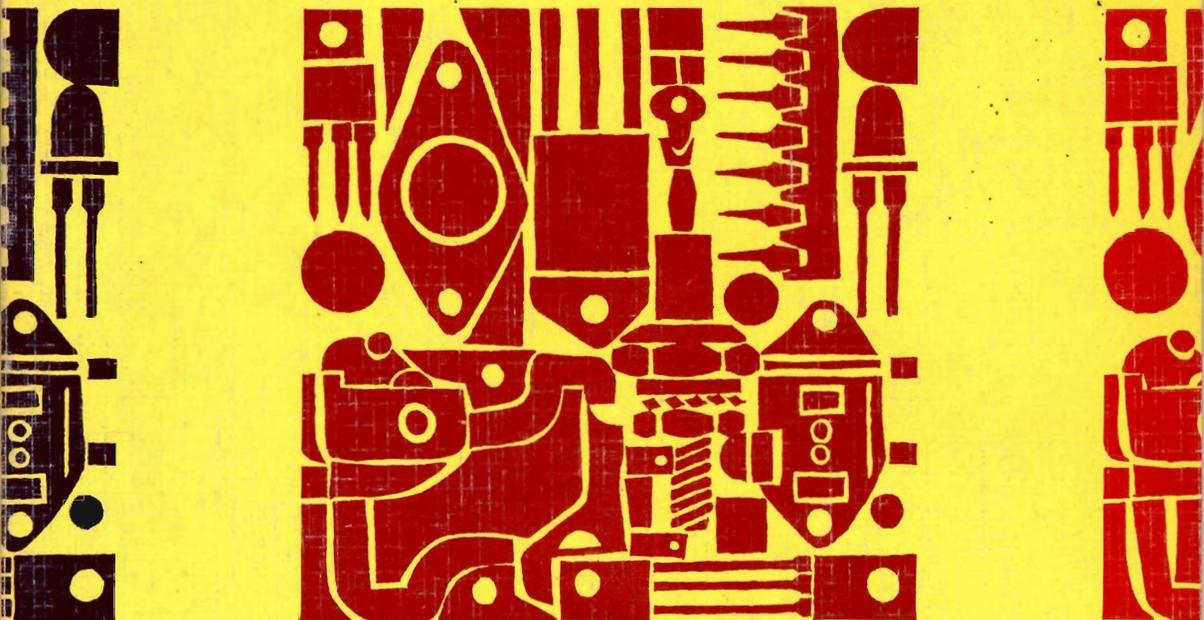
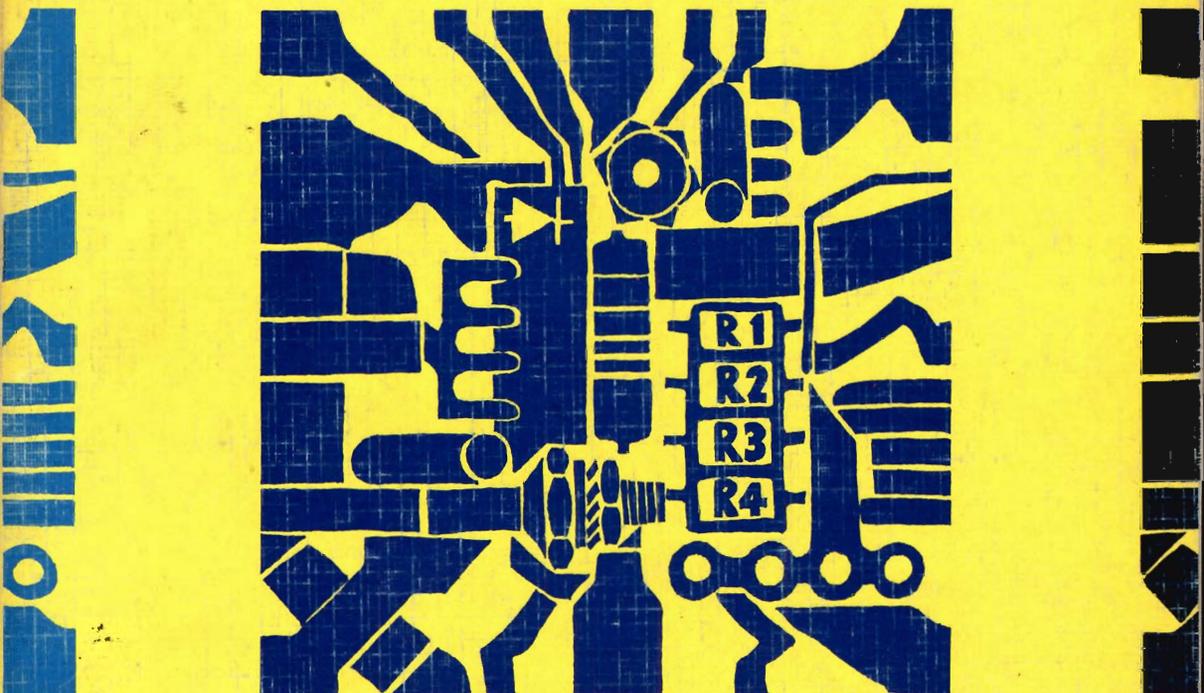


**E. CAVAZZUTI - C. A. NOBILI - P. TINARELLI**



**CORSO DI  
RADIOELETTRONICA  
ELETTRONICA DI BASE**



**CALDERINI**

E. CAVAZZUTI - C.A. NOBILI - P. TINARELLI

# CORSO DI RADIOELETTRONICA

ELETTRONICA  
DI BASE

*VOLUME SECONDO*



CALDERINI

**Collana di testi coordinati  
per gli Istituti Professionali e Tecnici Industriali  
diretta da Ruggero Giometti**

1ª edizione: ottobre 1983

## INDICE GENERALE

1 - SEMICONDUTTORI .....	Pag.	1
1.1 - Generalità .....	»	1
1.2 - Germanio o silicio di tipo N - sostanze donatrici .....	»	5
1.3 - Germanio o silicio di tipo P - sostanze accettatrici .....	»	6
1.4 - Conduzione nei semiconduttori di tipo N e di tipo P ..	»	6
1.5 - Giunzione N-P non polarizzata .....	»	8
1.6 - Giunzione N-P polarizzata .....	»	10
1.7 - Diodi a cristallo .....	»	13
1.8 - Rilievo della caratteristica diretta ed inversa di un diodo a cristallo semiconduttore .....	»	15
1.9 - Diodi Zener .....	»	16
2 - TRANSISTORI .....	»	18
2.1 - Generalità .....	»	18
2.2 - Tensioni di polarizzazione e correnti relative .....	»	19
2.3 - Cenni sulla costruzione di un transistor .....	»	21
2.4 - Curve caratteristiche del transistor .....	»	23
2.5 - Influenza della corrente inversa di saturazione .....	»	26
2.6 - Coefficienti caratteristici di un transistor .....	»	32
2.7 - Codice di riconoscimento per i dispositivi a semicon- duttore .....	»	36
2.8 - Connessioni fondamentali del transistor .....	»	38
2.9 - Parametri ibridi «h» .....	»	40
2.10 - Punto di funzionamento a riposo di un transistor .....	»	44
2.11 - Polarizzazione e stabilizzazione termica del punto di lavoro di un transistor .....	»	45
2.12 - Determinazione pratica degli elementi del circuito .....	»	53
3 - CIRCUITI DI IMPIEGO DEI DIODI .....	»	55
3.1 - Raddrizzare ad una semionda .....	»	55
3.2 - Raddrizzatore a doppia semionda .....	»	56

3.3 - Dati sui circuiti di raddrizzamento .....	Pag.	59
3.4 - Alimentatori .....	»	59
3.5 - Filtri di livellamento .....	»	62
3.6 - Dati sui circuiti di raddrizzamento seguiti da filtro .....	»	67
3.7 - Duplicatore di tensione .....	»	75
3.8 - Triplicatore di tensione .....	»	75
3.9 - Quadruplicatore di tensione .....	»	76
3.10 - Alimentatori stabilizzati .....	»	77
3.11 - Impiego del diodo Zener come stabilizzatore di tensione .....	»	77
3.12 - Stabilizzatori con transistoro in serie .....	»	80
3.13 - Convertitore c.c.-c.c. a transistori .....	»	83
4 - TRASDUTTORI ELETTROACUSTICI - ANALISI ARMONICA - IL DECIBEL.....	»	85
4.1 - Trasduttori elettroacustici .....	»	85
4.2 - Microfoni .....	»	86
4.3 - Pick-up .....	»	87
4.4 - Testina magnetica per registratori .....	»	89
4.5 - Cuffia telefonica .....	»	89
4.6 - Altoparlante .....	»	90
4.7 - Il suono, caratteristiche .....	»	90
4.8 - Serie di Fourier .....	»	91
4.9 - Decibel, unità di misura del guadagno e dell'attenuazione .....	»	99
5 - AMPLIFICATORI A TRANSISTORI IN BASSA FREQUENZA .....	»	105
5.1 - Regimi fondamentali di lavoro .....	»	105
5.2 - Amplificazione di corrente e tensione di un transistoro .....	»	106
5.3 - Calcolo pratico semplificato delle grandezze in gioco negli amplificatori a transistori .....	»	111
5.4 - Amplificatore a transistoro in connessione a emettitore comune .....	»	111
5.5 - Capacità di entrata e di uscita di un transistoro .....	»	119
5.6 - Amplificatori a transistori accoppiati a resistenza e capacità .....	»	120
5.7 - Circuiti equivalenti alle frequenze medie e limiti della gamma e relativa espressione dell'amplificazione, considerando un solo stadio accoppiato .....	»	122
5.8 - Curva universale di risposta di un amplificatore accoppiato a R.C. ....	»	130

5.9 - Larghezza di banda di $n$ amplificatori in cascata .....	Pag. 131
5.10 - Circuito equivalente a $\pi$ di un transistoro o circuito di Giacoletto .....	» 133
5.11 - Amplificatori ad accoppiamento diretto .....	» 150
5.12 - Inseguitore di emettitore (Emitter follower) .....	» 151
5.13 - Inseguitore di emettitore nella connessione Darlington .....	» 155
5.14 - Amplificatore con carico sul collettore e sull'emettito- re .....	» 159
5.15 - Amplificatore a transistoro in connessione a base co- mune .....	» 163
5.16 - Confronto fra le tre connessioni di un transistoro .....	» 167
5.17 - Amplificatore cascode .....	» 167
5.18 - Amplificatori a transistori ad accoppiamento a trasfor- matore .....	» 169
6 - TRANSISTORI AD EFFETTO DI CAMPO .....	» 173
6.1 - Transistori ad effetto di campo JFET .....	» 173
6.2 - Transistore ad effetto di campo MOSFET .....	» 178
6.3 - Polarizzazione dei JFET .....	» 182
6.4 - Polarizzazione dei MOSFET .....	» 183
6.5 - Stabilizzazione nei transistori ad effetto di campo .....	» 184
6.6 - Circuito equivalente del JFET .....	» 186
6.7 - Amplificatori a JFET a source comune .....	» 187
6.8 - Retta di carico dinamica. Massimo segnale di uscita ..	» 189
6.9 - Capacità di entrata e di uscita di un JFET .....	» 192
6.10 - Amplificatori a JFET accoppiati a resistenza e capaci- tà .....	» 193
6.11 - Inseguitore di source .....	» 198
6.12 - Amplificatore con carico sul drain e sul source .....	» 200
6.13 - Amplificatore a gate comune .....	» 203
6.14 - Confronto fra le tre connessioni di un JFET .....	» 205
7 - LA REAZIONE .....	» 207
7.1 - Espressione del guadagno di un amplificatore in pre- senza di reazione .....	» 207
7.2 - Costanza del guadagno in presenza di controreazione .....	» 208
7.3 - Effetti della controreazione sulla banda passante di un amplificatore .....	» 209
7.4 - Tipi di controreazione .....	» 211

8 - AMPLIFICATORI DI POTENZA IN BF A TRANSISTORI .....	Pag. 224
8.1 - Classi di funzionamento degli amplificatori di potenza a transistori .....	» 224
8.2 - Potenze in gioco negli amplificatori di potenza .....	» 224
8.3 - Problemi inerenti la potenza dissipata nei transistori .....	» 226
8.4 - Rendimento e figura di merito .....	» 228
8.5 - Amplificatori di potenza con trasformatore di uscita .....	» 229
8.6 - Amplificatori di potenza in classe A con trasformatore di uscita e retta di carico statica e dinamica .....	» 229
8.7 - Circuiti pilota per amplificatori di potenza in classe A .....	» 234
8.8 - Amplificatori di potenza in controfase in classe B .....	» 236
8.9 - Distorsione incrociata negli amplificatori di potenza in classe B .....	» 238
8.10 - Amplificatori di potenza in classe B con trasformatore di uscita .....	» 238
8.11 - Circuiti pilota per amplificatori di potenza in classe B con trasformatore di uscita .....	» 240
8.12 - Amplificatori in connessione «single-ended» .....	» 243
8.13 - Circuiti pilota per amplificatori di potenza in single-ended .....	» 246
8.14 - Amplificatori di potenza in classe B con transistori a simmetria complementare .....	» 251
8.15 - Circuiti pilota per amplificatori a simmetria complementare .....	» 253
8.16 - Amplificatori a simmetria quasi complementare .....	» 261
8.17 - Controllo di volume negli amplificatori di BF .....	» 262
8.18 - Controllo dei toni negli amplificatori di BF .....	» 263
9 - OSCILLATORI SINUSOIDALI .....	» 268
9.1 - Oscillatore di B.F. a mezzo ponte di Wien .....	» 269
9.2 - Oscillatore di B.F. a ponte di Wien .....	» 272
9.3 - Oscillatore di B.F. a rete di sfasamento .....	» 274
9.4 - Oscillatori di alta frequenza .....	» 284
9.5 - Oscillatore di Meissner .....	» 284
9.6 - Struttura degli oscillatori a tre punti .....	» 289
9.7 - Oscillatore di Colpitts .....	» 293
9.8 - Oscillatore di Hartley .....	» 296
9.9 - Stabilità della frequenza generata .....	» 300
9.10 - Oscillatori a cristallo .....	» 301

10 - MULTIVIBRATORI .....	Pag. 306
10.1 - Multivibratore astabile .....	» 306
10.2 - Multivibratore monostabile .....	» 313
10.3 - Multivibratore bistabile .....	» 319
10.4 - Trigger di Schmitt .....	» 327
10.5 - Generatore di rampa bootstrap .....	» 330
11 - TUBI ELETTRONICI .....	» 335
11.1 - Emissione elettronica .....	» 335
11.2 - Il diodo .....	» 337
11.3 - Il triodo .....	» 338
11.4 - Tubi a più elettrodi .....	» 341
11.5 - Polarizzazione di un tubo elettronico .....	» 343
11.6 - Amplificatori di tensione in bassa frequenza .....	» 345
11.7 - Amplificatori di potenza in bassa frequenza .....	» 346
12 - AMPLIFICATORI OPERAZIONALI .....	» 349
12.1 - Amplificatori differenziali .....	» 349
12.2 - Amplificatori operazionali .....	» 355
12.3 - Amplificatori lineari .....	» 358
12.4 - Circuiti non lineari .....	» 361
12.5 - Generatori di forme d'onda .....	» 363
13 - AMPLIFICATORI SELETTIVI .....	» 378
13.1 - Generalità .....	» 378
13.2 - Classificazione degli amplificatori selettivi .....	» 379
13.3 - Amplificatore selettivo a semplice accordo a JFET con accoppiamento capacitivo .....	» 386
13.4 - Amplificatori selettivi a semplice accordo a JFET a più stadi .....	» 394
13.5 - Amplificatori selettivi a semplice accordo a JFET con accoppiamento a trasformatore .....	» 396
13.6 - Amplificatori selettivi a doppio accordo coincidente o a filtro di banda a JFET .....	» 405
13.7 - Amplificatori selettivi a doppio accordo a JFET a più stadi .....	» 411
13.8 - Circuito equivalente di un transistor con l'impiego dei parametri $y$ .....	» 412
13.9 - Amplificatori selettivi a semplice accordo a transisto- ri .....	» 416

13.10 - Amplificatori selettivi a semplice accordo a transistori con accoppiamento a trasformatore .....	Pag. 427
13.11 - Amplificatori selettivi a transistori a filtro di banda ..	» 429
13.12 - La neutralizzazione negli amplificatori selettivi .....	» 431
<b>14 - AMPLIFICATORI A RADIOFREQUENZA .....</b>	<b>» 434</b>
14.1 - Studio dei parametri $s$ .....	» 434
14.2 - Analisi delle reti mediante l'impiego dei parametri $s$ ..	» 440
14.3 - Progetto di un amplificatore a RF con l'impiego dei parametri $s$ .....	» 443
14.4 - Generalità sugli amplificatori di potenza a radiofrequenza a tubi elettronici .....	» 448
14.5 - Funzionamento di un amplificatore in classe C a tubi elettronici .....	» 449
14.6 - Valore istantaneo della corrente anodica .....	» 452
14.7 - Angolo $2\theta_0$ di circolazione della corrente anodica ...	» 455
14.8 - Potenza, rendimento, resistenza equivalente di carico ..	» 456
14.9 - Procedimento di calcolo di un amplificatore in classe C impiegante un triodo .....	» 457
14.10 - Polarizzazione automatica per falla di griglia .....	» 459
14.11 - Neutralizzazione della capacità $C_{ga}$ in AF .....	» 461
14.12 - Amplificatori di potenza in classe C a transistori .....	» 463
<b>APPENDICE .....</b>	<b>» 465</b>