

# Περιεχόμενα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Μοντέλα για Ενεργές Συσκευές Ολοκληρωμένου Κυκλώματος

#### 1.1 Εισαγωγή

#### 1.2 Περιοχή Απογύμνωσης μιας Επαφής $pn$

1.2.1 Χωρητικότητα της Περιοχής Απογύμνωσης

1.2.2 Κατάρρευση Επαφής

#### 1.3 Συμπεριφορά Μεγάλου-Σήματος των Διπολικών Τρανζίστορ

1.3.1 Μοντέλα Μεγάλου-Σήματος στην Ενεργό Περιοχή Ορθής Λειτουργίας

1.3.2 Επίδραση της Τάσης Συλλέκτη στις Χαρακτηριστικές Μεγάλου-Σήματος στην Ενεργό Περιοχή Ορθής Λειτουργίας

1.3.3 Περιοχή Κόρου και Ενεργός Περιοχή Ανάστροφης Λειτουργίας

1.3.4 Τάσεις Κατάρρευσης του Τρανζίστορ

1.3.5 Εξάρτηση του Κέρδους Ρεύματος  $\beta_F$  του Τρανζίστορ από τις Συνθήκες Λειτουργίας

#### 1.4 Μοντέλα Μικρού-Σήματος για Διπολικά Τρανζίστορ

1.4.1 Διαγωγιμότητα

1.4.2 Χωρητικότητα Φορτίου Βάσης

1.4.3 Αντίσταση Εισόδου

1.4.4 Αντίσταση Εξόδου

1.4.5 Βασικό Μοντέλο Μικρού-Σήματος του Διπολικού Τρανζίστορ

1.4.6 Αντίσταση Συλλέκτη-Βάσης

1.4.7 Παρασιτικά Στοιχεία στο Μοντέλο Μικρού-Σήματος

1.4.8 Προσδιορισμός της Απόκρισης Συχνότητας του Τρανζίστορ

#### 1.5 Συμπεριφορά Μεγάλου-Σήματος του Τρανζίστορ Μετάλλου-Οξειδίου-Ημιαγωγού Επίδρασης-Πεδίου

1.5.1 Χαρακτηριστική Μεταφοράς των MOS Συσκευών

1.5.2 Σύγκριση των Περιοχών Λειτουργίας των Διπολικών και των MOS Τρανζίστορ

1.5.3 Ανάλυση της Τάσης Πύλης-Πηγής

1.5.4 Θερμοκρασιακή Εξάρτηση της Τάσης Κατωφλίου

1.5.5 Περιορισμοί Τάσης σε Συσκευές MOS

#### 1.6 Μοντέλα Μικρού-Σήματος για MOS Τρανζίστορ

1.6.1 Διαγωγιμότητα

1.6.2 Ενδογενής Χωρητικότητα Πύλης-Πηγής και Πύλης-Απαγωγού

1.6.3 Αντίσταση Εισόδου

1.6.4 Αντίσταση Εξόδου

1.6.5 Βασικό Μοντέλο Μικρού-Σήματος του MOS Τρανζίστορ

1.6.6 Διαγωγιμότητα Σώματος

1.6.7 Παρασιτικά Στοιχεία στο Μοντέλο Μικρού-Σήματος

1.6.8 Απόκριση Συχνότητας του MOS Τρανζίστορ

- 1.7 Επιδράσεις Μικρού Μήκους Διαύλου σε MOS Τρανζίστορ
  - 1.7.1 Κορεσμός Ταχύτητας από το Οριζόντιο Πεδίο
  - 1.7.2 Διαγωγιμότητα και Συχνότητα Μετάβασης
  - 1.7.3 Υποβάθμιση Ευκινησίας από το Κάθετο Πεδίο
  - 1.7.4 Αντίσταση Εξόδου
  - 1.7.5 Βασικό Μοντέλο Μικρού-Σήματος του MOS Τρανζίστορ
  - 1.7.6 Διαγωγιμότητα Σώματος
  - 1.7.7 Παρασιτικά Στοιχεία στο Μοντέλο Μικρού-Σήματος
  - 1.7.8 Απόκριση Συχνότητας του MOS Τρανζίστορ
- 1.8 Ασθενής Αναστροφή σε MOS Τρανζίστορ
  - 1.8.1 Ρεύμα Απαγωγού στην Ασθενή Αναστροφή
  - 1.8.2 Διαγωγιμότητα και Συχνότητα Μετάβασης στην Ασθενή Αναστροφή
- 1.9 Ροή Ρεύματος Υποστρώματος σε MOS Τρανζίστορ
  - A.1.1 Σύνοψη Παραμέτρων Ενεργών Συσκευών

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **Διπολική, MOS, και BiCMOS Τεχνολογία Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων**

- 2.1 Εισαγωγή
- 2.2 Βασικές Διαδικασίες στην Κατασκευή Ολοκληρωμένου Κυκλώματος
  - 2.2.1 Ηλεκτρική Ειδική Αντίσταση του Πυριτίου
  - 2.2.2 Διάχυση Στερεάς Κατάστασης
  - 2.2.3 Ηλεκτρικές Ιδιότητες των Στρωμάτων Διάχυσης
  - 2.2.4 Φωτολιθογραφία
  - 2.2.5 Επιταξιακή Ανάπτυξη
  - 2.2.6 Εμφύτευση Ιόντων
  - 2.2.7 Τοπική Οξειδωση
  - 2.2.8 Εναπόθεση Πολυπυριτίου
- 2.3 Κατασκευή Διπολικών Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων Υψηλής Τάσης
- 2.4 Προηγμένη Κατασκευή Διπολικών Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων
- 2.5 Ενεργές Συσκευές σε Διπολικά Ολοκληρωμένα Κυκλώματα
  - 2.5.1 *npn* Τρανζίστορ Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων
  - 2.5.2 *pnp* Τρανζίστορ Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων
- 2.6 Παθητικά Στοιχεία Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων
  - 2.6.1 Αντιστάτες Διάχυσης
  - 2.6.2 Επιταξιακοί Αντιστάτες και Επιταξιακοί Αντιστάτες Περιορισμού
  - 2.6.3 Πυκνωτές Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων
  - 2.6.4 Δίοδοι Zener
  - 2.6.5 Δίοδοι Επαφής
- 2.7 Τροποποιήσεις στην Βασική Διπολική Διαδικασία

- 2.7.1 Διηλεκτρική Απομόνωση
- 2.7.2 Συμβατή Διαδικασία για Ενεργές Συσκευές Υψηλής Απόδοσης
- 2.7.3 Παθητικά Στοιχεία Υψηλής Απόδοσης

## 2.8 Κατασκευή MOS Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων

### 2.9 Ενεργές Συσκευές σε MOS Ολοκληρωμένα Κυκλώματα

- 2.9.1 Τρανζίστορ Διαύλου- $n$
- 2.9.2 Τρανζίστορ Διαύλου- $p$
- 2.9.3 Συσκευές Απογύμνωσης
- 2.9.4 Διπολικά Τρανζίστορ

### 2.10 Παθητικά Στοιχεία σε MOS Τεχνολογία

- 2.10.1 Αντιστάτες
- 2.10.2 Πυκνωτές σε CMOS Τεχνολογία
- 2.10.3 Κλειδίωμα Εκκίνησης (latch up) σε CMOS Τεχνολογία
- 2.10.4 Δίοδοι Zener
- 2.10.5 Δίοδοι Επαφής

### 2.11 BiCMOS Τεχνολογία

### 2.12 Ετεροεπαφιακά Διπολικά Τρανζίστορ

### 2.13 Καθυστέρηση Διασύνδεσης

### 2.14 Οικονομικές Πλευρές της Κατασκευής των Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων

- 2.14.1 Μελέτη της Απόδοσης της Κατασκευής των Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων
- 2.14.2 Μελέτη του Κόστους Κατασκευής των Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων σε CMOS Τεχνολογία

### 2.15 Συσκευασία των Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων

- 2.15.1 Μέγιστη Κατανάλωση Ισχύος
- 2.15.2 Μελέτη της Επίδρασης της Συσκευασίας στην Αξιοπιστία των Κυκλωμάτων

### A.2.1 SPICE Παράμετροι Μοντέλων

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **Ενισχυτές Απλού-Τρανζίστορ και Πολλαπλών-Τρανζίστορ**

#### 3.1 Επιλογή Μοντέλου Συσκευής για την Προσεγγιστική Ανάλυση Αναλογικών Κυκλωμάτων

#### 3.2 Δίθυρα Μοντέλα Ενισχυτών

#### 3.3 Βασικές Βαθμίδες Ενισχυτών Απλού-Τρανζίστορ

- 3.3.1 Συνδεσμολογία Κοινού-Εκπομπού
- 3.3.2 Συνδεσμολογία Κοινής-Πηγής

- 3.3.3 Συνδεσμολογία Κοινής-Βάσης
- 3.3.4 Συνδεσμολογία Κοινής-Πύλης
- 3.3.5 Συνδεσμολογία Κοινής-Βάσης και Κοινής-Πύλης με Πεπερασμένη  $r_o$ 
  - 3.3.5.1 Αντίσταση Εισόδου Κοινής-Βάσης και Κοινής-Πύλης
  - 3.3.5.2 Αντίσταση Εξόδου Κοινής-Βάσης και Κοινής-Πύλης
- 3.3.6 Συνδεσμολογία Κοινού-Συλλέκτη (Ακόλουθος Εκπομπού)
- 3.3.7 Συνδεσμολογία Κοινού-Απαγωγού (Ακόλουθος Πηγής)
- 3.3.8 Ενισχυτής Κοινού-Εκπομπού με Εκφυλισμό Εκπομπού
- 3.3.9 Ενισχυτής Κοινής-Πηγής με Εκφυλισμό Πηγής

### 3.4 Βαθμίδες Ενισχυτών Πολλαπλών-Τρανζίστορ

- 3.4.1 Οι Συνδεσμολογίες CC– CE, CC – CC, και Darlington
- 3.4.2 Η Κασκοδική Συνδεσμολογία
  - 3.4.2.1 Η Διπολική Κασκοδική Συνδεσμολογία
  - 3.4.2.2 Η MOS Κασκοδική Συνδεσμολογία
- 3.4.3 Η Ενεργός Κασκοδική Συνδεσμολογία
- 3.4.4 Ο Σούπερ-Ακόλουθος Πηγής

### 3.5 Διαφορικά Ζεύγη

- 3.5.1 Η dc Χαρακτηριστική Μεταφοράς ενός Ζεύγους Συζευγμένου Εκπομπού
- 3.5.2 Η dc Χαρακτηριστική Μεταφοράς με Εκφυλισμό Εκπομπού
- 3.5.3 Η dc Χαρακτηριστική Μεταφοράς ενός Ζεύγους Συζευγμένης Πηγής
- 3.5.4 Εισαγωγή στην Ανάλυση Μικρού-Σήματος των Διαφορικών Ενισχυτών
- 3.5.5 Χαρακτηριστικά Μικρού-Σήματος των Ισοσταθμισμένων Διαφορικών Ενισχυτών
- 3.5.6 Αποτελέσματα της Έλλειψης Απόλυτου Ταυρίασματος των Συσκευών στους Διαφορικούς Ενισχυτές
  - 3.5.6.1 Τάση και Ρεύμα Μετατόπισης Εισόδου
  - 3.5.6.2 Τάση Μετατόπισης Εισόδου Ζεύγους Συζευγμένου Εκπομπού
  - 3.5.6.3 Τάση Μετατόπισης Εισόδου Ζεύγους Συζευγμένου Εκπομπού : Προσεγγιστική Ανάλυση
  - 3.5.6.4 Ολίσηση της Τάσης Μετατόπισης στο Ζεύγος Συζευγμένου Εκπομπού
  - 3.5.6.5 Ρεύμα Μετατόπισης Εισόδου του Ζεύγους Συζευγμένου Εκπομπού
  - 3.5.6.6 Τάση Μετατόπισης της Εισόδου Ζεύγους Συζευγμένης Πηγής
  - 3.5.6.7 Τάση Μετατόπισης της Εισόδου Ζεύγους Συζευγμένης Πηγής : Προσεγγιστική Ανάλυση
  - 3.5.6.8 Ολίσηση της Τάσης Μετατόπισης του Ζεύγους Συζευγμένης Πηγής
  - 3.5.6.9 Χαρακτηριστικά Μικρού-Σήματος των μη Ισοσταθμισμένων Διαφορικών Ενισχυτών

### A.3.1 Στοιχειώδης Στατιστική και η Gaussian Κατανομή

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Καθρέπτες Ρεύματος, Ενεργά Φορτία, και Αναφορές Τάσης-Ρεύματος

#### 4.1 Εισαγωγή

#### 4.2 Καθρέπτες Ρεύματος

- 4.2.1 Γενικές Ιδιότητες
- 4.2.2 Απλός Καθρέπτης Ρεύματος
  - 4.2.2.1 Διπολικός
  - 4.2.2.2 MOS
- 4.2.3 Απλός Καθρέπτης Ρεύματος με Βοηθό του Βήτα
  - 4.2.3.1 Διπολικός
  - 4.2.3.2 MOS
- 4.2.4 Απλός Καθρέπτης με Εκφυλισμό Εκπομπού
  - 4.2.4.1 Διπολικός

- 4.2.4.2 MOS
- 4.2.5 Κασκοδικός Καθρέπτης Ρεύματος
  - 4.2.5.1 Διπολικός
  - 4.2.5.2 MOS
- 4.2.6 Καθρέπτης Ρεύματος Wilson
  - 4.2.6.1 Διπολικός
  - 4.2.6.2 MOS

#### 4.3 Ενεργά Φορτία

- 4.3.1 Κίνητρο
- 4.3.2 Ενισχυτής Κοινού-Εκπομπού/Κοινής Πηγής με Συμπληρωματικό Φορτίο
- 4.3.3 Ενισχυτής Κοινού-Εκπομπού/Κοινής Πηγής με Φορτίο Απογύμνωσης
- 4.3.4 Ενισχυτής Κοινού-Εκπομπού/Κοινής Πηγής με Διοδικά Συνδεδεμένο Φορτίο
- 4.3.5 Διαφορικό Ζεύγος με Φορτίο Καθρέπτη Ρεύματος
  - 4.3.5.1 Ανάλυση Μεγάλου-Σήματος
  - 4.3.5.2 Ανάλυση Μικρού-Σήματος
  - 4.3.5.3 Λόγος Απόρριψης Κοινού-Σήματος

#### 4.4 Αναφορές Τάσης και Ρεύματος

- 4.4.1 Πόλωση σε μικρά ρεύματα
  - 4.4.1.1 Διπολική Πηγή Ρεύματος Widlar
  - 4.4.1.2 MOS Πηγή Ρεύματος Widlar
  - 4.4.1.3 Διπολική Πηγή Μεγίστου Ρεύματος
  - 4.4.1.4 MOS Πηγή Μεγίστου Ρεύματος
- 4.4.2 Πόλωση Χαμηλής Ευαισθησίας ως προς την Τάση Τροφοδοσίας
  - 4.4.2.1 Πηγές Ρεύματος Widlar
  - 4.4.2.2 Πηγές Ρεύματος με Χρήση Άλλων Πρότυπων Τάσεων
  - 4.4.2.3 Αυτοπόλωση
- 4.4.3 Πηγές Πόλωσης Χαμηλής Ευαισθησίας ως προς την Θερμοκρασία
  - 4.4.3.1 Διπολικό Κύκλωμα Πόλωσης με Αναφορά την Τάση του Χάσματος Ζώνης
  - 4.4.3.2 CMOS Κύκλωμα Πόλωσης με Αναφορά την Τάση του Χάσματος Ζώνης

#### A.4.1 Μελέτη του Ταιριάσματος σε Καθρέπτες Ρεύματος

- A.4.1.1 Διπολικός
- A.4.1.2 MOS

#### A.4.2 Τάση Μετατόπισης Εισόδου Διαφορικού Ζεύγους με Ενεργό Φορτίο

- A.4.2.1 Διπολικό
- A.4.2.2 MOS

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Βαθμίδες Εξόδου

#### 5.1 Εισαγωγή

#### 5.2 Ο Ακόλουθος Εκπομπού ως Βαθμίδα Εξόδου

- 5.2.1 Χαρακτηριστικές Μεταφοράς του Ακόλουθου Εκπομπού
- 5.2.2 Ισχύς Εξόδου και Απόδοση
- 5.2.3 Χαρακτηριστικά Οδήγησης Ακόλουθου Εκπομπού
- 5.2.4 Ιδιότητες Μικρού-Σήματος του Ακόλουθου Εκπομπού

### 5.3 Ο Ακόλουθος Πηγής ως Βαθμίδα Εξόδου

- 5.3.1 Χαρακτηριστικές Μεταφορές του Ακόλουθου Πηγής
- 5.3.2 Παραμόρφωση στον Ακόλουθο Πηγής

### 5.4 Push–Pull Βαθμίδα Εξόδου Τάξης B

- 5.4.1 Χαρακτηριστική Μεταφοράς Βαθμίδας Τάξης B
- 5.4.2 Ισχύς Εξόδου και Απόδοση της Βαθμίδας Τάξης B
- 5.4.3 Πρακτικές Υλοποιήσεις Συμπληρωματικών Βαθμίδων Εξόδου Τάξης B
- 5.4.4 Βαθμίδα Εξόδου Τάξης B μόνο με *npn* Τρανζίστορ
- 5.4.5 Μερικώς Συμπληρωματικές Βαθμίδες Εξόδου
- 5.4.6 Προστασία από Υπερφόρτωση

### 5.5 CMOS Βαθμίδες Εξόδου Τάξης AB

- 5.5.1 Συνδεσμολογία Κοινού-Απαγωγού
- 5.5.2 Συνδεσμολογία Κοινής-Πηγής με Ενισχυτές Σφάλματος
- 5.5.3 Εναλλακτικές Συνδεσμολογίες
  - 5.5.3.1 Συνδυασμένη Συνδεσμολογία Κοινού-Απαγωγού / Κοινής-Πηγής
  - 5.5.3.2 Συνδυασμένη Συνδεσμολογία Κοινού-Απαγωγού / Κοινής-Πηγής με Υψηλή Διακύμανση
  - 5.5.3.3 Παράλληλη Συνδεσμολογία Κοινής-Πηγής
  - 5.5.3.4 MOS Πηγή Μεγίστου Ρεύματος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Τελεστικοί Ενισχυτές Απλής Εξόδου

#### 6.1 Εφαρμογές των Τελεστικών Ενισχυτών

- 6.1.1 Βασικές Έννοιες Ανάδρασης
- 6.1.2 Αναστρέφων Ενισχυτής
- 6.1.3 Μη Αναστρέφων Ενισχυτής
- 6.1.4 Διαφορικός Ενισχυτής
- 6.1.5 Μη γραμμικές Αναλογικές Λειτουργίες
- 6.1.6 Ολοκληρωτής, Διαφοριστής
- 6.1.7 Εσωτερικοί Ενισχυτές
  - 6.1.7.1 Ενισχυτής Μεταγόμενου-Πυκνωτή
  - 6.1.7.2 Ολοκληρωτής Μεταγόμενου-Πυκνωτή

#### 6.2 Αποκλίσεις από την Ιδανική συμπεριφορά σε Πραγματικούς Τελεστικούς Ενισχυτές

- 6.2.1 Ρεύμα Πόλωσης Εισόδου
- 6.2.2 Ρεύμα Μετατόπισης Εισόδου
- 6.2.3 Ρεύμα Μετατόπισης Εισόδου
- 6.2.4 Περιοχή Εισόδου Κοινού-Σήματος
- 6.2.5 Λόγος Απόρριψης Κοινού-Σήματος (CMRR)
- 6.2.6 Λόγος Απόρριψης Τροφοδοσίας (PSRR)
- 6.2.7 Αντίσταση Εισόδου
- 6.2.8 Αντίσταση Εξόδου
- 6.2.9 Απόκριση Συχνότητας
- 6.2.10 Ισοδύναμο Κύκλωμα Τελεστικού Ενισχυτή

#### 6.3 Βασικοί MOS Τελεστικοί Ενισχυτές Δύο Βαθμίδων

- 6.3.1 Αντίσταση Εισόδου, Αντίσταση Εξόδου και Κέρδος Τάσης Ανοικτού-Βρόχου
- 6.3.2 Διακύμανση Εξόδου
- 6.3.3 Τάση Μετατόπισης Εισόδου
- 6.3.4 Λόγος Απόρριψης Κοινού Σήματος (CMRR)
- 6.3.5 Περιοχή Εισόδου Κοινού-Σήματος
- 6.3.6 Λόγος Απόρριψης Τροφοδοσίας (PSRR)

6.3.7 Επίδραση των Τάσεων Υπεροδήγησης

6.3.8 Θέματα Φυσικής Σχεδίασης

6.4 MOS Τελεστικοί Ενισχυτές Δύο Βαθμίδων με Κασκοδικά Τρανζίστορ

6.5 MOS Τηλεσκοπικός-Κασκοδικός Τελεστικός Ενισχυτής

6.6 Αναδιπλωμένοι Κασκοδικοί MOS Τελεστικοί Ενισχυτές

6.7 Ενεργοί Κασκοδικοί MOS Τελεστικοί Ενισχυτές

6.8 Διπολικοί Τελεστικοί Ενισχυτές

6.8.1 DC Ανάλυση του Τελεστικού Ενισχυτή 741

6.8.2 Ανάλυση Μικρού-Σήματος του Τελεστικού Ενισχυτή 741

6.8.3 Τάση Μετατόπισης Εισόδου, Ρεύμα Μετατόπισης Εισόδου, και Λόγος Απόρριψης Κοινού-Σήματος του 741

6.9 Σχεδιαστικές Θεωρήσεις για Διπολικούς Μονολιθικούς Τελεστικούς Ενισχυτές

6.9.1 Σχεδίαση Τελεστικών Ενισχυτών Χαμηλής Ολίσθησης

6.9.2 Σχεδίαση Τελεστικών Ενισχυτών Χαμηλού Ρεύματος Εισόδου

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

### **Απόκριση Συχνότητας των Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων**

7.1 Εισαγωγή

7.2 Ενισχυτές μιας Βαθμίδας

7.2.1 Οι ενισχυτές Τάσης μιας Βαθμίδας και η Επίδραση Miller

7.2.1.1 Ο Διπολικός Διαφορικός Ενισχυτής: Κέρδος Διαφορικού-Σήματος

7.2.1.2 Ο MOS Διαφορικός Ενισχυτής: Κέρδος Διαφορικού-Σήματος

7.2.2 Απόκριση Συχνότητας του Κέρδους Κοινού-Σήματος ενός Διαφορικού Ενισχυτή

7.2.3 Απόκριση Συχνότητας των Απομονωτών Τάσης

7.2.4 Απόκριση Συχνότητας των Απομονωτών Ρεύματος

7.2.4.1 Απόκριση Συχνότητας Ενισχυτή Κοινής-Βάσης

7.2.4.2 Απόκριση Συχνότητας Ενισχυτή Κοινής-Πύλης

7.3 Απόκριση Συχνότητας Ενισχυτών Πολλών Βαθμίδων

7.3.1 Προσέγγιση Κυρίαρχου Πόλου

7.3.2 Ανάλυση σταθερών χρόνου μηδενικής-τιμής

7.3.3 Απόκριση Συχνότητας Ενισχυτών Τάσης σε Σειρά

7.3.4 Απόκριση Συχνότητας Κασκοδικού Ενισχυτή

7.3.5 Απόκριση Συχνότητας ενός Καθρέπτη Ρεύματος ως Φορτίο σε Διαφορικό Ζεύγος

7.3.6 Σταθερές Χρόνου Βραχυκυκλώματος

7.4 Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας του Τελεστικού Ενισχυτή 741

7.4.1 Ισοδύναμο Κύκλωμα Υψηλών Συχνοτήτων για τον 741

7.4.2 Υπολογισμός της Συχνότητας -3dB του 741

7.4.3 Μη Κυρίαρχοι Πόλοι του 741

7.5 Σχέση μεταξύ Απόκρισης Συχνότητας και Απόκρισης Χρόνου

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**

### **Ανάδραση**

8.1 Εξίσωση Ιδανικής Ανάδρασης

8.2 Ευαισθησία Κέρδους

8.3 Επίδραση της Αρνητικής Ανάδρασης στη Παραμόρφωση

8.4 Τοπολογίες Ανάδρασης

8.4.1 Ανάδραση σε Σειρά-Παράλληλα

8.4.2 Ανάδραση Παράλληλα-Παράλληλα

8.4.3 Ανάδραση Παράλληλα-σε Σειρά

8.4.4 Ανάδραση σε Σειρά-σε Σειρά

8.5 Πρακτικές Τοπολογίες και η Επίδραση της Φόρτισης

8.5.1 Ανάδραση Παράλληλα-Παράλληλα

8.5.2 Ανάδραση σε Σειρά-σε Σειρά

8.5.3 Ανάδραση σε Σειρά-Παράλληλα

8.5.4 Ανάδραση Παράλληλα-σε Σειρά

8.5.5 Ανακεφαλαίωση

8.6 Ανάδραση μιας Βαθμίδας

8.6.1 Τοπική ανάδραση σε Σειρά-σε Σειρά

8.6.2 Τοπική Ανάδραση σε Σειρά-Παράλληλα

8.7 Ο Ρυθμιστής Τάσης ως Κύκλωμα Ανάδρασης

8.8 Ανάλυση Κυκλώματος Ανάδρασης με Χρήση του Λόγου Επιστροφής

8.8.1 Κέρδος Κλειστού-Βρόχου με Χρήση του Λόγου Επιστροφής

8.8.2 Σχέση για την Εμπέδηση Κλειστού-Βρόχου με Χρήση του Λόγου Επιστροφής

8.8.3 Ανακεφαλαίωση της Ανάλυσης του Λόγου Επιστροφής

8.9 Μοντελοποίηση των Θυρών Εισόδου και Εξόδου σε Κυκλώματα Ανάδρασης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9**

### **Απόκριση Συχνότητας και Ευστάθεια των Ενισχυτών Ανάδρασης**

9.1 Εισαγωγή

9.2 Σχέση μεταξύ Κέρδους και Εύρους Ζώνης στους Ενισχυτές Ανάδρασης

9.3 Αστάθεια και το Κριτήριο του Nyquist

9.4 Αντιστάθμιση

9.4.1 Θεωρία Αντιστάθμισης

9.4.2 Μέθοδοι Αντιστάθμισης

9.4.3 Αντιστάθμιση MOS Ενισχυτών Δύο Βαθμίδων



- 9.4.4 Αντιστάθμιση CMOS Τελεστικών Ενισχυτών Μιας Βαθμίδας
- 9.4.5 Φωλιασμένη Αντιστάθμιση Miller

## 9.5 Τεχνικές Γεωμετρικού Τόπου Ριζών

- 9.5.1 Γεωμετρικός Τόπος Ριζών για μια Συνάρτηση Μεταφοράς Τριών Πόλων
- 9.5.2 Κανόνες για τη Σύνθεση του Γεωμετρικού Τόπου των Ριζών
- 9.5.3 Γεωμετρικός Τόπος Ριζών για Αντιστάθμιση του Κυρίαρχου Πόλου
- 9.5.4 Γεωμετρικός Τόπος Ριζών για Αντιστάθμιση Μηδενικής Ανάδρασης

## 9.6 Ρυθμός Ανόδου (Slew Rate)

- 9.6.1 Προέλευση των Περιορισμών του Ρυθμού Ανόδου
- 9.6.2 Μέθοδοι Βελτίωσης του Ρυθμού Ανόδου σε Τελεστικούς Ενισχυτές Δύο Βαθμίδων
- 9.6.3 Βελτίωση του Ρυθμού Ανόδου σε Διπολικούς Τελεστικούς Ενισχυτές
- 9.6.4 Βελτίωση του Ρυθμού Ανόδου σε MOS Τελεστικούς Ενισχυτές
- 9.6.5 Επίδραση των Περιορισμών του Ρυθμού Ανόδου στην Ημιτονική Συμπεριφορά Μεγάλου-Σήματος

## A.9.1 Ανάλυση με τη βοήθεια των παραμέτρων του λόγου επιστροφής

## A.9.2 Ρίζες Μιας Δευτεροβάθμιας Εξίσωσης

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

## Μη Γραμμικά Αναλογικά Κυκλώματα

- 10.1 Εισαγωγή
- 10.2 Ανόρθωση Ακριβείας
- 10.3 Αναλογικοί Πολλαπλασιαστές με Χρήση Διπολικών Τρανζίστορ
  - 10.3.1 Το Ζεύγος Συζευγμένου Εκπομπού ως Απλός Πολλαπλασιαστής
  - 10.3.2 DC Ανάλυση της Δομικής Μονάδας του Πολλαπλασιαστή Gilbert
  - 10.3.3 Η Δομική Μονάδα Gilbert ως Αναλογικός Πολλαπλασιαστής
  - 10.3.4 Πλήρες κύκλωμα Αναλογικού Πολλαπλασιαστή
  - 10.3.5 Η Δομική Μονάδα του Πολλαπλασιαστή Gilbert ως Ισοσταθμισμένος Διαμορφωτής και ως Ανιχνευτής Φάσης
- 10.4 Βρόχος Κλειδωμένης Φάσης (PLL)
  - 10.4.1 Βασικές Αρχές Λειτουργίας του Βρόχου Κλειδωμένης Φάσης
  - 10.4.2 Ο Βρόχος Κλειδωμένης Φάσης σε Κλειδωμένη Κατάσταση
  - 10.4.3 Ολοκληρωμένα Κυκλώματα PLLs
  - 10.4.4 Ανάλυση του Μονολιθικού Βρόχου Κλειδωμένης Φάσης 560B
- 10.5 Σύνθεση Μη Γραμμικών Συναρτήσεων

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11**

### **Θόρυβος σε Ολοκληρωμένα Κυκλώματα**

- 11.1 Εισαγωγή
- 11.2 Πηγές Θορύβου
  - 11.2.1 Θόρυβος Βολής
  - 11.2.2 Θερμικός Θόρυβος
  - 11.2.3 Θόρυβος Flicker (Θόρυβος 1/f)
  - 11.2.4 Θόρυβος Ριπής (Θόρυβος Popcorn)
  - 11.2.5 Θόρυβος χιονοστιβάδας
- 11.3 Μοντέλα Θορύβου των Στοιχείων των Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων
  - 11.3.1 Δίοδος Επαφής
  - 11.3.2 Διπολικό τρανζίστορ
  - 11.3.3 MOS Τρανζίστορ
  - 11.3.4 Αντιστάτες
  - 11.3.5 Πυκνωτές και Επαγωγοί
- 11.4 Υπολογισμός του Θορύβου των Κυκλωμάτων
  - 11.4.1 Επίδραση του Θορύβου σε Διπολικά Τρανζίστορ
  - 11.4.2 Ισοδύναμος Θόρυβος και το Ελάχιστο Ανιχνεύσιμο Σήμα
- 11.5 Ισοδύναμες Γεννήτριες Θορύβου στην Είσοδο
  - 11.5.1 Γεννήτριες Θορύβου Διπολικών Τρανζίστορ
  - 11.5.2 Γεννήτριες Θορύβου MOS Τρανζίστορ
- 11.6 Επίδραση της Ανάδρασης στην Συμπεριφορά ως προς το Θόρυβο
  - 11.6.1 Επίδραση της Ιδανικής Ανάδρασης στην Συμπεριφορά ως προς τον Θόρυβο
  - 11.6.2 Επίδραση Πραγματικού Δικτύου Ανάδρασης στη Συμπεριφορά ως προς τον Θόρυβο ενός Ενισχυτή
- 11.7 Επίδραση του Θορύβου στην Συμπεριφορά Άλλων Συνδεσμολογιών Τρανζίστορ
  - 11.7.1 Επίδραση του Θορύβου στην Συμπεριφορά των Βαθμίδων Κοινής-Βάσης
  - 11.7.2 Επίδραση του Θορύβου στην Συμπεριφορά του Ακόλουθου Εκπομπού
  - 11.7.3 Επίδραση του Θορύβου στην Συμπεριφορά του Διαφορικού Ζεύγους
- 11.8 Ο Θόρυβος στους Τελεστικούς Ενισχυτές
- 11.9 Εύρος Ζώνης Θορύβου
- 11.10 Δείκτης και Θερμοκρασία Θορύβου
  - 11.10.1 Δείκτης Θορύβου
  - 11.10.2 Θερμοκρασία Θορύβου

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12**

### **Πλήρως Διαφορικοί Τελεστικοί Ενισχυτές**

- 12.1 Εισαγωγή
- 12.2 Ιδιότητες των Πλήρως Διαφορικών Ενισχυτών
- 12.3 Μοντέλα Μικρού-Σήματος για Ισοσταθμισμένους Διαφορικούς Ενισχυτές
- 12.4 Ανάδραση Κοινού-Σήματος
  - 12.4.1 Ανάδραση Κοινού-Σήματος στις Χαμηλές Συχνότητες
  - 12.4.2 Μελέτη της Ευστάθειας και της Αντιστάθμισης σε Βρόχο CMFB
- 12.5 Κυκλώματα CMFB
  - 12.5.1 CMFB με Χρήση Ωμικού Διαιρέτη και Ενισχυτή
  - 12.5.2 CMFB με Χρήση Δύο Διαφορικών Ζευγών
  - 12.5.3 CMFB με Χρήση Τρανζίστορ στην Τριοδική Περιοχή
  - 12.5.4 CMFB Μεταγόμενου-Πυκνωτή
- 12.6 Πλήρως Διαφορικοί Τελεστικοί Ενισχυτές
  - 12.6.1 Πλήρως Διαφορικοί Τελεστικοί Ενισχυτές Δύο Βαθμίδων
  - 12.6.2 Πλήρως Διαφορικός Τηλεσκοπικός Κασκοδικός Τελεστικός Ενισχυτής
  - 12.6.3 Πλήρως Διαφορικός Αναδιπλωμένος Κασκοδικός Τελεστικός Ενισχυτής
  - 12.6.4 Διαφορικός Τελεστικός Ενισχυτής με Δύο Διαφορικές Βαθμίδες Εισόδου
  - 12.6.5 Ουδετεροποίηση
- 12.7 Μη ισοσταθμισμένα Πλήρως Διαφορικά Κυκλώματα
- 12.8 Εύρος Ζώνης του Βρόχου CMFB

### **Ευρετήριο**