

HY422 – Εισαγωγή στα Συστήματα VLSI

Διδάσκων: Χ. Σωτηρίου, Βοηθός: Π. Ματθαϊάκης

<http://www.csd.uoc.gr/~hy422>

I

HY422 - Διάλεξη 10η Χρονισμός 5/9/2011

Περιεχόμενα

- ▶ Γενικό Μοντέλο Σύγχρονου Κυκλώματος
 - ▶ Είδη Μονοπατιών
- ▶ Στατική Χρονική Ανάλυση
 - ▶ Βάση Περιορισμών
 - ▶ Χρόνος Αναχώρησης, Χρόνος Άφιξης, Ενεργές Ακμές
- ▶ Παράδειγμα Στατικής Χρονικής Ανάλυσης
- ▶ Χρονικοί Περιορισμοί στο Ρολόι
 - ▶ Απόκλιση (Skew), Τρίκλισμα (Jitter)
 - ▶ Σχεδίαση Δέντρων
- ▶ Φραγή Ρολογιού (Clock Gating)

▶ 2

HY422 - Διάλεξη 10η Χρονισμός 5/9/2011

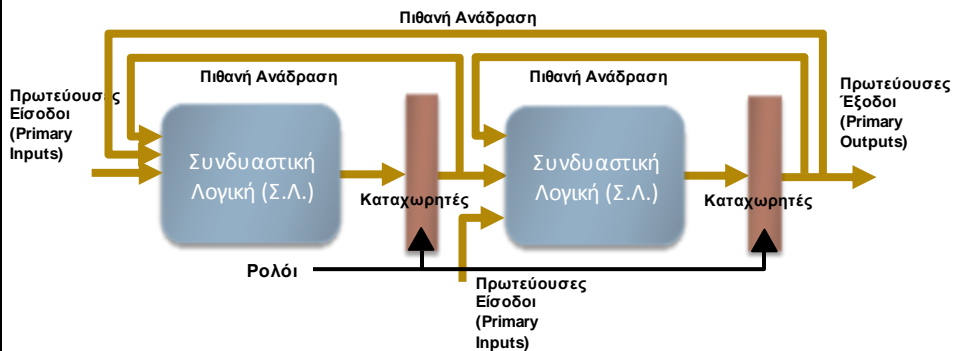
Περιεχόμενα

- ▶ **Γενικό Μοντέλο Σύγχρονου Κυκλώματος**
 - ▶ Είδη Μονοπατιών
- ▶ Στατική Χρονική Ανάλυση
 - ▶ Βάση Περιορισμών
 - ▶ Χρόνος Αναχώρησης, Χρόνος Άφιξης, Ενεργές Ακμές
- ▶ Παράδειγμα Στατικής Χρονικής Ανάλυσης
- ▶ Χρονικοί Περιορισμοί στο Ρολόι
 - ▶ Απόκλιση (Skew), Τρίκλισμα (Jitter)
 - ▶ Σχεδίαση Δέντρων
- ▶ Φραγή Ρολογιού (Clock Gating)

▶ 3

HY422 - Διάλεξη 10η Χρονισμός 5/9/2011

Γενικό Μοντέλο Σύγχρονου Κυκλώματος



- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ▶ Συνδέσεις, Καταχωρητές αποτελούνται από πολλαπλά bit | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Συνδυαστική Λογική (σύννεφο) <ul style="list-style-type: none"> ▶ Τοπικές Έξοδοι = $f(\text{Τοπικών Εισόδων})$ |
| <ul style="list-style-type: none"> ▶ Καταχωρητές <ul style="list-style-type: none"> ▶ Σύνολο Flip-flop ▶ Συνοριακά Στοιχεία | <ul style="list-style-type: none"> ▶ Είναι πιθανό να υπάρχει ανάδραση μεταξύ των τμημάτων |

▶ 4

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

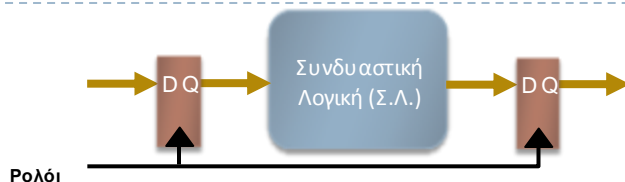
Περιεχόμενα

- ▶ Γενικό Μοντέλο Σύγχρονου Κυκλώματος
 - ▶ Είδη Μονοπατιών
- ▶ Στατική Χρονική Ανάλυση
 - ▶ Βάση Περιορισμών
 - ▶ Χρόνος Αναχώρησης, Χρόνος Άφιξης, Ενεργές Ακμές
- ▶ Παράδειγμα Στατικής Χρονικής Ανάλυσης
- ▶ Χρονικοί Περιορισμοί στο Ρολόι
 - ▶ Απόκλιση (Skew), Τρίκλισμα (Jitter)
 - ▶ Σχεδίαση Δέντρων
- ▶ Φραγή Ρολογιού (Clock Gating)

▶ 5

HY422 - Διάλεξη 10η Χρονισμός 5/9/2011

Στατική Χρονική Ανάλυση

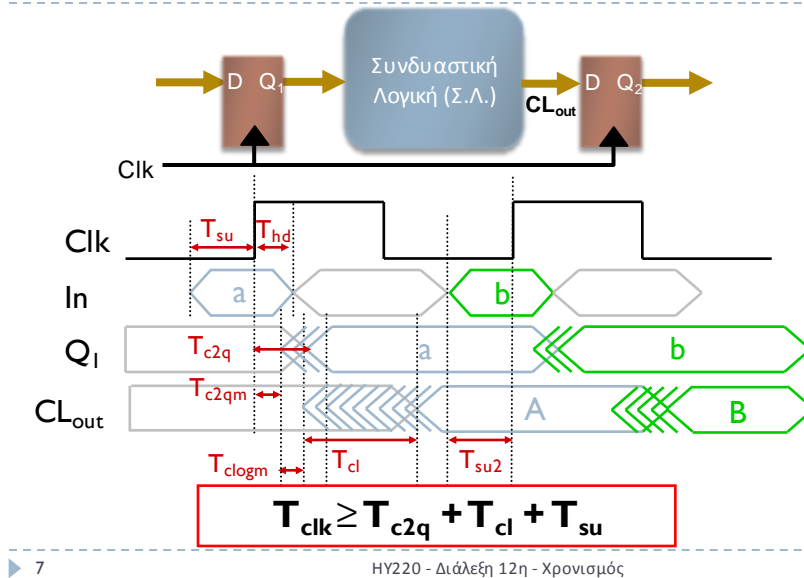


Χρονικές Παράμετροι Καταχωρητών	Χρονικές Παράμετροι Σ.Λ.
<ul style="list-style-type: none"> ▶ T_{clk}: Περίοδος Ρολογιού ▶ T_{su}: Setup time ▶ T_{hd}: Hold time ▶ T_{c2q}: Clock to Q (worst-case) ▶ T_{c2qm}: Clock to Q (min) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ T_{cl}: Μέγιστη Καθυστέρηση Σ.Λ. ▶ Κρίσιμο μονοπάτι ▶ T_{clm}: Ελάχιστη Καθυστέρηση Σ.Λ. ▶ <i>Ελάχιστο μονοπάτι</i>

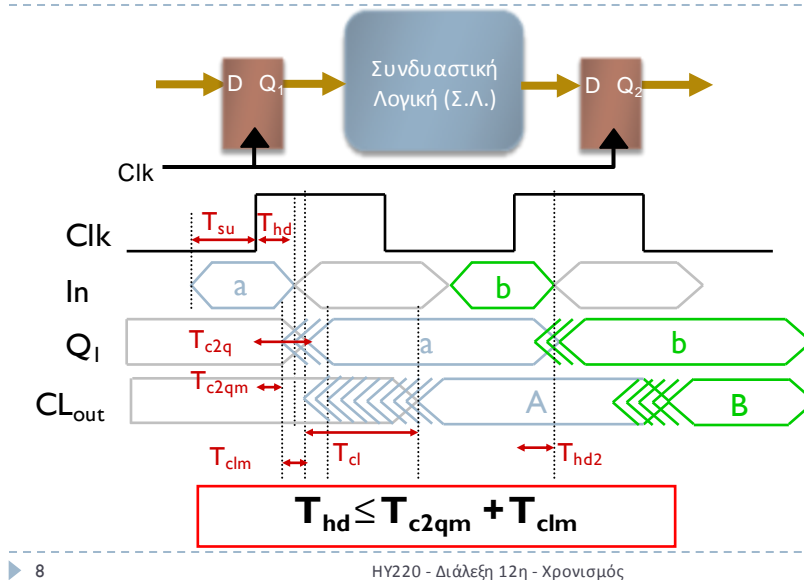
▶ 6

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

ΣΧΑ – Ελάχιστη Περίοδος



ΣΧΑ – Περιορισμός Διατήρησης (Hold)



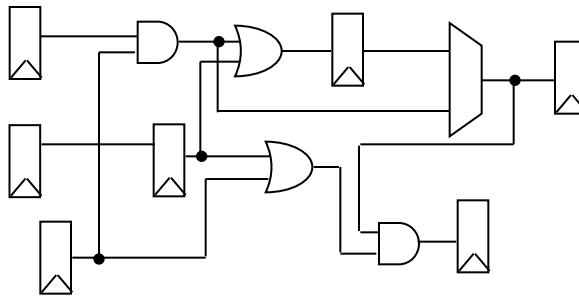
Περιεχόμενα

- ▶ Γενικό Μοντέλο Σύγχρονου Κυκλώματος
 - ▶ Είδη Μονοπατιών
- ▶ Στατική Χρονική Ανάλυση
 - ▶ Βάση Περιορισμών
 - ▶ Χρόνος Αναχώρησης, Χρόνος Άφιξης, Ενεργές Ακμές
- ▶ **Παράδειγμα Στατικής Χρονικής Ανάλυσης**
- ▶ Χρονικοί Περιορισμοί στο Ρολόι
 - ▶ Απόκλιση (Skew), Τρίκλισμα (Jitter)
 - ▶ Σχεδίαση Δέντρων
- ▶ Φραγή Ρολογιού (Clock Gating)

▶ 9

HY422 - Διάλεξη 10η Χρονισμός 5/9/2011

Παράδειγμα (1 / 6)

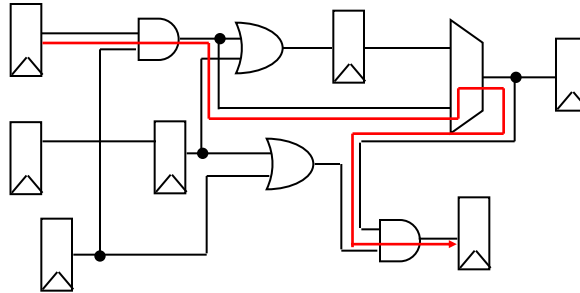


$T_{\text{and}} = 2\text{ns}$, $T_{\text{or}} = 1\text{ns}$, $T_{\text{mux}} = 3\text{ns}$,
 $T_{\text{c2q}} = 0.5\text{ns}$, $T_{\text{c2qm}} = 0.2\text{ns}$, $T_{\text{su}} = 0.4\text{ns}$, $T_{\text{hd}} = 0.3\text{ns}$
 Ποιό είναι το κρίσιμο μονοπάτι;
 Πόση είναι η ελάχιστη περίοδος ρολογιού;
 Καλύπτονται όλες οι συνθήκες χρονισμού;

▶ 10

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Παράδειγμα (2 / 6)



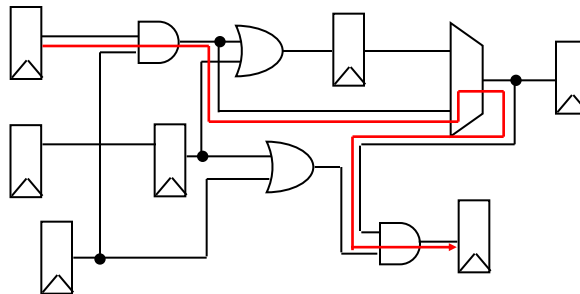
$$T_{\text{and}} = 2\text{ns}, T_{\text{or}} = 1\text{ns}, T_{\text{mux}} = 3\text{ns}, \\ T_{\text{c2q}} = 0.5\text{ns}, T_{\text{c2qm}} = 0.2\text{ns}, T_{\text{su}} = 0.4\text{ns}, T_{\text{hd}} = 0.3\text{ns}$$

Ποιό είναι το κρίσιμο μονοπάτι;

► 11

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Παράδειγμα (3 / 6)



$$T_{\text{and}} = 2\text{ns}, T_{\text{or}} = 1\text{ns}, T_{\text{mux}} = 3\text{ns}, \\ T_{\text{c2q}} = 0.5\text{ns}, T_{\text{c2qm}} = 0.2\text{ns}, T_{\text{su}} = 0.4\text{ns}, T_{\text{hd}} = 0.3\text{ns}$$

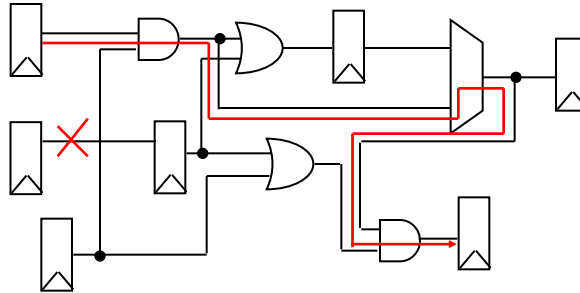
Πόση είναι η ελάχιστη περίοδος ρολογιού;

$$T_{\text{min}} = T_{\text{c2q}} + T_{\text{and}} + T_{\text{mux}} + T_{\text{and}} + T_{\text{su}} = 7.9\text{ ns}$$

► 12

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Παράδειγμα (4/6)



$T_{\text{and}} = 2\text{ns}, T_{\text{or}} = 1\text{ns}, T_{\text{mux}} = 3\text{ns},$
 $T_{\text{c2q}} = 0.5\text{ns}, T_{\text{c2qm}} = 0.2\text{ns}, T_{\text{su}} = 0.4\text{ns}, T_{\text{hd}} = 0.3\text{ns}$

Καλύπτονται όλες οι συνθήκες χρονισμού;

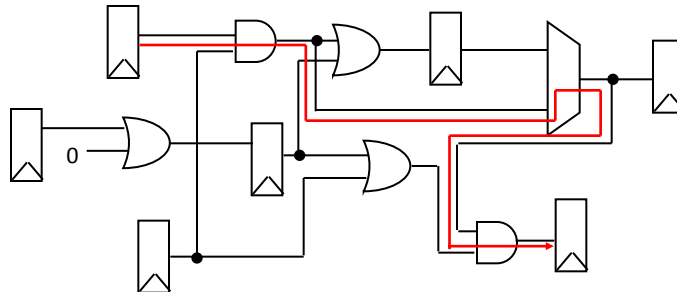
ΟΧΙ !!! Έχουμε $T_{\text{clm}} = 0\text{ns}$ και $T_{\text{c2qm}} = 0.2\text{ns}$

Πρέπει $T_{\text{hd}} \leq T_{\text{c2qm}} + T_{\text{clm}}$

► 13

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Παράδειγμα (5/6)



$T_{\text{and}} = 2\text{ns}, T_{\text{or}} = 1\text{ns}, T_{\text{mux}} = 3\text{ns},$
 $T_{\text{c2q}} = 0.5\text{ns}, T_{\text{c2qm}} = 0.2\text{ns}, T_{\text{su}} = 0.4\text{ns}, T_{\text{hd}} = 0.3\text{ns}$

Καλύπτονται όλες οι συνθήκες χρονισμού;

Πρέπει $T_{\text{hd}} \leq T_{\text{c2qm}} + T_{\text{clm}}$

Προσθέτουμε μια πύλη με $T_{\text{or}} = 1\text{ns}$ (αρκεί;)

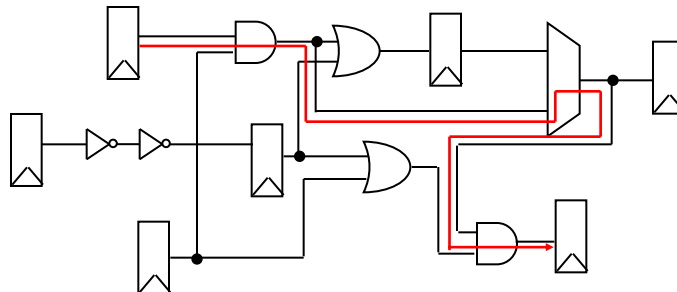
Έστω $T_{\text{orm}} = T_{\text{or}}$ και γενικά για όλες τις πύλες,

Τώρα ΝΑΙ !!! Έχουμε $T_{\text{clm}} = 1\text{ns}$ και $T_{\text{c2qm}} = 0.2\text{ns}$

► 14

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Παράδειγμα (6/6)



$T_{\text{and}} = 2\text{ns}$, $T_{\text{or}} = 1\text{ns}$, $T_{\text{mux}} = 3\text{ns}$,
 $T_{\text{c2q}} = 0.5\text{ns}$, $T_{\text{c2qm}} = 0.2\text{ns}$, $T_{\text{su}} = 0.4\text{ns}$, $T_{\text{hd}} = 0.3\text{ns}$
Καλύπτονται όλες οι συνθήκες χρονισμού;

Πρέπει $T_{\text{hd}} \leq T_{\text{c2qm}} + T_{\text{clogm}}$

Συνήθως βάζουμε 2 αντιστροφείς (έστω $T_{\text{invm}} = 0.3\text{ns}$)

OK !!! Έχουμε $T_{\text{clm}} = 0.6\text{ ns}$ και $T_{\text{c2qm}} = 0.2\text{ns}$

► 15

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

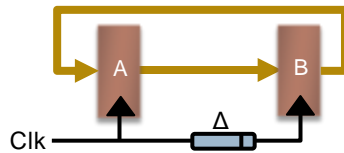
Περιεχόμενα

- Γενικό Μοντέλο Σύγχρονου Κυκλώματος
 - Είδη Μονοπατιών
- Στατική Χρονική Ανάλυση
 - Βάση Περιορισμών
 - Χρόνος Αναχώρησης, Χρόνος Άφιξης, Ενεργές Ακμές
- Παράδειγμα Στατικής Χρονικής Ανάλυσης
- Χρονικοί Περιορισμοί στο Ρολόι
 - Απόκλιση (Skew), Τρίκλισμα (Jitter)
 - Σχεδίαση Δέντρων
- Φραγή Ρολογιού (Clock Gating)

► 16

HY422 - Διάλεξη 10η Χρονισμός 5/9/2011

Περιορισμοί στο Ρολόι – Απόκλιση (Skew)



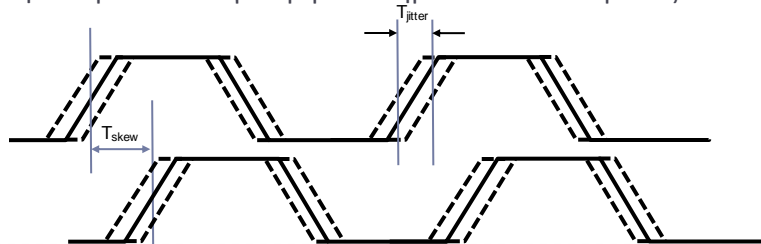
- ▶ Αν $\Delta = 0$, το σύστημα εναλλάσσει τιμές AB, BA, ...
 - ▶ Στο παραπάνω παράδειγμα απόκλισης άφιξης μπορεί να εμπεριέχεται και συνδυαστική λογική μεταξύ A, B.
- ▶ Τι θα συμβεί καθώς το $\Delta \geq 0$, και το Δ μεγαλώνει;
 - ▶ Ο διαθέσιμος χρόνος $B \rightarrow A$ μικραίνει
 - ▶ Αν $\Delta \geq T_{c2q}$, τότε η είσοδος του B θα έχει γίνει B, μια και θα έχει επαναγραφεί το A, άρα θα μείνουμε με BB, BB, ...

▶ 17

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Απόκλιση (Skew) και Τρίκλισμα (Jitter)

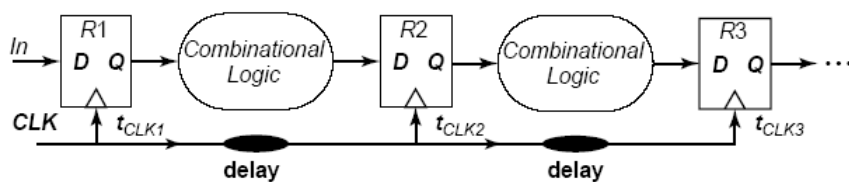
- ▶ **Απόκλιση (Skew)**
 - ▶ Σταθερή από κύκλο σε κύκλο
 - ▶ Απόκλιση στους χρόνους άφιξης στο σήμα ρολογιού στα διαφορετικά σημεία του κυκλώματος
- ▶ **Τρίκλισμα (Jitter)**
 - ▶ Μεταβλητή απόκλιση από μεταβατικά, περιοδικά ή μη φαινόμενα σε συγκεκριμένο σημείο του κυκλώματος



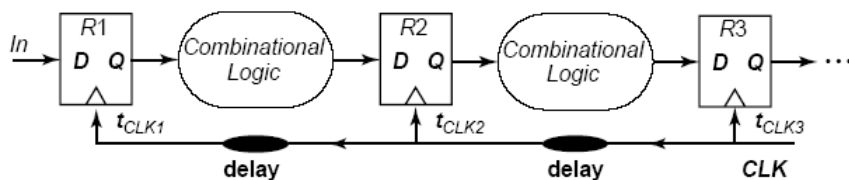
▶ 18

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Θετική και Αρνητική Απόκλιση



(α) Θετική Απόκλιση – Ρολοί και Δεδομένα προς την ίδια κατεύθυνση

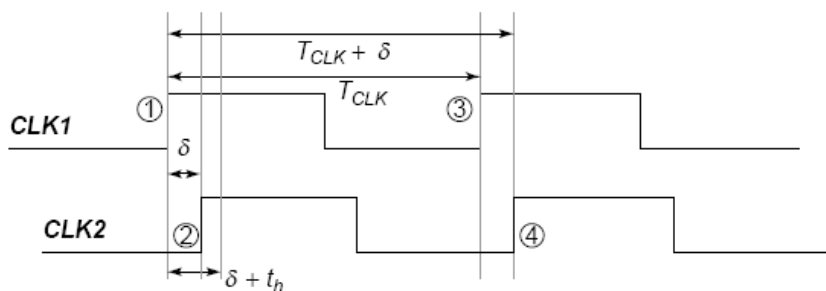


(β) Αρνητική Απόκλιση – Ρολοί και Δεδομένα προς αντίθετη κατεύθυνση

► 19

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Θετική Απόκλιση

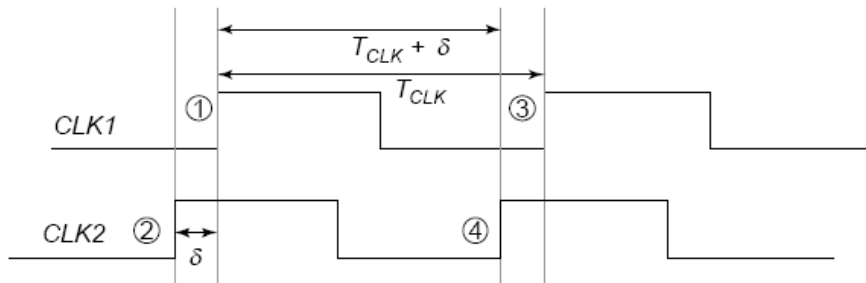


Η ακμή αποστολής καταφτάνει πριν την ακμή λήψης

► 20

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Αρνητική Απόκλιση



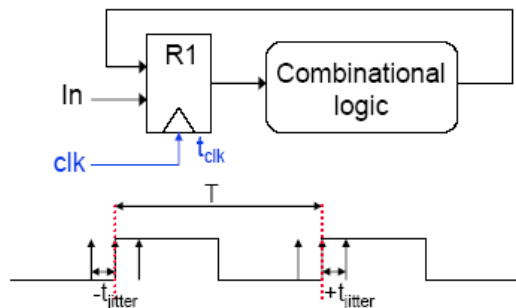
Η ακμή λήψης καταφτάνει πριν την ακμή αποστολής

► 21

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Τρίκλισμα (Jitter)

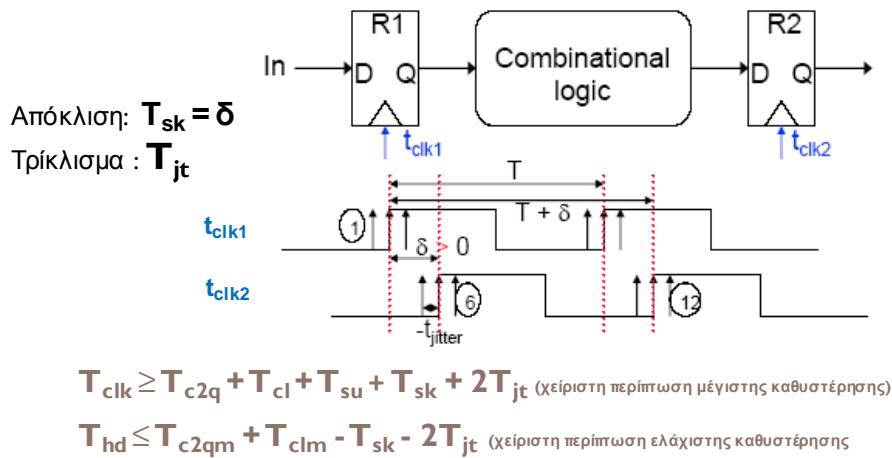
- Το τρίκλισμα προκαλεί δυναμική μεταβολή της περιόδου
Τ από κύκλο σε κύκλο



► 22

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

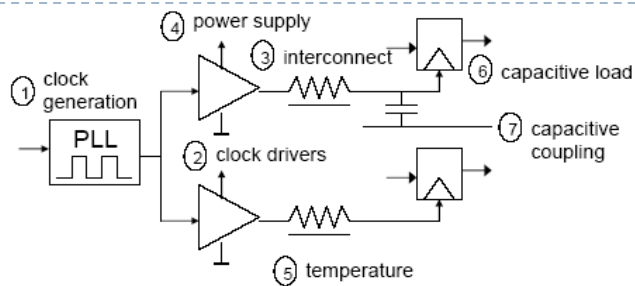
ΣΧΑ με Απόκλιση και Τρίκλισμα



► 23

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Πηγές Απόκλισης, Τρικλίσματος



(1): Γεννήτρια ρολογιού (PLL) → Τρίκλισμα

(3): Μεταβλητότητα στις Συνδέσεις → Απόκλιση

(2): Μεταβλητότητα στους οδηγούς → Απόκλιση

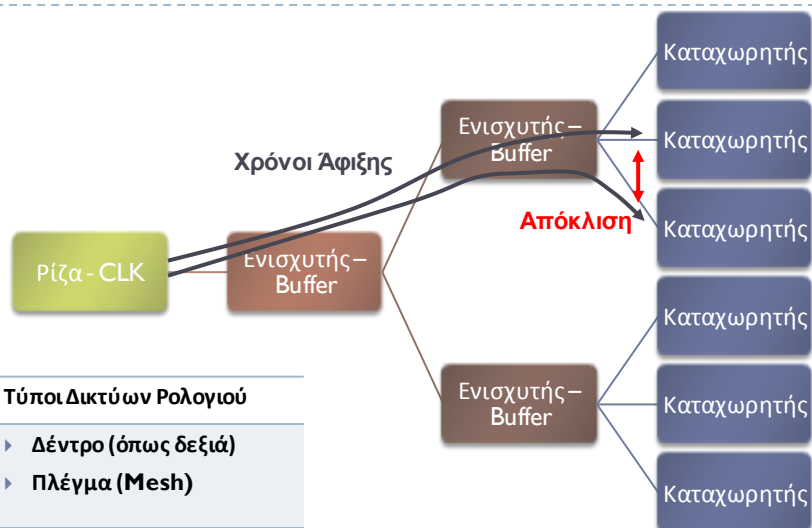
(4, 5): Μεταβλητότητα στην τάση πηγής, θερμοκρασία → Τρίκλισμα και Απόκλιση

(6, 7): Αλληλοεπίδραση μέσω Χωρητικότητας (Παρασιτικές Συνδέσεις Πυκνωτών) → Τρίκλισμα

► 25

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Δέντρα/Δίκτυα Ρολογιού και ΣΧΑ

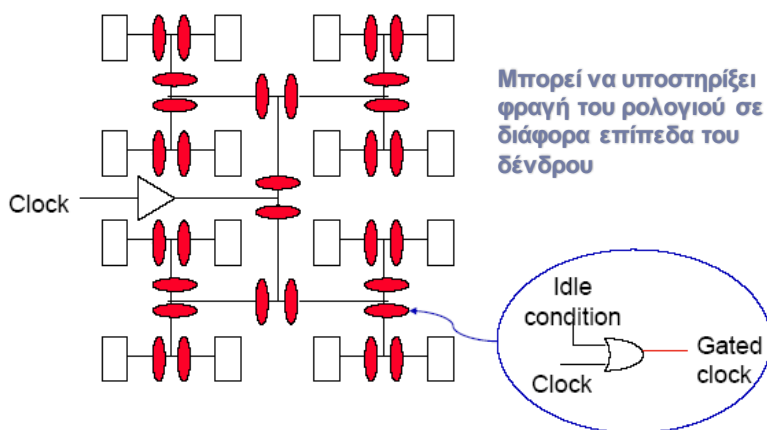


▶ 26

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Διάταξη H-Δένδρου

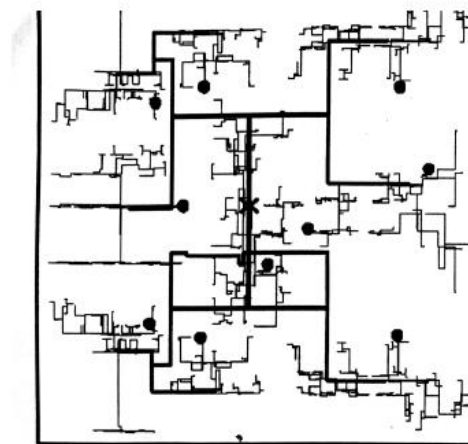
Με τέλεια ισοσκέλιση των μονοπατιών η απόκλιση μπορεί να γίνει μηδέν



▶ 27

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Πραγματικό Η-Δέντρο



► 28

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Περιεχόμενα

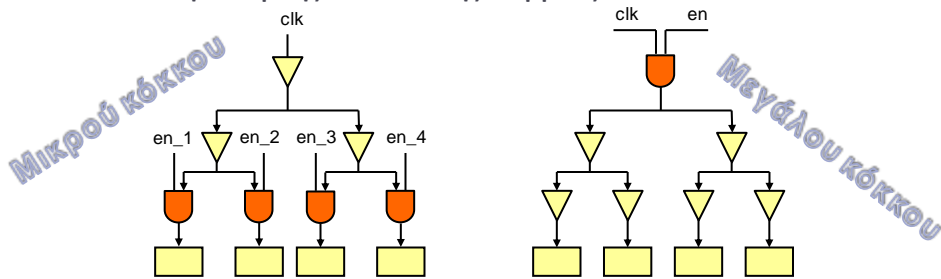
- Γενικό Μοντέλο Σύγχρονου Κυκλώματος
 - Είδη Μονοπατιών
- Στατική Χρονική Ανάλυση
 - Βάση Περιορισμών
 - Χρόνος Αναχώρησης, Χρόνος Άφιξης, Ενεργές Ακμές
- Παράδειγμα Στατικής Χρονικής Ανάλυσης
- Χρονικοί Περιορισμοί στο Ρολόι
 - Απόκλιση (Skew), Τρίκλισμα (Jitter)
 - Σχεδίαση Δέντρων
- Φραγή Ρολογιού (Clock Gating)

► 29

HY422 - Διάλεξη 10η Χρονισμός 5/9/2011

Φραγή Ρολογιού (Clock Gating)

- ▶ Κατά ένα μεγάλο ποσοστό, οι καταχωρητές διατηρούν την τιμή τους από κύκλο σε κύκλο
- ▶ Ιδέα
 - ▶ να εμποδίσουμε την σχετική μετάβαση του ρολογιού
- ▶ Στόχος
 - ▶ Μείωση δυναμικής κατανάλωσης ενέργειας

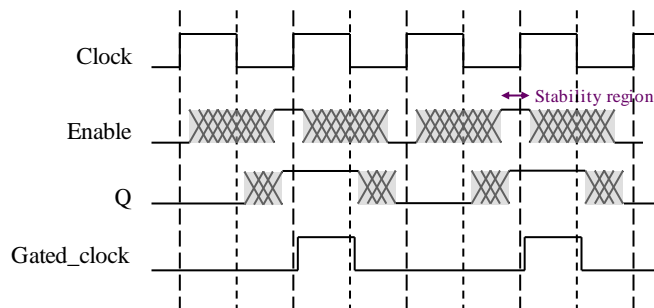
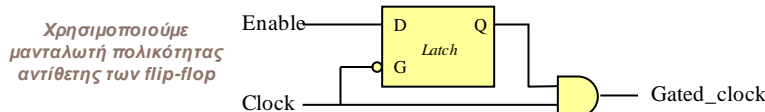


▶ 30

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Φραγή Ρολογιού με χρήση Μανταλωτή

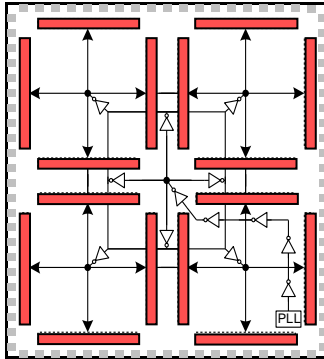
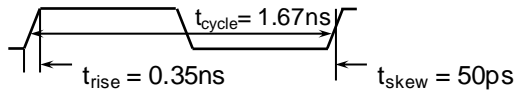
- ▶ Το σήμα ενεργοποίησης (Enable) είναι σταθερό **μόνο πριν την σχετική ακμή**



▶ 31

HY220 - Διάλεξη 12η - Χρονισμός

Παράδειγμα - Alpha 21264 600MHz, 0.35μm CMOS

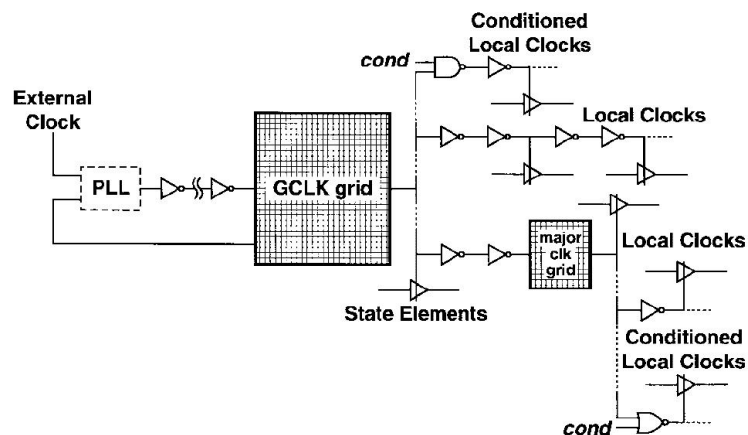


- ▶ Πολλαπλά τοπικά ρολόγια με δυνατότητα φραγής
- ▶ 2.8 nF φορτίο στο ρολόι
- ▶ 40 cm απόσταση στους τελευταίους οδηγούς

▶ 32

HY422 - Διάλεξη 10η Χρονισμός 5/9/2011

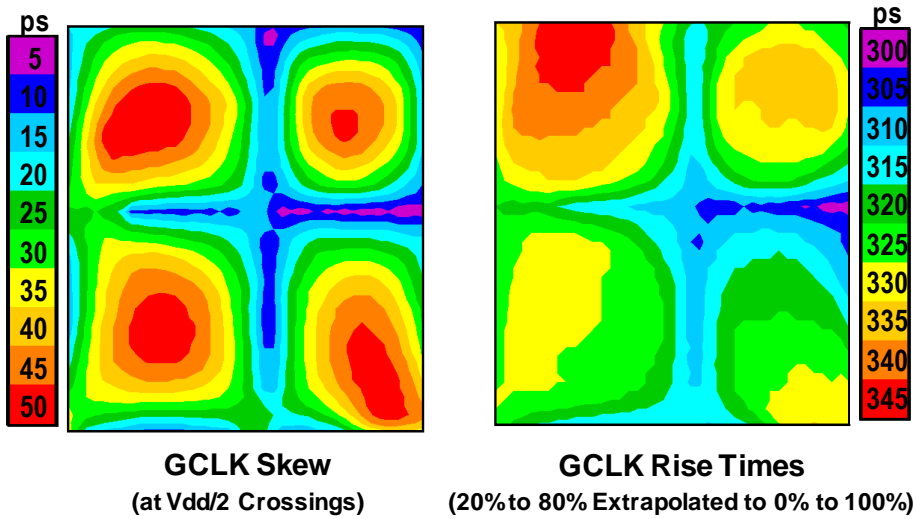
Παράδειγμα - Alpha 21264 600MHz, 0.35μm CMOS



▶ 33

HY422 - Διάλεξη 10η Χρονισμός 5/9/2011

Παράδειγμα - Alpha 21264 600MHz,
0.35μm CMOS



▶ 34

HY422 - Διάλεξη 10η Χρονισμός 5/9/2011