



ΗΥ422 - Αρχές Σχεδίασης Συστημάτων *VLSI* Θεωρία των *MOS* Τρανζίστορς

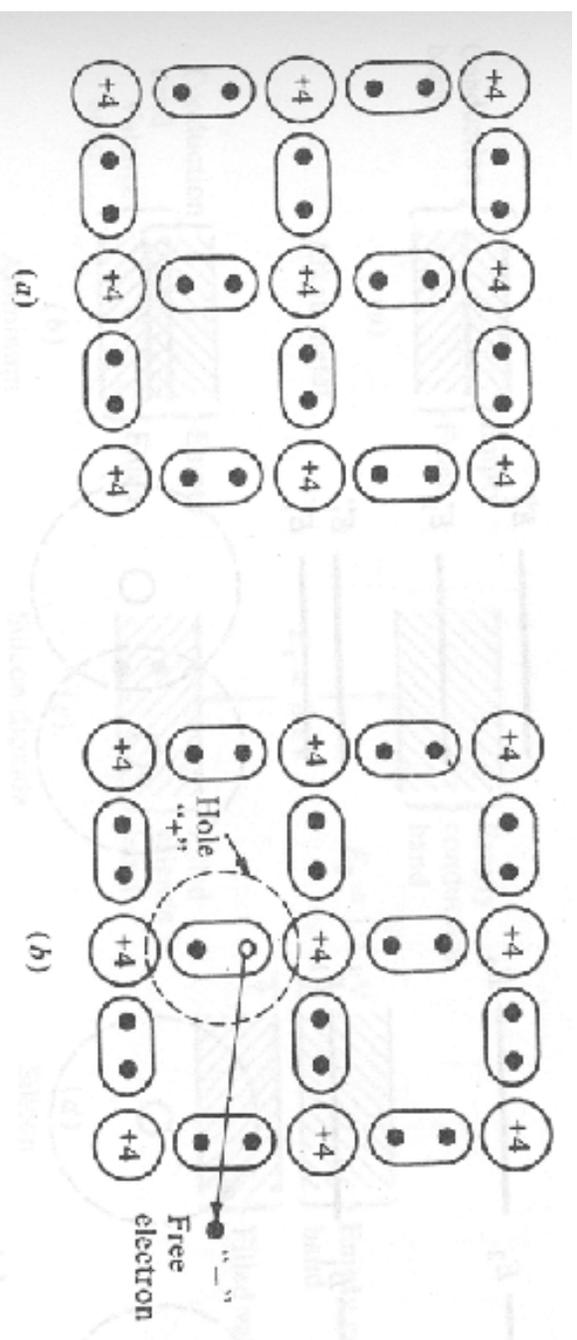
Χ. Σωτηρίου

11 Δεκεμβρίου 2002



Κρυσταλλική Δομή Si

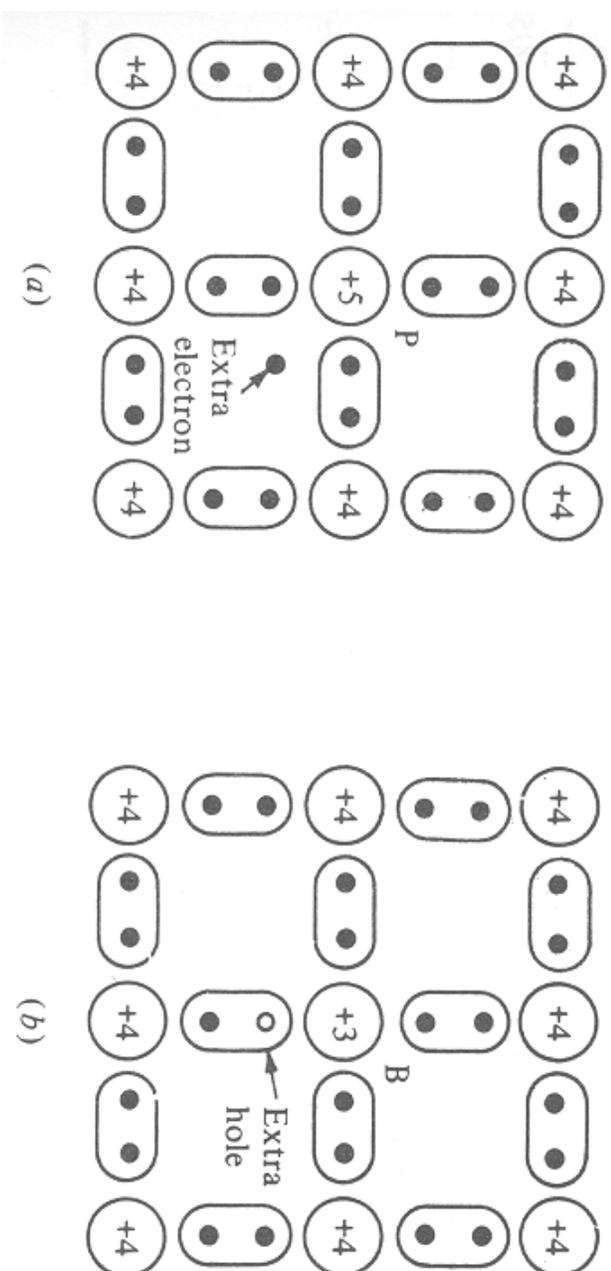
Το πυρήτιο έχει κρυσταλλική δομή και σθένος 4.





Πυρήτιο n και p

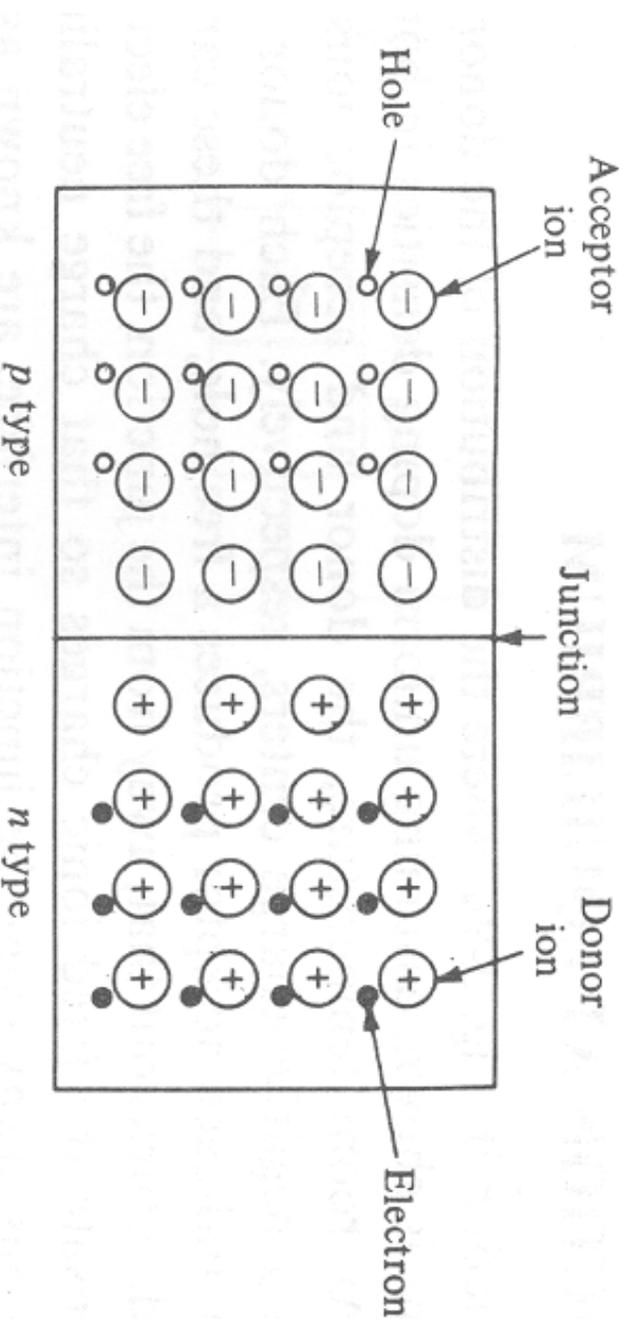
Κρυσταλλική δομή που εμπειριέχει (α) 5-σθενές άτομο και (β) 3-σθενές άτομο.





Δίοδος p

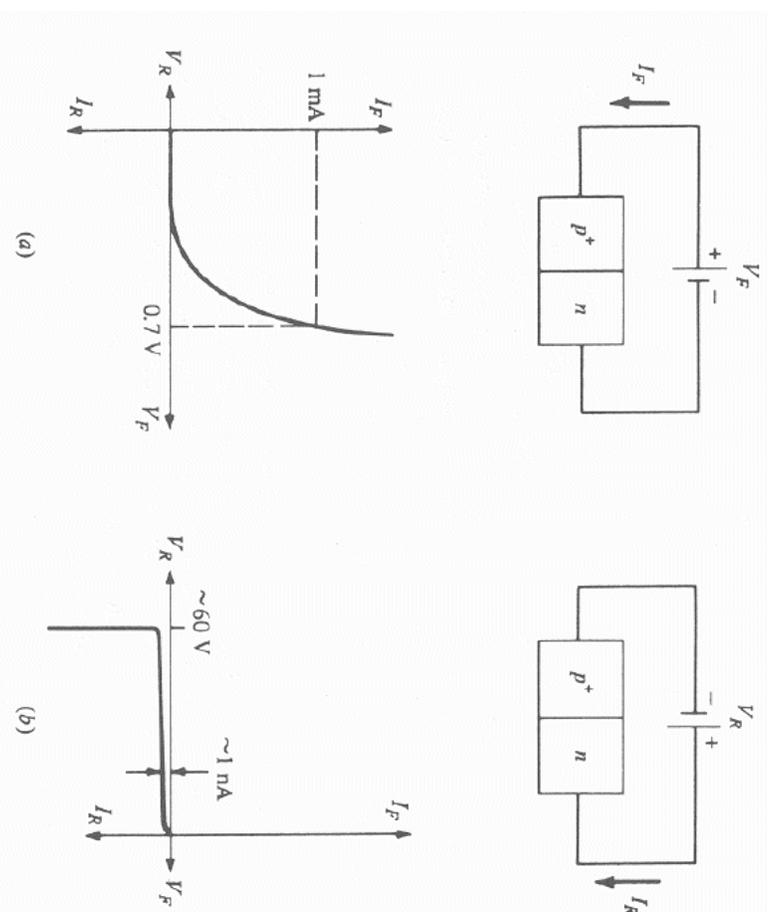
Στο σημείο ένωσης p και n φορτία εξουδετερώνονται με αποτέλεσμα την δημιουργία ηλεκτροστατικού δυναμικού:





Δίοδος pn

Σε μία δίοδο pn περνάει μόνο στην μία κατεύθυνση (θεωρητικά):



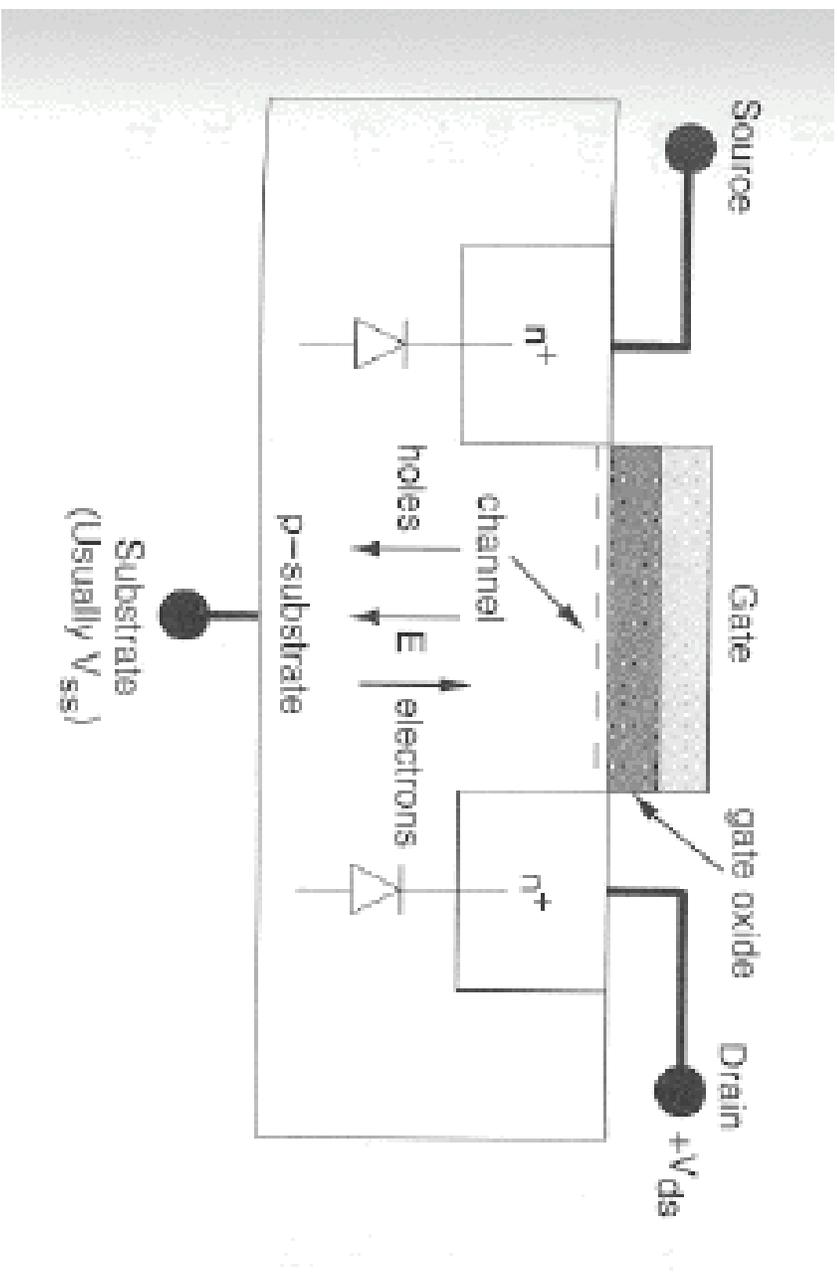


MOS Τρανζίστορς

- τρανζίστορ = *transistor* = *transfer resistor*.
- δηλαδή αντίσταση μεταβίβασης ρεύματος.
- τα τρανζίστορ ονομάζονται και τριόδοι.
- MOS = Metal-Oxide-Semiconductor.



Δομή *nMOS* Τρανζίστορ



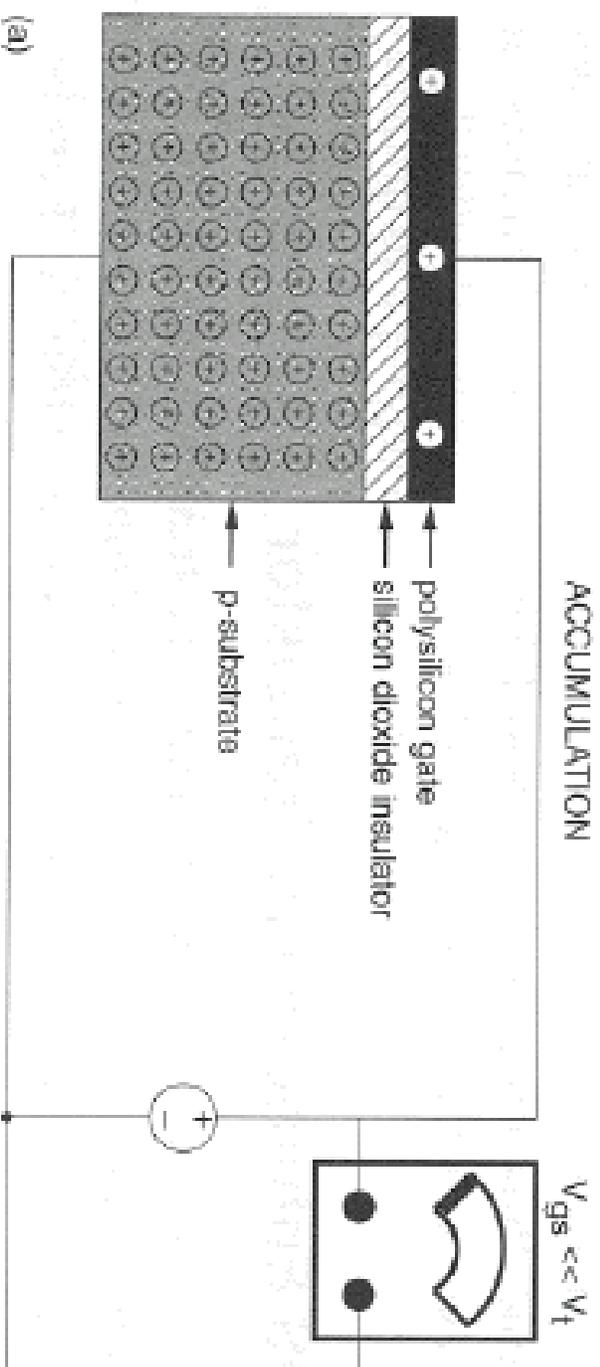


Δομή *nMOS* Τρανζίστορ

- υπόστρωμα ελαφρώς πυκνότητας p .
- 2 σημεία υψηλής πυκνότητας $n+$.
- η περιοχή μεταξύ των 2 σημείων λέγεται κανάλι.
- το κανάλι είναι καλυμένο από λεπτό μονωτικό στρώμα SiO_2 .
- ακριβώς από πάνω είναι ένα 'ηλεκτρόδιο' από πόλυ- Si που ονομάζεται πύλη.
- το SiO_2 είναι μονωτής και έτσι δεν περνάει ρεύμα μεταξύ πύλης και καναλιού.

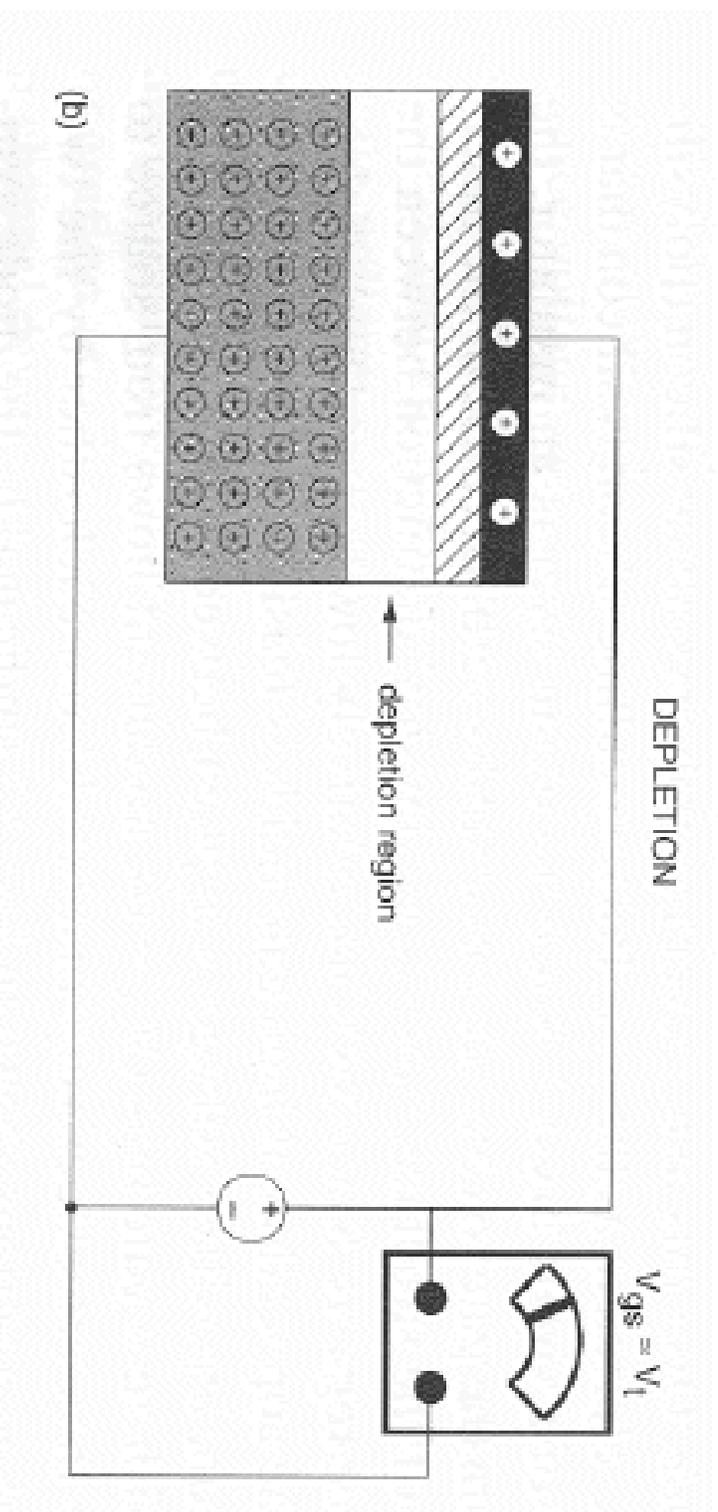
Αετουργία Πύλης *nMOS* Τρανζίστορ

- Συσσώρευση, όταν $V_{gs} \ll V_T$.



Αετουργία Πύλης *nMOS* Τρανζίστορ

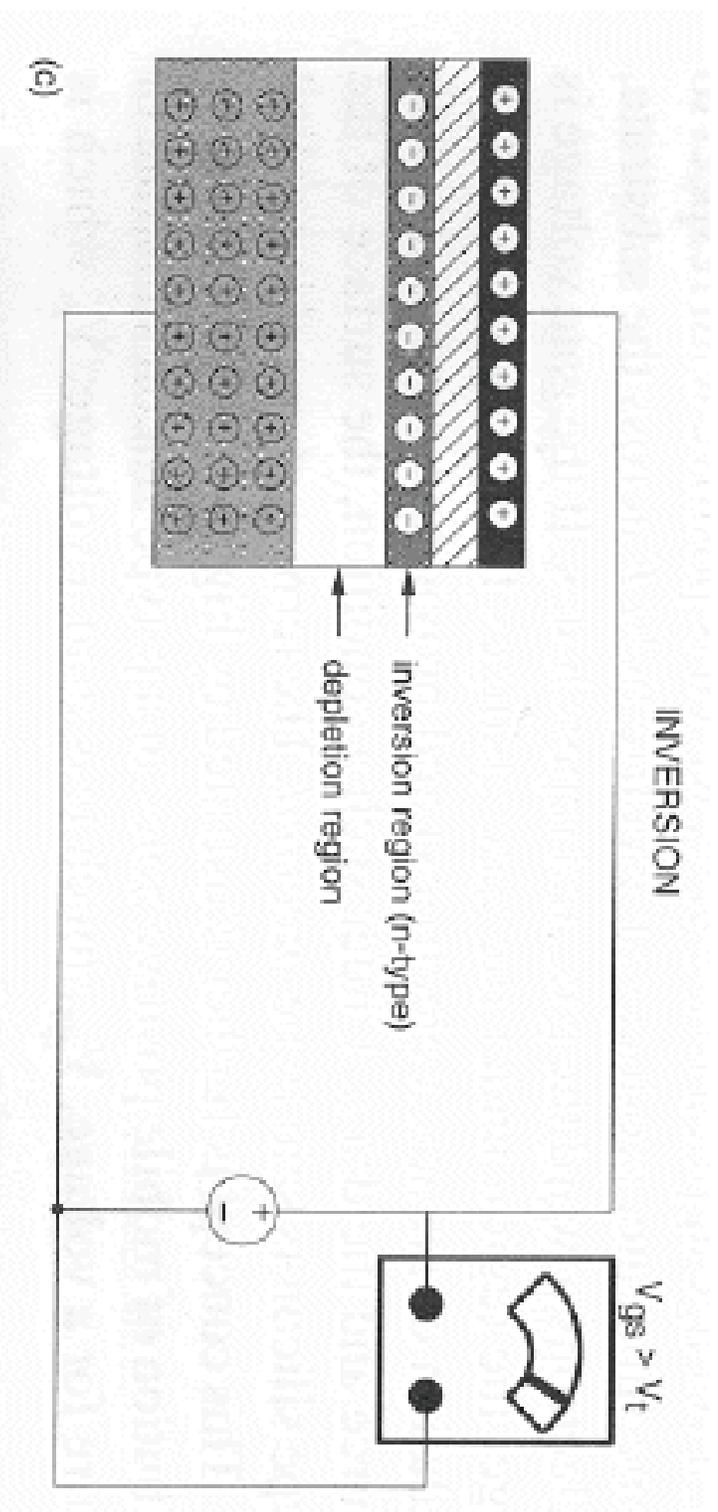
- Εκροή, όταν $V_{gs} = V_T$.





Αετιουργία Πύλης nMOS Τρανζίστορ

- Αντιστροφή, όταν $V_{gs} > V_T$.



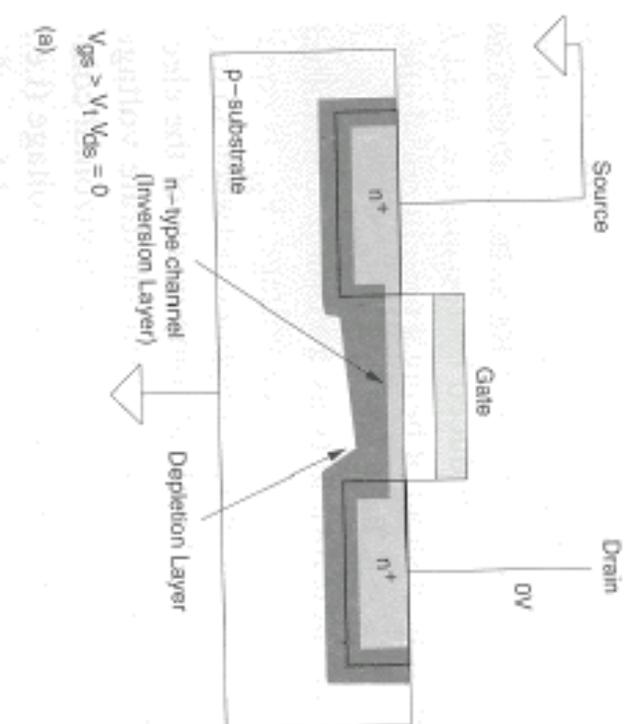


Λειτουργία *n*MOS Τρανζίστορ

- η λειτουργία των *MOS* βασίζεται στην επίρρηση του ηλεκτρικού πεδίου.
- μια συσκευή *MOS* είναι ένας διακόπτης ελεγχόμενος απο το δυναμικό V_{gs} .
- Άν $V_{gs} = 0$, τότε $I_{ds} = 0$.
- Άν $V_{gs} \geq V_T$, και $V_{gs} > 0$, τότε έχουμε ροή ηλεκτρονίων.
 - η άυξηση του V_{ds} επηρεάζει την μορφή του καναλιού.
 - στο άκρο εισροής (δηλ. *S*), η διαφορά δυναμικού είναι V_{gs} .
 - στο άκρο εκροής (δηλ. *D*), η διαφορά δυναμικού είναι V_{gd} .
- Άν $V_{gd} < V_T$, τότε το κανάλι διακόπτεται!
 - $V_{gd} = V_{gs} - V_{ds}$, άρα $V_{gd} < V_T \Rightarrow V_{ds} > V_{gs} - V_T$.

Αετιουργία *nMOS* Τρανζίστορ

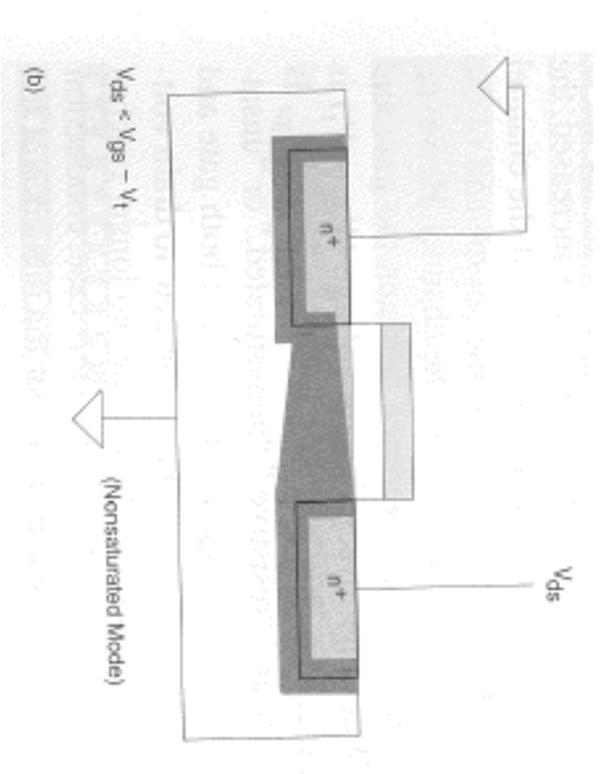
- Αν $V_{gs} > V_T$, αλλά $V_{ds} = 0$, τότε $I_{ds} = 0$:





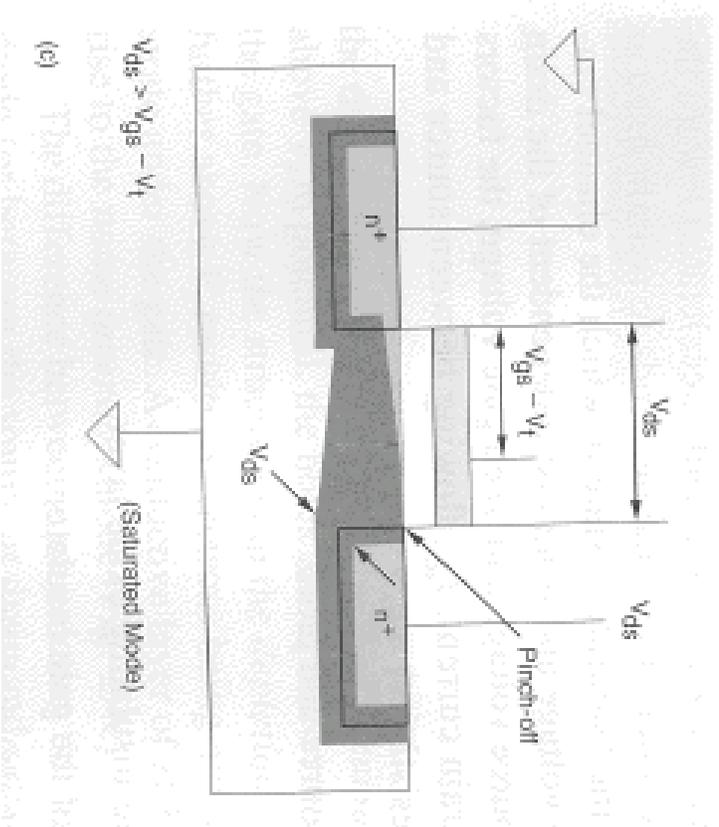
Αιτρουγία *nMOS* Τρανζίστορ

- Αν $V_{ds} < V_{gs} - V_T$, το τρανζίστορ βρίσκεται στην γραμμική περιοχή.



Αετουργία *nMOS* Τρανζίστορ

- Αν $V_{ds} > V_{gs} - V_T$, το τρανζίστορ βρίσκεται στην περιοχή κορεσμού.





Λειτουργία *nMOS* Τρανζίστορ

Περίληψη περιοχών λειτουργίας:

- περιοχή ανοικτού κυκλώματος: όπου η ροή ρεύματος είναι σχεδόν μηδενική.
- ‘γραμμική’ περιοχή: όπου το ρεύμα εκροής, I_{ds} εξαρτάται γραμμικά απο το δυναμικό στην πύλη, V_{gs} και το δυναμικό στην εκροή, V_{ds} .
- περιοχή ‘κορεσμού’, όπου το κανάλι διακόπτεται στην εκροή, και το ρεύμα εκροής, I_{ds} ανεξάρτητο απο το δυναμικό εκροής, V_{ds} .



Λειτουργία *nMOS* Τρανζίστορ

Το μήγμα I_{ds} εξαρτάται από:

- την απόσταση μεταξύ S και D .
- το πλάτος W του καναλιού.
- το οριακό δυναμικό, V_T .
- το πάχος του μονωτικού SiO_2 .
- την διηλεκτρική σταθερά, ϵ του SiO_2 .
- την ευκίνησία των μεταγωγέω φορτίων (ηλεκτρονίων/οπών), μ .



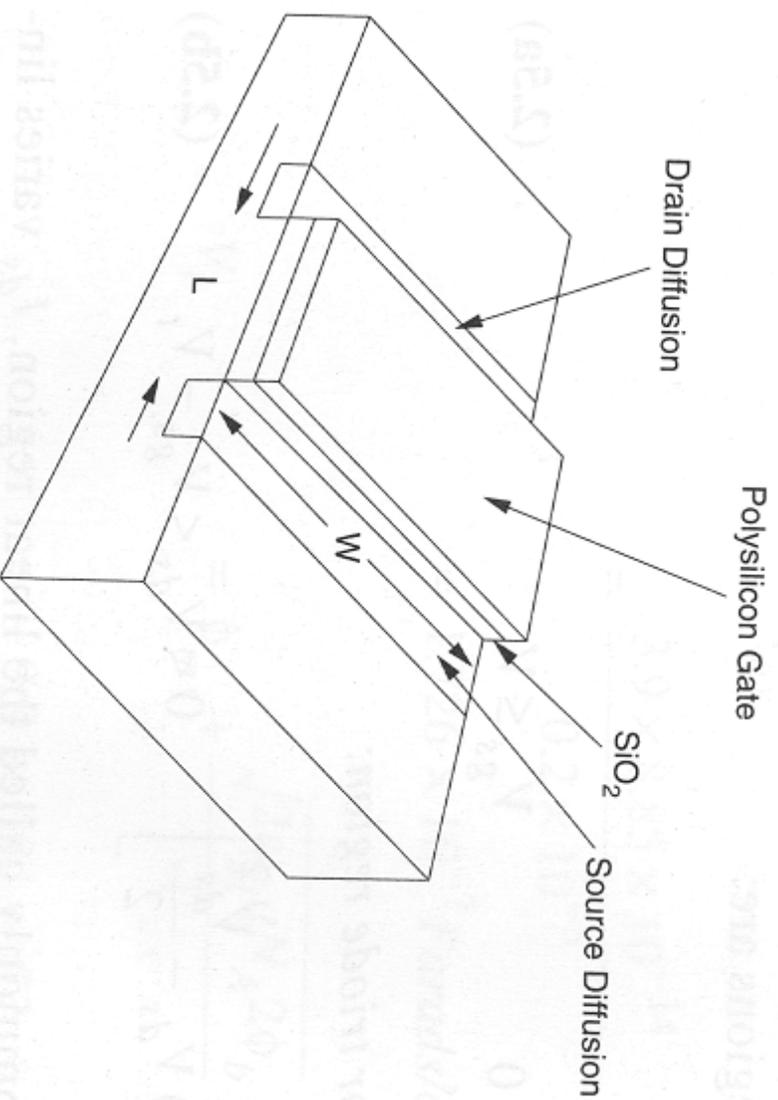
Εξισώσεις Τρανζίστορ

Για τις τρεις περιοχές λειτουργίας η συμπεριφορά του τρανζίστορ περιγράφεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

- περιοχή ανοικτού κυκλώματος:
 - $I_{ds} = 0$, όταν $V_{gs} \leq V_T$.
- “γραμμική” περιοχή:
 - $I_{ds} = \frac{\mu\epsilon}{t_{ox}} \left(\frac{W}{L}\right) \left((V_{gs} - V_T) V_{ds} - \frac{V_{ds}^2}{2} \right)$, όταν $0 < V_{ds} < V_{gs} - V_T$.
- περιοχή “κορεσμού”:
 - $I_{ds} = \frac{\mu\epsilon}{t_{ox}} \left(\frac{W}{L}\right) \frac{(V_{gs} - V_T)^2}{2}$, όταν $0 < V_{gs} - V_T < V_{ds}$.

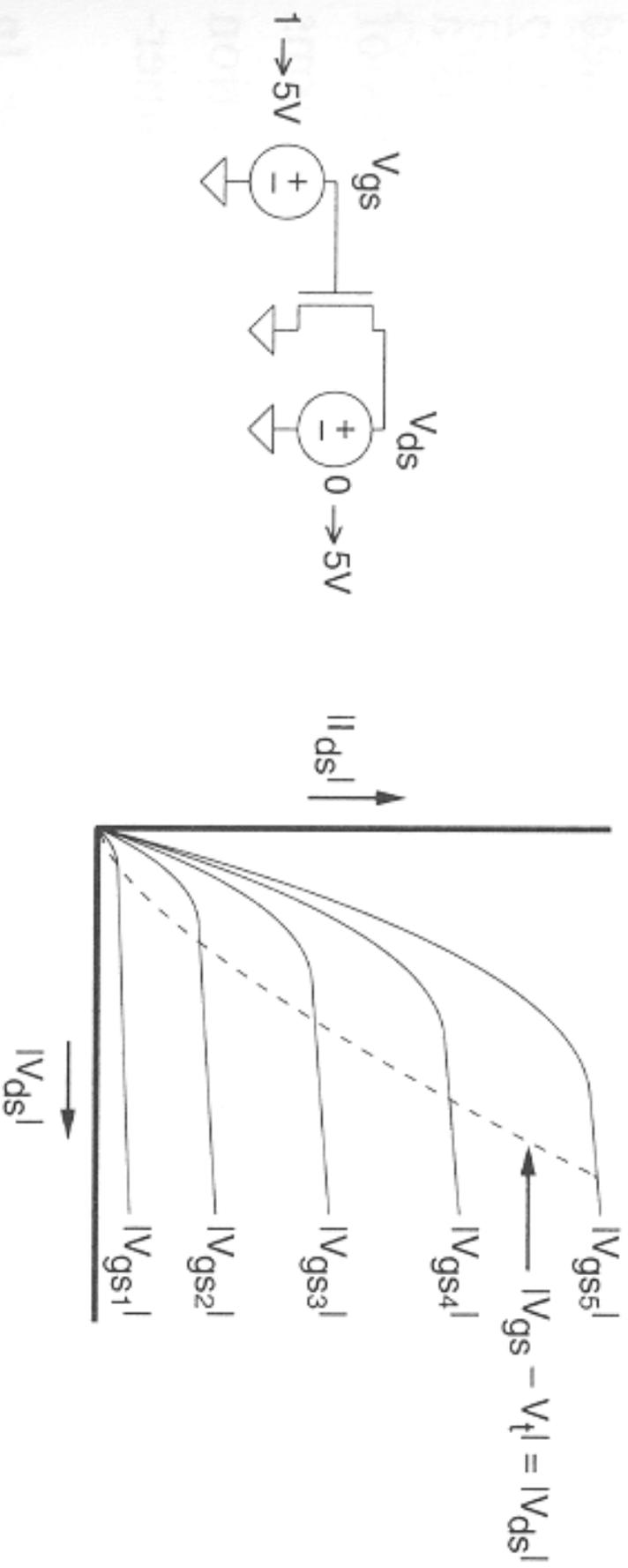


Γεωμετρία Τρανζίστορ





Χαρακτηριστικές Καμπύλες V_I





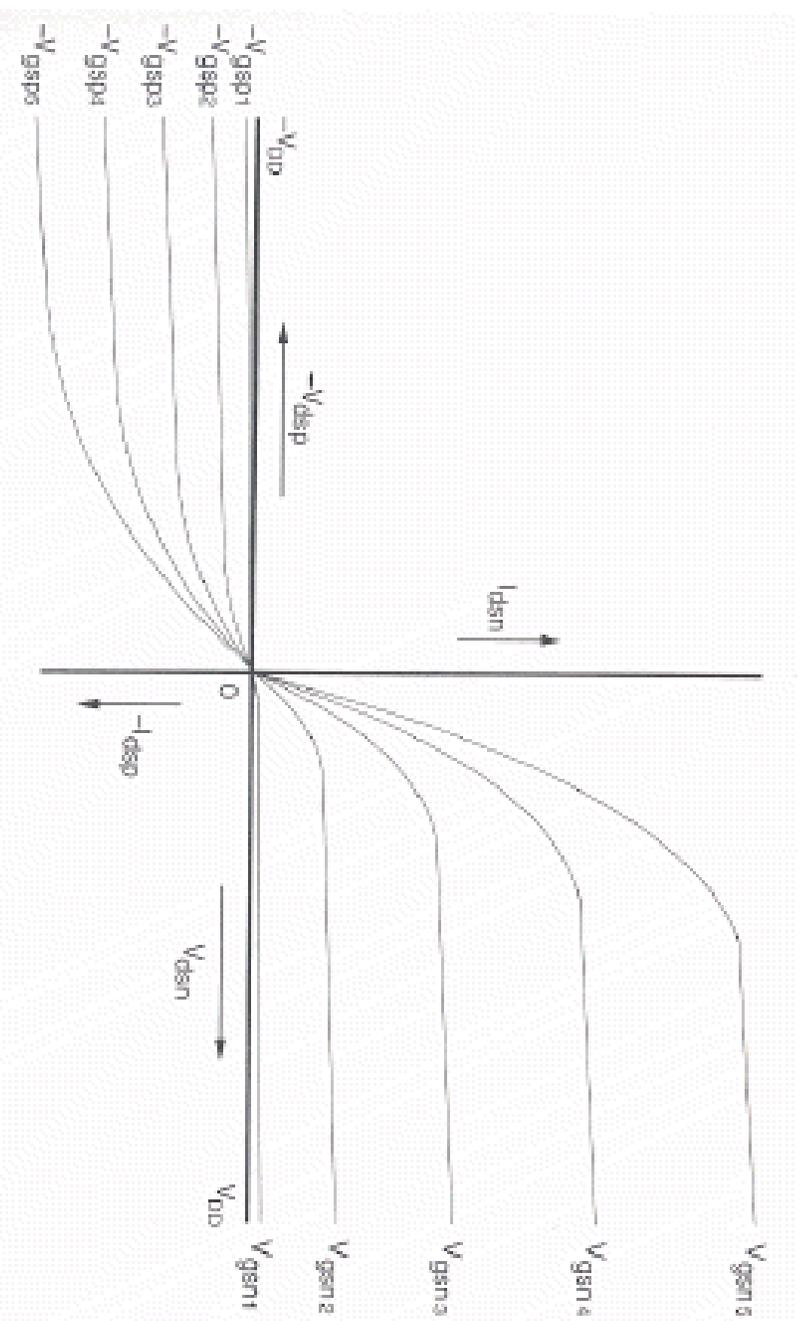
Δυναμικά σε CMOS

Σε έναν αντιστροφέα CMOS τα δυναμικά έχουν τις παρακάτω σχέσεις με τις περι-οχές λειτουργίας:

	Ανοικτό	Τραυματική	Κορεσμός
p	$V_{gsp} > V_{Tp}$ $V_{in} > V_{Tp} + V_{DD}$	$V_{gsp} < V_{Tp}$ $V_{in} < V_{Tp} + V_{DD}$ $V_{dsp} > V_{gsp} - V_{Tp}$ $V_{out} > V_{in} - V_{Tp}$	$V_{gsp} < V_{Tp}$ $V_{in} < V_{Tp} + V_{DD}$ $V_{dsp} < V_{gsp} - V_{Tp}$ $V_{out} < V_{in} - V_{Tp}$
n	$V_{gsn} < V_{Tn}$ $V_{in} < V_{Tn}$	$V_{gsn} > V_{in}$ $V_{in} > V_{Tn}$ $V_{dsm} < V_{gs} - V_{Tn}$ $V_{out} < V_{in} - V_{Tn}$	$V_{gsn} > V_{Tn}$ $V_{in} > V_{Tn}$ $V_{dsm} > V_{gs} - V_{Tn}$ $V_{out} > V_{in} - V_{Tn}$



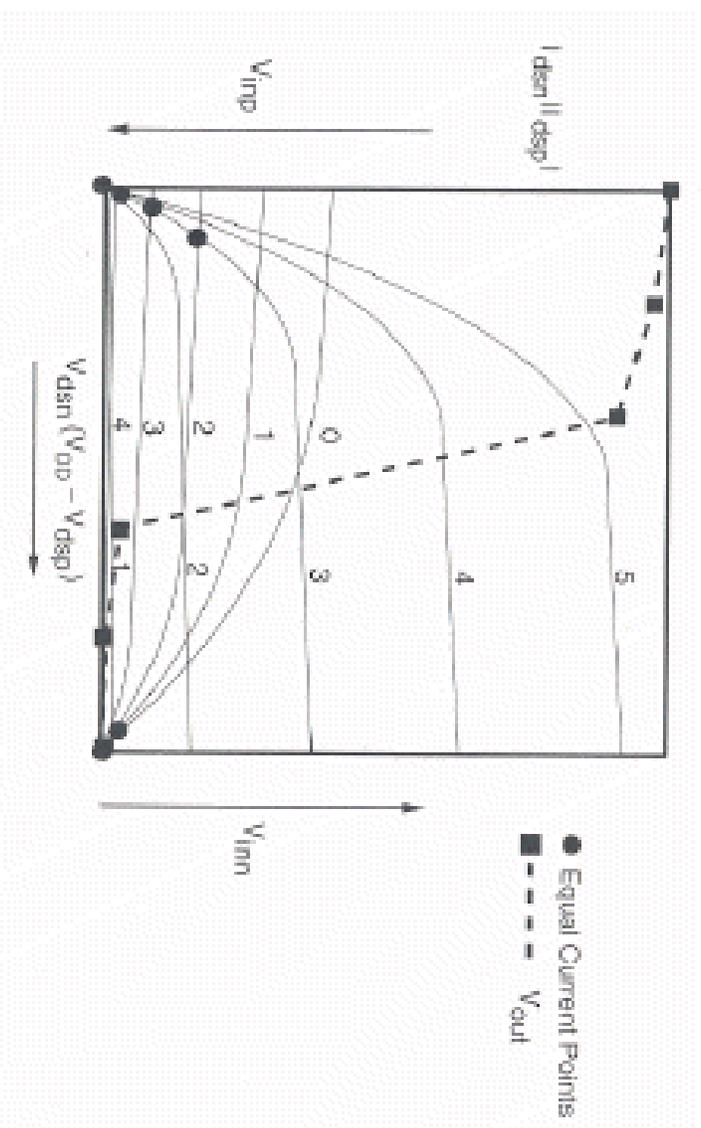
Καμπύλες VI CMOS





Καμπύλες VI CMOS

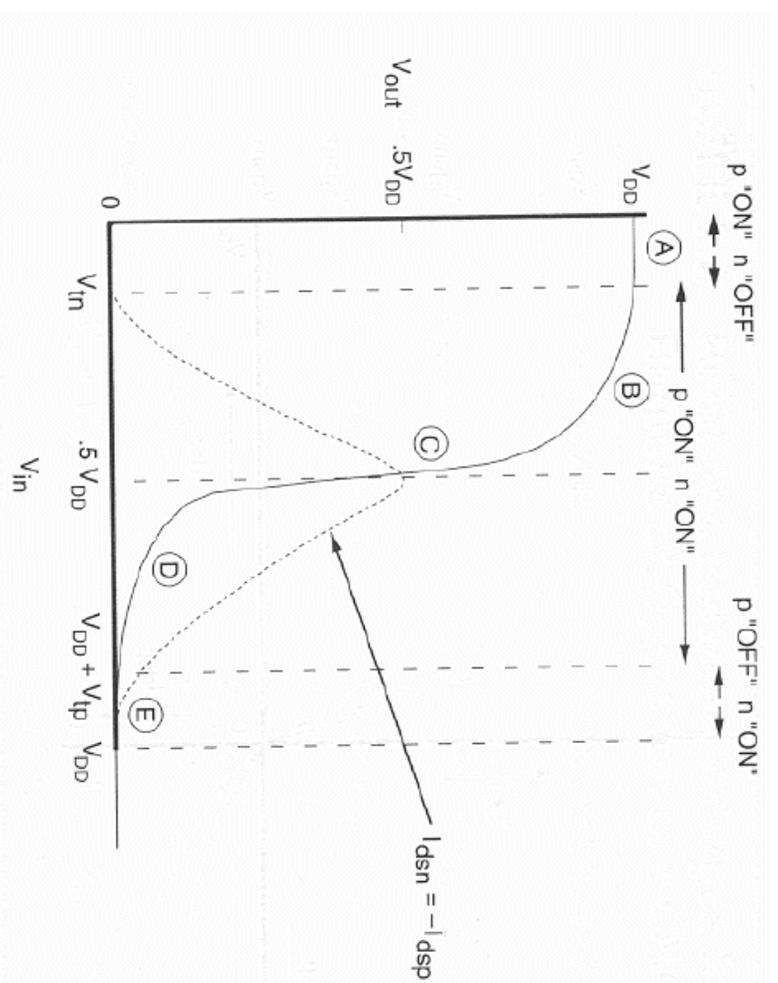
Απο τις καμπύλες VI μπορούμε να παράγουμε την σχέση V_{out} , V_{in} :





Καμπύλη V_I Μεταγωγής CMOS

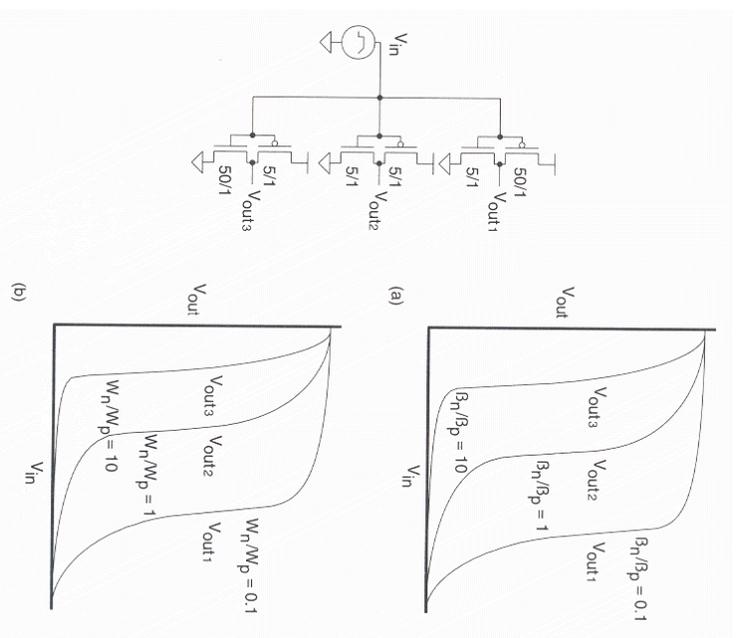
Η καμπύλη μεταγωγής δείχνει την σχέση V_{out} , V_{in} :





Καμπύλη V_I Μεταγωγής $CMOS$

Αλλάζοντας τα W , L αλλάζουμε το σημείο C της καμπύλης:





Συμπεράσματα

- τα *MOS* βασίζονται στο ηλεκτρικό πεδίο της πύλης.
- τα τρανζίστορ είναι ηλεκτρονικές συσκευές που συμπεριφέρονται με βάση τους νόμους της Φυσικής, άρα έχουν αναλογική συμπεριφορά.
- η ψηφιακή συμπεριφορά ισχύει μόνο:
 - όταν ένα τρανζίστορ είναι κλειστό.
 - στην περιοχή κορεσμού, όπου το ρεύμα είναι ανεξάρτητο του V_{ds} .