

Κατανάλωση ισχύος λογικών πυλών και κυκλωμάτων

Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική

Βασικοί ορισμοί

- Στιγμιαία ισχύς:

$$P(t) = V_{DD} I_{DD}(t) = \frac{dE(t)}{dt}$$

- Ενέργεια σε διάστημα T :

$$E = \int_0^T P(t) dt = V_{DD} \int_0^T I_{DD}(t) dt$$

- Μέση ισχύς σε διάστημα T :

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt = \frac{V_{DD}}{T} \int_0^T I_{DD}(t) dt = \frac{E}{T}$$

Σημασία κατανάλωσης ισχύος



Δυναμική κατανάλωση ισχύος

- Εμφανίζεται μόνο κατά την αλλαγή καταστάσεων στις εξόδους των λογικών πυλών (συνήθως με την έλευση κάθε παλμού ρολογιού)
- Διακρίνεται σε δύο συνιστώσες:
 - Ισχύς φόρτισης των χωρητικοτήτων εξόδου
 - Ισχύς βραχυκυκλώσεως μεταξύ τροφοδοσίας και γείωσης, λόγω ταυτόχρονης αγωγής των μονοπατιών pull-up και pull-down για μικρό χρονικό διάστημα κατά τη μεταγωγή (αμελητέα συνιστώσα)

Δυναμική κατανάλωση ισχύος

- Απαιτούμενη ενέργεια για φόρτιση της χωρητικότητας εξόδου (μετάβαση 0→1) μιας λογικής πύλης σε διάστημα T :

$$E = V_{DD} \int_0^T I_{DD}(t) dt = V_{DD} \int_0^T C_L \frac{dV_C(t)}{dt} dt = V_{DD} C_L V_C(t) \Big|_{t=0}^{t=T} = V_{DD}^2 C_L$$

- Μέση δυναμική κατανάλωση ισχύος μιας λογικής πύλης για φόρτιση της χωρητικότητας εξόδου σε διάστημα T :

$$P_{av} = E/T = V_{DD}^2 C_L / T$$

- Ενέργεια που αποθηκεύεται στη χωρητικότητα εξόδου:

$$E_C = \int_0^T V_C(t) I_C(t) dt = \int_0^T V_C(t) C_L \frac{dV_C(t)}{dt} dt = C_L \frac{V_C^2(t)}{2} \Big|_{t=0}^{t=T} = \frac{V_{DD}^2 C_L}{2}$$

(η υπόλοιπη ενέργεια καταναλώνεται ως θερμότητα στα pMOS τρανζίστορ που επιτελούν τη φόρτιση)

- Κατά την εκφόρτιση της εξόδου δεν αντλείται ενέργεια από την τροφοδοσία, αλλά η αποθηκευμένη ενέργεια στη χωρητικότητα εξόδου καταναλώνεται ως θερμότητα στα nMOS τρανζίστορ που επιτελούν την εκφόρτιση

Δυναμική κατανάλωση ισχύος

- Εάν T και $f = 1/T$ είναι η περίοδος και η συχνότητα του ρολογιού αντίστοιχα, τότε η μέση δυναμική ισχύς μιας λογικής πύλης σε πλήθος N κύκλων ρολογιού θα είναι:

$$P_{av} = \alpha_{0 \rightarrow 1} f C_L V_{DD}^2$$

όπου:
$$\alpha_{0 \rightarrow 1} = \frac{\# \text{ of } 0 \rightarrow 1 \text{ in } N \text{ clock cycles}}{N}$$

είναι ο συντελεστής δραστηριότητας μεταγωγής (switching activity), $0 \leq \alpha_{0 \rightarrow 1} \leq 1$

- Μέση δυναμική ισχύς συνολικού κυκλώματος:

$$P_{av,tot} = f V_{DD}^2 \sum_{i \in \text{gates}} \alpha_i C_i$$

Στατική κατανάλωση ισχύος

- Εμφανίζεται καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του κυκλώματος λόγω ρευμάτων διαρροής (leakage)
- Διακρίνεται σε τρεις συνιστώσες:
 - Διαρροή υποκατωφλίου (subthreshold) ή ασθενούς αντιστροφής (weak inversion) των τρανζίστορ που είναι σε κατάσταση αποκοπής (OFF):
$$I_D = I_{D0} \frac{W}{L} \exp\left(\frac{V_{GS} - V_T}{nkT/q}\right), \quad V_{GS} < V_T$$
 - Διαρροή σήραγγος (tunneling) μέσω του μονωτικού οξειδίου πύλης των τρανζίστορ που είναι σε κατάσταση αγωγής (ON) και έχουν ολοκληρώσει τη μετάβαση:
$$I_G \sim I_{G0} W L V_{GS} \exp(-t_{ox})$$
 - Διαρροή των ανάστροφα πολωμένων διόδων πηγής/υποδοχής (αμελητέα συνιστώσα)

Διαρροή υποκατωφλίου

