

# Indice

## Prefazione, 11

### 1. Bande di energia, 15

- 1.1 Particelle cariche    1.2 Intensità di campo, potenziale, energia    1.3 L'unità di energia elettronvolt    1.4 La natura dell'atomo    1.5 Livelli energetici dell'atomo  
1.6 Struttura elettronica degli elementi    1.7 Teoria delle bande di energia nei cristalli  
1.8 Isolanti, semiconduttori e metalli    *Domande di riepilogo*

### 2. Fenomeni di trasporto nei semiconduttori, 35

- 2.1 Mobilità e conduttività    2.2 Elettroni e lacune in un semiconduttore intrinseco  
2.3 Impurità: donatori e accettori    2.4 Densità di carica in un semiconduttore  
2.5 Proprietà elettriche del germanio e del silicio    2.6 L'effetto Hall    2.7 Modulazione della conduttività    2.8 Generazione e ricombinazione delle cariche    2.9 Diffusione  
2.10 Equazione di continuità    2.11 Carica iniettata di portatori minoritari  
2.12 Variazione di potenziale entro una giunzione a drogaggio non uniforme    2.13 Riepilogo    *Domande di riepilogo*

### 3. Caratteristica del diodo a giunzione, 69

- 3.1 Giunzione  $p-n$  a circuito aperto    3.2 La giunzione  $p-n$  come dispositivo raddrizzatore  
3.3 Le componenti della corrente in un diodo  $p-n$     3.4 Caratteristica tensione-corrente  
3.5 Dipendenza dalla temperatura della caratteristica tensione-corrente    3.6 Resistenza del diodo    3.7 Capacità  $C_T$  di carica spaziale o di transizione  
3.8 Descrizione del diodo con il controllo di carica    3.9 Capacità di diffusione  
3.10 Tempi di commutazione dei diodi a giunzione    3.11 Diodi a breakdown  
3.12 Diodo Tunnel    3.13 Fotodiodo a semiconduttore    3.14 Effetto fotovoltaico  
3.15 Diodi a emissione di luce    *Domande di riepilogo*

### - 4. Circuiti a diodi, 112

- 4.1 Il diodo come elemento circuitale    -4.2 Il concetto di retta di carico    4.3 Modello del diodo lineare a tratti    4.4 Circuiti tosatori (limitatori)    4.5 Tosatori a due livelli indipendenti    4.6 Comparatori    4.7 Porta campionatrice    -4.8 Raddrizzatori  
-4.9 Altri circuiti raddrizzatori a doppia semionda    -4.10 Filtri capacitivi    4.11 Altri circuiti utilizzando diodi    *Domande di riepilogo*

### 5. Caratteristiche del transistor, 147

- 5.1 Il transistor a giunzione    5.2 Componenti della corrente di un transistor    5.3 Il transistor come amplificatore  
5.4 Fabbricazione del transistor    5.5 La configurazione a base comune    5.6 Configurazione a emettitore comune    5.7 La regione di interdizione nella configurazione a emettitore comune    5.8 La regione di saturazione nella configurazione a emettitore comune    5.9 Valori tipici delle tensioni sulle

- giunzioni di un transistoro 5.10 Amplificazione di corrente a emettitore comune  
 5.11 Configurazione a collettore comune 5.12 Espressioni analitiche delle caratteristiche del transistoro 5.13 Valori limiti per le tensioni 5.14 Il fototransistoro  
*Domande di riepilogo*
6. Circuiti digitali, 190
- 6.1 Operazioni digitali (binarie) di un sistema 6.2 La porta OR 6.3 La porta AND 6.4 Il circuito NOT o invertitore 6.5 Tempi di commutazione del transistoro  
 6.6 L'operazione di INIBIZIONE (abilitazione) 6.7 Il circuito OR-ESCLUSIVO 6.8 Le leggi di De Morgan 6.9 Le porte NAND e NOR in logica diodo-transistoro (DTL)  
 6.10 Porte DTL modificate (circuiti integrati) 6.11 Porte logiche a soglia elevata (HTL) 6.12 Porte in logica transistoro-transistoro (TTL) 6.13 Stadi di uscita  
 6.14 Logica resistore-transistoro (RTL) e logica a transistori in accoppiamento diretto (DCTL) 6.15 Confronto fra le famiglie logiche *Domande di riepilogo*
7. Circuiti integrati: tecniche di fabbricazione e caratteristiche, 235
- 7.1 Tecnologia dei circuiti integrati 7.2 Circuiti integrati monolitici elementari  
 7.3 Crescita epitassiale 7.4 Mascheratura e incisione 7.5 Diffusione delle impurità  
 7.6 Transistori per circuiti monolitici 7.7 Diodi monolitici 7.8 Resistori integrati  
 7.9 Condensatori e induttori integrati 7.10 Disposizione topologica dei componenti in un circuito monolitico 7.11 Ulteriori metodi di isolamento  
 7.12 Integrazione su larga scala (LSI) e su media scala (MSI) 7.13 Contatto metallo-semiconduttore *Domande di riepilogo*
8. Il transistoro alle basse frequenze, 276
- 8.1 Analisi grafica della configurazione a emettitore comune 8.2 Dispositivi a due porte e modello ibrido 8.3 Modello ibrido del transistoro 8.4 I parametri  $h$   
 8.5 Formule di conversione per i parametri delle tre connessioni del transistoro  
 8.6 Analisi di un circuito amplificatore a transistori usando i parametri  $h$  8.7 Teoremi di Thévenin e di Norton e loro corollari 8.8 L'inseguitore di emettitore  
 8.9 Confronto tra le diverse configurazioni di un amplificatore a transistoro 8.10 Analisi lineare di un circuito a transistori 8.11 Il teorema di Miller e il suo duale  
 8.12 Amplificatori a transistori in cascata 8.13 Modello ibrido semplificato a emettitore comune 8.14 Calcoli semplificati per la configurazione a collettore comune  
 8.15 L'amplificatore a emettitore comune con una resistenza sull'emettitore 8.16 Circuiti a transistori con elevata impedenza d'ingresso *Domande di riepilogo*
9. Polarizzazione e stabilizzazione termica del transistoro, 329
- 9.1 Il punto di funzionamento 9.2 Stabilità della polarizzazione 9.3 Autopolarizzazione o polarizzazione di emettitore 9.4 Stabilizzazione rispetto alle variazioni di  $I_{CO}$ ,  $V_{BE}$  e  $\beta$  9.5 Considerazioni generali sulla stabilità della corrente di collettore  
 9.6 Compensazione della polarizzazione 9.7 Tecniche di polarizzazione nei circuiti integrati lineari 9.8 Compensazione con termistori e sensori 9.9 Fuga termica 9.10 Stabilità termica *Domande di riepilogo*
10. Transistori a effetto di campo, 359
- 10.1 Transistoro a effetto di campo a giunzione 10.2 Tensione di strozzamento (*pinch-off*)  $V_p$  10.3 La caratteristica tensione-corrente di un FET a giunzione  
 10.4 Il modello del FET per piccoli segnali 10.5 Il transistoro a effetto di campo metallo-ossido-semiconduttore (MOSFET) 10.6 Circuiti digitali MOSFET 10.7 Amplificatori a source comune e a drain comune a bassa frequenza 10.8 Polarizzazione del FET 10.9 Il FET come resistore variabile con la tensione (VVR) 10.10 Amplificatore con source comune alle alte frequenze 10.11 Amplificatore a drain comune alle alte frequenze *Domande di riepilogo*
11. Il transistoro ad alta frequenza, 402
- 11.1 Modello ibrido a  $\pi$  di un transistoro a emettitore comune 11.2 Conduttanze del modello ibrido a  $\pi$  11.3 Le capacità del modello ibrido a  $\pi$  11.4 La vali-

dità del modello ibrido a  $\pi$  11.5 Variazioni dei parametri del modello ibrido a  $\pi$   
 11.6 Amplificazione di corrente in corto circuito di uno stadio a emettitore comune  
 11.7 Amplificazione di corrente con carico resistivo 11.8 Risposta in frequenza di  
 uno stadio amplificatore singolo a emettitore comune 11.9 Prodotto amplificazione-  
 larghezza di banda 11.10 Inseguitore di emettitore ad alta frequenza *Domande*  
*di riepilogo*

## 12. Amplificatori a più stadi, 428

12.1 Classificazione degli amplificatori 12.2 Distorsione negli amplificatori 12.3 Ri-  
 sposta in frequenza di un amplificatore 12.4 Diagrammi di Bode 12.5 Risposta  
 al gradino di un amplificatore 12.6 Larghezza della banda passante di un insieme  
 di stadi connessi in cascata 12.7 Amplificatori con accoppiamento RC 12.8 Ri-  
 sposta alle basse frequenze di uno stadio con accoppiamento RC 12.9 Effetto sulla  
 risposta alle basse frequenze del condensatore posto in parallelo al resistore sull'emet-  
 titore 12.10 Risposta alle alte frequenze di due stadi a transistor a emettitore co-  
 mune inseriti in cascata 12.11 Amplificatore a più stadi a emettitore comune alle  
 alte frequenze 12.12 Rumore *Domande di riepilogo*

## 13. Amplificatori con reazione, 468

13.1 Classificazione degli amplificatori 13.2 Il concetto di reazione 13.3 Ampli-  
 ficazione di trasferimento con reazione 13.4 Caratteristiche generali degli ampli-  
 ficatori con reazione negativa 13.5 Resistenza di ingresso 13.6 Resistenza di  
 uscita 13.7 Metodo di analisi di un amplificatore con reazione 13.8 Reazione  
 tensione-serie 13.9 Coppia di amplificatori con reazione tensione-serie 13.10 Rea-  
 zione corrente-serie 13.11 Reazione corrente-parallelo 13.12 Reazione tensione-  
 parallelo *Domande di riepilogo*

## 14. Stabilità e oscillatori, 510

14.1 Effetto della controeazione sulla larghezza di banda di un amplificatore 14.2 Fun-  
 zione di trasferimento con due poli in presenza di reazione 14.3 Funzione di tra-  
 sferimento a tre poli con reazione 14.4 Analisi approssimata di un amplificatore  
 a più poli con reazione 14.5 Amplificatore con reazione tensione-parallelo. Risposta  
 in frequenza 14.6 Amplificatore con reazione corrente-serie. Risposta in frequenza  
 14.7 Coppia con reazione di tipo corrente-parallelo. Risposta in frequenza 14.8 Cop-  
 pia di transistori con reazione tensione-serie. Risposta in frequenza 14.9 Stabilità  
 14.10 Margine di guadagno e margine di fase 14.11 Compensazione 14.12 Com-  
 pensazione con polo dominante 14.13 Compensazione con polo e zero (integro-deriva-  
 tiva) 14.14 Compensazione con modifica della rete  $\beta$  14.15 Oscillatori sinusoidali  
 14.16 Oscillatori a sfasamento 14.17 Oscillatori a circuito risonante 14.18 Stru-  
 tura generale degli oscillatori 14.19 Oscillatore a ponte di Wien 14.20 Oscilla-  
 tori a cristallo 14.21 Stabilità in frequenza *Domande di riepilogo*

## 15. Amplificatori operazionali, 568

15.1 Caratteristiche fondamentali dell'amplificatore operazionale 15.2 Amplificatore  
 differenziale 15.3 Amplificatore differenziale con accoppiamento sull'emettitore  
 15.4 Caratteristica di trasferimento di un amplificatore differenziale 15.5 Un esem-  
 pio di amplificatore operazionale integrato 15.6 Errori dovuti a offset di tensione  
 e di corrente 15.7 Deriva con la temperatura della tensione e della corrente di offset  
 15.8 Misura dei parametri dell'amplificatore operazionale 15.9 Risposta in fre-  
 quenza dell'amplificatore operazionale 15.10 Compensazione con polo dominante  
 15.11 Compensazione con polo e zero 15.12 Compensazione con anticipo di fase  
 15.13 Risposta al gradino degli amplificatori operazionali *Domande di riepilogo*

## 16. Circuiti integrati come elementi modulari per sistemi analogici, 608

### I. SISTEMI ANALOGICI LINEARI

16.1 Applicazioni fondamentali dell'amplificatore operazionale 16.2 Amplificatore  
 differenziale per tensioni continue 16.3 Amplificatori per tensioni alternate stabili  
 16.4 Integrazione e derivazione analogica 16.5 Elaborazione con circuiti elettronici

analogici 16.6 Filtri attivi 16.7 Filtro attivo passa-banda a circuito risonante  
 16.8 Equalizzatore di ritardo 16.9 Amplificatori accordati realizzati con circuiti integrati 16.10 Amplificatore cascode a videofrequenza

## II. SISTEMI ANALOGICI NON LINEARI

16.11 Comparatori 16.12 Circuiti campionatori e mantenitori (*sample-and-hold*)  
 16.13 Convertitori AC/DC di precisione 16.14 Amplificatori logaritmici 16.15 Generatori di forme d'onda 16.16 Comparatori con reazione positiva (trigger di Schmitt)  
 16.17 Logica con accoppiamento tramite l'emettitore (ECL) *Domande di riepilogo*

## 17. Circuiti integrati come elementi modulari di sistemi digitali, 669

### I. SISTEMI DIGITALI COMBINATORI

17.1 Contenitori normalizzati delle porte 17.2 Sommatore binari 17.3 Funzioni aritmetiche 17.4 Decodificatore o demultiplexer 17.5 Selettore di dati e multiplexer 17.6 Codificatore 17.7 Memorie a sola lettura (*read-only memory*, ROM)  
 17.8 Applicazioni delle ROM

### II. SISTEMI DIGITALI SEQUENZIALI

17.9 Memoria a un bit 17.10 FLIP-FLOP 17.11 Registri a scalamento 17.12 Contatori asincroni (a riporto) 17.13 Contatori sincroni 17.14 Applicazioni dei contatori

### III. SISTEMI DIGITALI MOS/LSI

17.15 Circuiti a MOS dinamici 17.16 Registri a scorrimento a MOS 17.17 Memoria MOS a sola lettura (*read-only memory*) 17.18 Memoria ad accesso casuale (*random-access memory*)

### IV. SISTEMI DI CONVERSIONE D/A E A/D

17.19 Convertitori digitali-analogici 17.20 Convertitore digitale-analogico 17.21 Generatori di caratteri *Domande di riepilogo*

## 18. Circuiti e sistemi di potenza, 762

18.1 Amplificatori in classe A per grandi segnali 18.2 Distorsione di seconda armonica 18.3 Generazione di armoniche di ordine superiore 18.4 Amplificatore di potenza con accoppiamento a trasformatore 18.5 Rendimento 18.6 Amplificatori in controfase 18.7 Amplificatori in classe B 18.8 Funzionamento in classe AB  
 18.9 Alimentatori stabilizzati 18.10 Stabilizzazione di tensione in serie 18.11 Regolatori di tensione monolitici 18.12 Diodo a quattro strati 18.13 Caratteristiche del dispositivo *p-n-p-n* 18.14 Raddrizzatori controllati al silicio 18.15 Controlli di potenza *Domande di riepilogo*

## 19. Fisica dei dispositivi a semiconduttore, 815

19.1 Distribuzione energetica degli elettroni in un metallo 19.2 La funzione di Fermi-Dirac 19.3 Densità degli stati 19.4 Emissione di elettroni da un metallo  
 19.5 Concentrazione dei portatori in un semiconduttore intrinseco 19.6 Livello di Fermi in un semiconduttore drogato con impurità 19.7 Struttura per bande di una giunzione *p-n* in circuito aperto 19.8 Diodo tunnel 19.9 Equazioni fondamentali per i semiconduttori 19.10 La caratteristica tensione-corrente del diodo *p-n* 19.11 La dipendenza dalla temperatura della caratteristica del diodo *p-n* 19.12 Capacità dinamica di diffusione 19.13 Le correnti in un transistor 19.14 Il fattore alfa del transistor 19.15 Analisi delle regioni di interdizione e di saturazione di un transistor *Domande di riepilogo*

*Appendice A. Valore probabile delle principali costanti fisiche, 857*

*Appendice B. Fattori di conversione e prefissi, 858*

*Appendice C. Problemi, 859*

*Riferimenti bibliografici, 1003*

*Indice analitico, 1015*