

# **Manuale per la progettazione dei circuiti elettronici analogici di bassa frequenza**

**C. Del Turco 2007**

## **Indice :**

### **Cap. 1 I componenti di base (12)**

- 1.1 Quali sono i componenti di base (12)
- 1.2 I resistori (12)
  - 1.2.1 I potenziometri (14)
- 1.3 I condensatori (15)
- 1.4 Gli induttori (19)
- 1.5 I piccoli trasformatori (24)
  - 1.5.1 Il trasformatore bilanciato (25)
  - 1.5.2 Il trasformatore rifasato (28)
  - 1.5.3 I trasformatori per segnali in bassa frequenza (29)
  - 1.5.4 I piccoli autotrasformatori (30)
- 1.6 I circuiti risonanti (31)
  - 1.6.1 Le caratteristiche di selettività dei circuiti risonanti serie (35)
  - 1.6.2 Le caratteristiche di selettività dei circuiti risonanti parallelo (38)
  - 1.6.3 Le formule di trasformazione parallelo – serie (41)
  - 1.6.4 La resistenza dinamica dei circuiti risonanti (45)

### **Cap. 2 Diodi di segnale e d'alimentazione (46)**

- 2.1 Generalità (46)
- 2.2 Diodi per correnti alternate deboli in bassa ed alta frequenza (48)
  - 2.2.1 La resistenza dinamica nei diodi di segnale (51)
- 2.3 Diodi per correnti alternate forti in bassa frequenza (52)
  - 2.3.1 La dissipazione nei diodi per correnti alternate forti (54)
- 2.4 I diodi nella modulazione dei segnali (55)
- 2.5 Diodi Zener (58)
- 2.6 Diodi emettitori di luce (LED) (61)

### **Cap. 3 I circuiti a transistori (62)**

- 3.1 Breve descrizione del componente (62)
  - 3.1.1 I contenitori dei transistori (65)
- 3.2 Il semplice circuito di commutazione (66)
  - 3.2.1 Osservazione generale (70)
  - 3.2.2 Un circuito di commutazione veloce di potenza (71)
- 3.3 Il circuito di commutazione con carico induttivo (75)
- 3.4 Il circuito invertitore di segno (76)
- 3.5 Il circuito traslatore di livello (79)
- 3.6 Il circuito ripetitore (81)
- 3.7 Il circuito invertitore di fase (86)
- 3.8 Il circuito amplificatore (90)
  - 3.8.1 Osservazioni sul circuito di paragrafo 3.8 (94)
- 3.9 Un circuito ad elevato guadagno di amplificazione (95)
- 3.10 Modi d'accoppiamento tra stadi (97)
- 3.11 Amplificatore ad accoppiamento diretto misto (100)
- 3.12 Amplificatore di potenza (106)
- 3.13 Problemi connessi con la dissipazione dei transistori (120)
  - 3.13.1 Dimensionamento dei radiatori autocostruiti (122)
- 3.14 Circuito oscillatore LC (124)
  - 3.14.1 Circuito oscillatore LC ad onde quadre (129)
  - 3.14.2 Circuito oscillatore LC modulato ad impulsi (132)
- 3.15 Circuito oscillatore RC (133)
- 3.16 Amplificatore operazionale a transistori (138)
  - 3.16.1 Applicazione dell'amplificatore operazionale a transistori (143)
- 3.17 Circuito stabilizzatore di tensione (147)
- 3.18 I transistori Power MOSFETs (151)
  - 3.18.1 Le caratteristiche dei transistori Power MOSFETs (153)
  - 3.18.2 Esempio d'impiego dei Power MOSFETs (155)
  - 3.18.3 Trasformazione dell'amplificatore a Power MOSFETs (162)

## **Cap. 4 I circuiti integrati analogici (166)**

- 4.1 Generalità (166)
- 4.2 Sul calcolo del guadagno di un microamplificatore (170)
  - 4.2.1 Come verificare le tolleranze sul guadagno di un circuito con microamplificatore (175)
- 4.3 La resistenza d'ingresso dei microamplificatori (176)
- 4.4 La resistenza d'uscita dei microamplificatori (179)
- 4.5 La dinamica d'uscita dei microamplificatori (181)
- 4.6 I modi di ingresso nei microamplificatori (182)
- 4.7 Il fuori zero dei microamplificatori (184)
- 4.8 L'amplificatore in corrente alternata realizzato con microcircuiti (186)
  - 4.8.1 L'amplificatore in corrente alternata in configurazione invertente (189)
  - 4.8.2 L'amplificatore operazionale in corrente alternata (191)
- 4.9 L'amplificatore in corrente continua realizzato con microcircuiti (193)
- 4.10 Il rumore dei microamplificatori (195)
- 4.11 Come scegliere un microamplificatore (198)
- 4.12 Il circuito rivelatore (201)
- 4.13 Il circuito comparatore (206)
- 4.14 Filtri attivi (212)
  - 4.14.1 Filtri attivi passa basso (212)
  - 4.14.2 Filtri attivi passa alto (215)
  - 4.14.3 Filtri attivi passa banda (219)
- 4.15 Generatore di rumore (224)
- 4.16 Circuito d'interfaccia tra analogico e digitale (228)
- 4.17 Circuiti analogici comandati da sistemi digitali (231)
  - 4.17.1 Amplificatore a guadagno controllato da comandi digitali (231)
  - 4.17.2 Selettore di canale controllato da comandi digitali (235)
  - 4.17.3 Serializzatore controllato da comandi digitali (237)
- 4.18 L'amplificatore con guadagno dipendente dalla frequenza (240)
  - 4.18.1 L'amplificatore a guadagno crescente con la frequenza (240)
  - 4.18.2 L'amplificatore a guadagno decrescente con la frequenza (244)
- 4.19 Il generatore di funzioni (248)
- 4.20 Il modulatore bilanciato (255)
  - 4.20.1 Il modulatore bilanciato per DSB (256)
  - 4.20.2 Il modulatore bilanciato per SSB (261)

## **Cap. 5 Filtri di banda passivi (267)**

- 5.1 Il filtro passa basso (267)
  - 5.1.1 Il filtro passa basso a più cellule (274)
- 5.2 Il filtro passa alto (277)
  - 5.2.1 Il filtro passa alto a più cellule (283)
- 5.3 Filtri passa banda passivi (286)
  - 5.3.1 Il filtro di banda a due cellule (292)
- 5.4 Tecniche di calcolo per i componenti dei filtri passivi (295)
  - 5.4.1 Passa basso con condensatori standard di precisione (295)
  - 5.4.2 Passa banda con condensatori standard di precisione (297)
  - 5.4.3 Realizzazione di passa banda utilizzando residui di lavorazione (300)
- 5.5 Accoppiamento dei filtri alla circuitazione elettronica (302)
- 5.6 Filtri di banda passivi modificati (307)
  - 5.6.1 Filtro passa basso passivo modificato (307)
  - 5.6.2 Filtro passa banda passivo modificato (310)
- 5.7 Filtri passa basso modificati come adattatori d'impedenza (312)
  - 5.7.1 Generalità (312)
  - 5.7.2 Descrizione e calcolo della cellula di adattamento d'impedenza (313)

## **Cap. 6 Le catene di ritardo (318)**

- 6.1 Le catene di ritardo a K costante (318)
  - 6.1.1 Caratteristica di sfasamento delle cellule di ritardo a k costante (321)
  - 6.1.2 Caratteristica di ritardo delle cellule a k costante (323)
  - 6.1.3 Caratteristica di attenuazione delle cellule di ritardo a k costante (325)
  - 6.1.4 Comportamento delle cellule a k costante come sfasatori in bande di frequenza (326)
  - 6.1.5 Progetto di cellula a k costante con componenti disponibili (329)
  - 6.1.6 Le onde stazionarie nelle catene di ritardo a k costante (330)
- 6.2 Le cellule di ritardo ad m derivato (331)
  - 6.2.1 Caratteristica di ritardo delle cellule ad m derivato (336)
  - 6.2.3 Progetto di una catena ad m derivato con parte dei componenti disponibili (338)
  - 6.2.4 Controlli su di una catena di ritardo ad m derivato (340)
  - 6.2.5 Modi di pilotaggio per una catena ad m derivato (343)

## **Cap. 7 Circuiti elettronici per la misura della correlazione tra segnali (345)**

- 7.1 La circuitazione elettronica di un correlatore (348)
  - 7.1.1 Circuiti comparatori d'ingresso (348)
  - 7.1.2 L'operatore di or esclusivo (350)
  - 7.1.3 L'integratore e traslatore di livello (353)
- 7.2 Operazioni di controllo e taratura del circuito di correlazione (355)
- 7.3 L'impiego del correlatore per la misura dello sfasamento tra due segnali (357)
- 7.4 L'impiego del correlatore per la misura dei disturbi che inquinano i segnali (359)
- 7.5 L'impiego del correlatore per la ricerca dei segnali coperti dai disturbi (367)
- 7.6 Monitoraggio tra segnali (376)
  - 7.6.1 L'anticorrelatore (377)
- 7.7 Cenni sulla correlazione con il personal computer (380)

## **Cap.8 Alimentatori (381)**

- 8.1 Struttura di un alimentatore (381)
- 8.2 Esempio di calcolo del filtro capacitivo (383)
- 8.3 Esempio di calcolo del rettificatore (386)
- 8.4 Esempio di calcolo del trasformatore (388)
- 8.5 Esempio di progetto di alimentatore monofase completo (396)
- 8.6 Esempio di progetto di alimentatore tri-monofase (409)

## **Cap.9 Strumenti elettronici e tecniche di misura (420)**

- 9.1 Le attrezzature di laboratorio (420)
- 9.2 Misure di tensione e di corrente (422)
- 9.3 Misure sui componenti passivi e attivi (428)
- 9.4 Misure sui circuiti accordati (429)
- 9.5 Misure di frequenza (433)
- 9.6 Misure di fase (436)
  - 9.6.1 Il problema dell'ambiguità nella misura di fase con l'oscilloscopio (440)
- 9.7 Le misure sui circuiti analogici (441)
  - 9.7.1 Misure delle correnti continue di alimentazione (441)
  - 9.7.2 Misure delle tensioni di polarizzazione (442)
  - 9.7.3 Misure della temperatura dei componenti (443)
  - 9.7.4 Misure del guadagno (443)
  - 9.7.5 Misure della risposta in frequenza (448)
  - 9.7.6 Misure della dinamica e della linearità (450)
  - 9.7.7 Misure della distorsione (453)
  - 9.7.8 Misure del rumore proprio (454)

## **Appendice (457)**

- A0 Misure di guadagno in termini logaritmici (462)
- A1 La controreazione negli amplificatori (462)

- A1.1 Premessa (462)**
- A1.2 La teoria sulla controreazione (462)**
  - A1.2.1 Progetto dei blocchi funzionali (465)**
    - A1.2.1.1 Il blocco funzionale frazionatore (465)**
    - A1.2.1.2 Il blocco funzionale sommatore (466)**
  - A1.3 Effetti del circuito di controreazione (468)**
- A2 Dettagli sull'oscillatore a sfasamento (469)**
- A3. Formule di calcolo per i filtri attivi (474)**
- A4 Il circuito d'integrazione nel rivelatore(477)**
- A5 Il computer impiegato per l'invio di comandi digitali (483)**
- A6 Algoritmi di calcolo per le curve di risposta degli equalizzatori (488)**
- A7 Teoria sul generatore di funzioni (489)**
- A8 Calcolo dei componenti del generatore di funzioni con il P.C. (496)**
- A9 Calcolo di un filtro passa banda e curva di risposta con il P.C. (500)**
- A10 Formule di calcolo per i parametri delle cellule di ritardo a k costante (513)**
- A11 Formule di calcolo del ritardo in funzione della frequenza per cellule ad m derivato (514)**
- A12 Programma di calcolo per catene di ritardo ad m derivato (515)**
- A13 Algoritmi di calcolo per i metodi di correlazione (521)**
- A14 Teoria della modulazione DSB-SSB (523)**
  - A14.1 Sviluppi matematici per il circuito di modulazione DSB (523)**
  - A14.2 Sviluppi matematici per il circuito di modulazione SSB (525)**
- A15 Calcolo della risposta di una cellula a pi greco (adattatore d'impedenza) (529)**