsilon}{d}$$

CAPACITA' PER UNITA' DI SUPERFICIE di distanza (?)
 d'ossido mi fa da C

tensione sufficiente affinché ci siano cariche mobile



Tensione sopra Se non supera soglia, non lo ha lo canale

$$C_{ox} = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon W L}{d} = C_{ox}'' \cdot W L$$

L = lunghezza canale

W = larghezza canale

distanza tra le 2 piastre

$$Q = -C_{ox}'' W \cdot L (V_{GS} - V_{TH})$$

ho carica, posso causare corrente

applico tensione da Gate (+) e source (-), piccola
 sopra la corrente vede
 variazione carica per unita' lunghezza
 trucc
 scorrerà una corrente...

$$I_{DS} = - \frac{\Delta Q}{\Delta t} = - \frac{\Delta Q}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow V_m = \mu_n E$$

con V_{GS} nel senso piccolo
 ONTO delle cariche
 NON lo so ΔE dunque trucc

è una velocità di un el. applico una tensione
 velocità di u

velocità deriva da elettroni nel canale
 corrente canale verso

varios di tutto
da carica rispetto
a L.
V piccola, corpo non varia
approssimativo

el. grado e' applica una tensione
com buona approssimazione.
SOSTITUISCO

ho 3 mesi

$$I_{DS} = \frac{Q}{L} \cdot -\mu_m E = - \underbrace{C_{ox}''}_{Q/L} \cdot W (V_{GS} - V_{TH}) \cdot \mu_m E$$

$$\Rightarrow E_{DS} = \frac{-V_{DS}}{L}$$

ho una distanza e un potenziale piccolo
approssimativo integrale

ipotesi
V_{GS} piccola, posso calcolare
il corpo elettronico
Ma una distanza e corpo el. costante

$$V_{DS} = -E_{DS} \cdot L$$

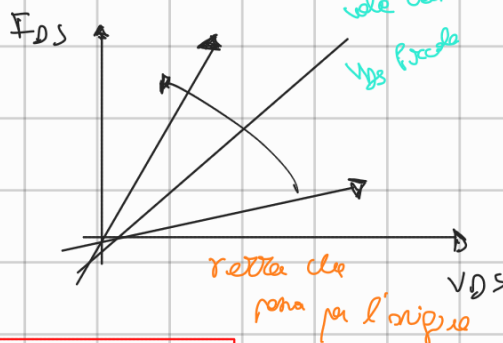
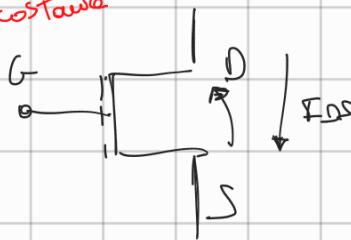
pot. piccolo

SOSTITUISCO

$$\Rightarrow I_{DS} = \frac{1}{L} C_{ox}'' \cdot W (V_{GS} - V_{TH}) \cdot \mu_m \left(\frac{+V_{DS}}{L} \right)$$

$$I_{DS} = \underbrace{\frac{C_{ox}'' W \mu_m}{L}}_{K_m} [V_{GS} - V_{TH}] V_{DS}$$

K_m
costante



Qui relas. tra
Tensione e Corrente e
lineare.

Transistor. V_{DS}, I_{DS}

$$\Rightarrow I_{DS} = k_m [V_{GS} - V_{TH}] \cdot V_{DS}$$

Se aumenta, I_{DS} aumenta

$$\Rightarrow I_{DS} = \frac{V_{DS}}{R^*}$$

$$R^* = \frac{1}{k_m (V_{GS} - V_{TH})}$$

COMPORTEMENTO
LINEARE se V_{DS}

PICCOLA e V_{GS} sopra soglia

approssimato con V_{DS} piccolo

$$I_{DS} = k_m [V_{GS} - V_{TH}] V_{DS}$$

in realtà

↑ scelto V_{GS}, e' una costante

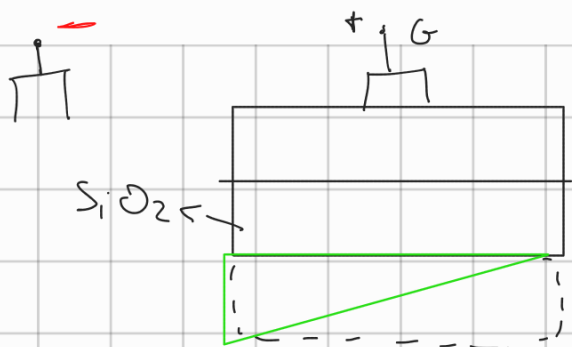
LINEARE scelto V_{GS}, e' una costante
ci muoviamo in f. di V_{DS} su
una retta.

• Elettroni si muovono applicando V_{DS}, opponendo resistenza, V_{DS} si oppone, avra' una certa perdita di potenziale V(x)

• che vale 0 nel source, e V_{DS} nel DRAIN.

• Ho una ddp che purtroppo mi si sottrae alla nostra V_{GS}
a causa della resistività del canale, corrente nello scendere da D a S fa perdere una caduta di tensione che si sottrae alla V_{GS}

• Quando le cariche si muovono, localmente avra' una caduta di tensione che si sottrae, ed e' tanto più grave quanto mi allontano dal



Source rimpicciolisce verso il DRAIN, la V_{reg} svolta si si sovrappone a V_{DS} o V_{DS} o V_{DS}

$$Q = -C_{ox}'' \cdot W \cdot L [V_{GS} - V_{TH} - V(x)]$$

carica vera di funzione della posizione

aggiusto tensione, dopo Coulomb
Carica Reale

$V(x) \rightarrow 0 \quad x=0$ Source
 $V_{DS} \quad x=L$ x lungo il Canale

Corrente allora sarà data

$$I_{DS} = - \frac{\Delta Q}{\Delta t} = - \frac{DQ}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} =$$

ora non è più vero che $E \cdot x = V$
ma in generale $E = - \frac{dV}{dx}$ campo variabile con la pos. , velocità variabile con la posizione

$$I_{DS}(x) = \frac{C_{ox}'' \cdot W \cdot \mu_n}{L} [V_{GS} - V_{TH} - V(x)] \cdot \frac{dV(x)}{dx}$$

il campo ora è variabile rispetto alla pos. derivato da tensione

Q per unità di lunghezza
ho integrato
E = - dV/dx, unito segno del potenziale che dipende da x

allora ho $I_{DS}(x)$, dipende da x, e la corrente in un certo punto del Canale.
 $L =$ lunghezza del Canale
la corrente sarà sempre costante!

$$I_{DS} = \frac{1}{L} \int_0^L I_{DS}(x) dx = \int_0^L \frac{C_{ox}'' \cdot W \cdot \mu_n}{L} [V_{GS} - V_{TH} - V(x)] dV(x)$$

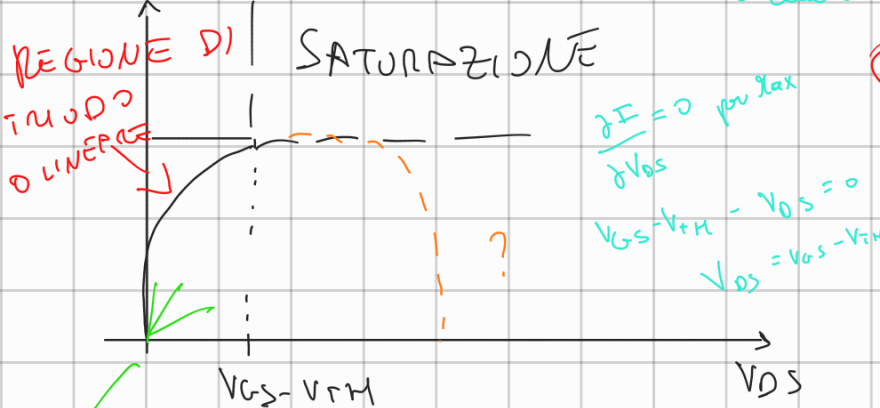
facendo una media, I_{DS} è costante lungo il canale!
Se Canale va tra 0 e L, V(x) va da 0 a V_{DS}, => sostituzione

dove $k_n = \frac{C_{ox}'' \cdot \mu_n \cdot W}{L}$ dipende da C_{ox} e V_{GS} e contributo I_{DS}

$$I_{DS} = k_n \left[(V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right]$$

DISSEGNO allora la TRANSCARATT

$C_{ox}'' = \frac{\epsilon}{d}$ Capacità per unità di Sep.



• Max I_{DS} quando $V_{DS} = (V_{GS} - V_{TH})$

$$I_{DS} = \frac{k_n}{2} [V_{GS} - V_{TH}]^2$$

• Se $V_{DS} < V_{GS} - V_{TH}$, legge descritta dalla parabola

Se sono in regione lineare
 ② $I_{DS} = K_m [V_{GS} - V_{TH}] V_{DS}$ quando V_{DS} è piccola
 • Max quando $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$
 Se $V_{DS} \ll 2(V_{GS} - V_{TH})$, il termine al quadrato è trascurabile
 comportamento vicino allo 0
 Sono tutti i coeff. amplif. vicino allo 0

③ $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$
 dovrai avere una parabola. perché non risulterà? STO aumentando Tensione

Quando Tensione V_{DS} aumenta oltre $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$
 reg. saturata o su DRAIN
 punto di PINCH OFF, STROZZAMENTO del canale, non ho più il canale
 e all'aumentare del potenziale
 prof. non detto che non ho più la rete di DRAIN

Compensa la diminuzione di cor. con aumento della velocità

 $V_{DS} >> V_{GS} - V_{TH}$
 $Q'(x) = -C_{ox} W (V_{GS} - V(x) - V_{TH})$ deriv. cor. in funzione di x
 $V_{DS} >> V_{GS} - V_{TH}$, faccio
 suotore la reg. suotata, ma la corrente continua a scorrere
 con x, max x=0, min x=L
 effetto Tunnel, il postrto velocità/cor. velocità aumenta cor. => neppure limite velocità delle cor. con cui un elettr. passa da una parte all'altra è neppure
 Con x=L, al drain, $Q'=0$, deriv. cor. nella canale non sussiste

after base
 del canale gli elettroni vanno a saturare per effetto tunnel
 • la corrente ha in saturazione, questo andamento, crea una dipendenza di tipo quadratico

È possibile creare, concettualmente quadratico, dip. da I_{DS} e V_{GS}
 Fissato $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$ e usando V_{GS} come variabile...
 Se $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$, sono in saturazione, e la I_{DS} ha andamento quadratico dipendente solo da V_{GS}
 andamento quadratico quando
 • $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TH}$

EQ corrente generica x V_{GS}
 costante V_{DS} saturazione
 • $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TH}$
 noi lavoreremo in regione di saturazione con gli amplificatori. mentre in TRUOTO con intersezione
 Se $V_{GS} < V_{TH}$, => $V_{GS} > V_{TH}$, dipendente da V_{DS} per una corrente

$I_{DS} = \frac{C_{ox} W \mu_m}{L} \left[(V_{GS} - V_{TH}) V(x) - \frac{1}{2} V(x)^2 \right]$
 Se non integro, espressione generale : integro entrambi i membri per x
 se ho l'integrale tra 0 e V_{DS}

$I_{DS}(x) = \frac{C_{ox} W \mu_m}{L} \left[(V_{GS} - V_{TH}) V(x) - \frac{1}{2} V(x)^2 \right]$
 integro per x lungo L a destra e sinistra

$$x = C_{ox} W \mu_m \left[(V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right] \frac{1}{dV(x)}$$

Conosciuto valore potenziale in un punto e la corrente, posso sapere in quale punto del canale sono

Se so tensione applicata e corrente

$$I_{DS} = k_m \left[(V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right]$$

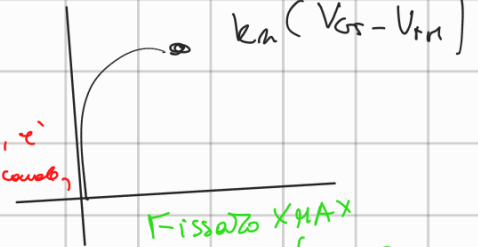
Corrente massima, moltiplico e divido per L ho integrato.

e la corrente max, ho integrato

$$x_{MAX} = \frac{L}{k_m} \cdot L \left[(V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right]$$

vale come la corrente di ritorno

$$V_{MAX} = V_{GS} - V_{TH}$$



=> FISSATO x_{MAX} , e' come se L, lunghezza canale, fosse più piccola

è come se L fosse più piccola; Applicando una

V_{GS} grande stresso il canale e prendo parte della carica libera presente, ma non la corrente, perché la velocità aumenta

Se aumento V_{GS} , x_{MAX} può venire più grande di L. La probabilità di canale effettivo dovrebbe essere più grande della lunghezza di canale

POISSON, DENSITA' DI CARICA per un dato di lunghezza

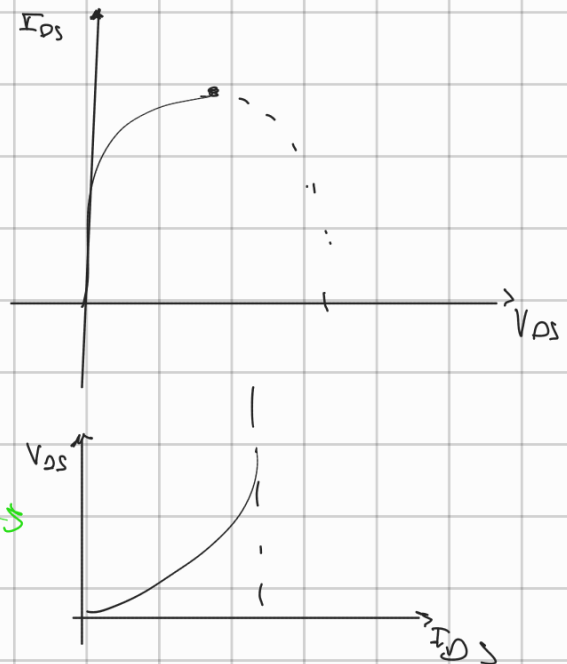
$$p(x) = C_{ox} W (V_{GS} - V_{TH} - V(x))$$

in valore assoluto

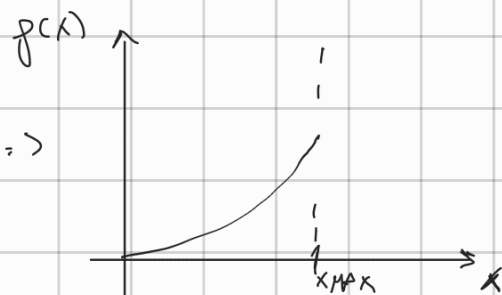
$$V_m = -\mu_m \frac{dV(x)}{dx}$$

Se $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH}$, sono sul max di una parabola, derivata e' 0 ma rappresentata così, e' infinito

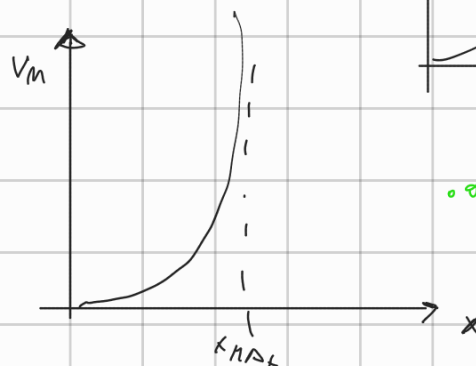
la vede girato



derivata del potenziale, infinita



la derivata di carica si annulla su un valore



- V_m la velocità tende nel punto di minimo a diventare infinita e la densità di carica diventa un valore

$$V_m = -\int_m \frac{dV(x)}{dx}$$

- Quando, a parità di corrente, riduco, dovuto al canale, $\rho(x)$, allora invece la velocità aumenta