

Indice generale

Elenco delle tabelle principali	XVII	1.7.9	I filtri passa-basso <i>RC</i>	41
Prefazione alla terza edizione inglese	XVIII	1.7.10	I derivatori e gli integratori <i>RC</i> nel dominio delle frequenze	42
1 Fondamenti	1	1.7.11	Confronto tra induttori e condensatori	42
1.1	1	1.7.12	I diagrammi con i fasori	43
1.2	1	1.7.13	“Poli” e decibel per ottava	43
1.2.1	1	1.7.14	I circuiti risonanti	43
1.2.2	2	1.7.15	I filtri <i>LC</i>	45
1.2.3	6	1.7.16	Altre applicazioni dei condensatori	45
1.2.4	6	1.7.17	Teorema di Thévenin generalizzato	46
1.2.5	8	1.8	Mettendo tutto insieme: come progettare una radio AM	46
1.2.6	10	1.9	Gli altri componenti passivi	47
1.2.7	11	1.9.1	Dispositivi elettromeccanici: interruttori	47
1.3	12	1.9.2	Dispositivi elettromeccanici: i relè	49
1.3.1	12	1.9.3	I connettori	49
1.3.2	12	1.9.4	Gli indicatori	51
1.3.3	13	1.9.5	I componenti variabili	52
1.3.4	14	1.10	La stoccata finale: sigle fuorvianti e componenti minuscoli	53
1.3.5	14	1.10.1	Tecnologia a montaggio superficiale: gioie e dolori	54
1.4	15		Esercizi aggiuntivi	55
1.4.1	15		Il capitolo in sintesi	56
1.4.2	17	2 Transistor bipolari		58
1.4.3	21	2.1	Introduzione	58
1.4.4	22	2.1.1	Primo modello di transistor: amplificatore di corrente	59
1.4.5	23	2.2	Alcuni circuiti di base a transistor	59
1.5	23	2.2.1	Interruttori a transistor	59
1.5.1	23	2.2.2	Esempi di circuiti di commutazione	62
1.5.2	25	2.2.3	Emitter follower	65
1.6	25	2.2.4	Emitter follower come regolatori di tensione	67
1.6.1	26	2.2.5	Polarizzazione dell'emitter follower	68
1.6.2	26	2.2.6	Generatori di corrente	70
1.6.3	27	2.2.7	Amplificatori a emettitore comune	72
1.6.4	28	2.2.8	Sdoppiatore di fase a guadagno unitario	72
1.6.5	29	2.2.9	Transconduttanza	73
1.6.6	29	2.3	Modello di Ebers-Moll applicato ai circuiti a transistor di base	74
1.6.7	32	2.3.1	Modello di transistor perfezionato: amplificatore a transconduttanza	74
1.6.8	33	2.3.2	Conseguenze del modello di Ebers-Moll: regole generali di progettazione con transistor	75
1.7	33	2.3.3	L'emitter follower rivisitato	76
1.7.1	34	2.3.4	L'amplificatore a emettitore comune rivisitato	77
1.7.2	37			
1.7.3	37			
1.7.4	37			
1.7.5	38			
1.7.6	39			
1.7.7	40			
1.7.8	40			

2.3.5	Polarizzazione dell'amplificatore a emettitore comune	79	3.5	MOSFET di potenza	153
2.3.6	Una digressione: il transistor ideale	82	3.5.1	Alta impedenza, stabilità termica	153
2.3.7	Specchi di corrente	83	3.5.2	Parametri di commutazione dei MOSFET di potenza	158
2.3.8	Amplificatori differenziali	84	3.5.3	Commutazione di potenza mediante livelli logici	158
2.4	Alcuni blocchi degli amplificatori	86	3.5.4	Precauzioni nella commutazione di potenza	162
2.4.1	Stadi di uscita push-pull	87	3.5.5	MOSFET e BJT a confronto come interruttori ad alta corrente	166
2.4.2	Connessione Darlington	90	3.5.6	Alcuni esempi di circuiti con MOSFET di potenza	166
2.4.3	Circuiti bootstrap	91	3.5.7	IGBT e altri semiconduttori di potenza	170
2.4.4	Condivisione di corrente in BJT in parallelo	92	3.6	MOSFET in applicazioni lineari	171
2.4.5	Capacità ed effetto Miller	93	3.6.1	Amplificatore piezoelettrico ad alta tensione	171
2.4.6	Transistor a effetto di campo	94	3.6.2	Alcuni circuiti in modalità svuotamento	172
2.5	Retroazione negativa	95	3.6.3	MOSFET in parallelo	174
2.5.1	Introduzione alla retroazione	95	3.6.4	Instabilità termica	175
2.5.2	Equazione del guadagno	95	Il capitolo in sintesi		180
2.5.3	Effetti della retroazione sui circuiti amplificatori	96			
2.5.4	Due importanti dettagli	99			
2.5.5	Due esempi di amplificatore a transistor con retroazione	99			
2.6	Alcuni tipici circuiti a transistor	101			
2.6.1	Alimentatore stabilizzato	101			
2.6.2	Controllore di temperatura	101			
2.6.3	Semplici circuiti logici con transistor e diodi	101			
Esercizi aggiuntivi		102			
Il capitolo in sintesi		103			
3	Transistor a effetto di campo	108	4	Amplificatori operazionali	183
3.1	Introduzione	108	4.1	Introduzione agli amplificatori operazionali – il “componente perfetto”	183
3.1.1	Caratteristiche dei FET	108	4.1.1	Amplificatori operazionali e retroazione	183
3.1.2	Tipi di FET	110	4.1.2	Amplificatori operazionali	184
3.1.3	Caratteristiche universali dei FET	112	4.1.3	Le regole d'oro	185
3.1.4	Caratteristiche di drain dei FET	113	4.2	Circuiti di base con amplificatori operazionali	185
3.1.5	Dispersione di fabbricazione delle caratteristiche dei FET	114	4.2.1	Amplificatore invertente	185
3.1.6	Circuiti di base a FET	116	4.2.2	Amplificatore non invertente	186
3.2	Circuiti lineari a FET	116	4.2.3	Inseguitore	186
3.2.1	Alcuni JFET rappresentativi: una breve panoramica	116	4.2.4	Amplificatore delle differenze	186
3.2.2	Generatori di corrente a JFET	117	4.2.5	Generatori di corrente	187
3.2.3	Amplificatori a FET	120	4.2.6	Integratori	189
3.2.4	Amplificatori differenziali	125	4.2.7	Precauzioni fondamentali per i circuiti con operazionali	190
3.2.5	Oscillatori	128	4.3	Un buffet di operazionali	191
3.2.6	Source follower	128	4.3.1	Circuiti lineari	191
3.2.7	FET come resistori variabili	132	4.3.2	Circuiti non lineari	194
3.2.8	Corrente di gate di un FET	134	4.3.3	Applicazione degli operazionali: oscillatore a onda triangolare	196
3.3	Uno sguardo più da vicino ai JFET	135	4.3.4	Applicazione degli operazionali: misuratore della tensione di pinch-off	197
3.3.1	Corrente di drain in funzione della tensione di gate	136	4.3.5	Generatore di impulsi a larghezza programmabile	198
3.3.2	Corrente di drain in funzione della tensione drain-source: conduttanza d'uscita	137	4.3.6	Filtro passa-basso attivo	199
3.3.3	Transconduttanza in funzione della corrente di drain	137	4.4	Una visione dettagliata del comportamento dell'operazionale	199
3.3.4	Transconduttanza in funzione della tensione di drain	139	4.4.1	Deviazioni dalle prestazioni ideali di un operazionale	200
3.3.5	Capacità dei JFET	139	4.4.2	Effetti dei limiti degli operazionali sul comportamento dei circuiti	205
3.3.6	Perché amplificatori a JFET (anziché MOSFET)?	139	4.4.3	Esempio: millivoltmetro sensibile	208
3.4	Interruttori a FET	140	4.4.4	Larghezza di banda e generatori di corrente a operazionale	209
3.4.1	Interruttori analogici a FET	140	4.5	Uno sguardo dettagliato a una selezione di circuiti con operazionali	209
3.4.2	Limitazioni degli interruttori a FET	143	4.5.1	Rilevatore attivo di picco	209
3.4.3	Alcuni esempi di interruttore analogico a FET	149	4.5.2	Sample-and-hold	210
3.4.4	Interruttori logici a MOSFET	151	4.5.3	Limitatore attivo	211
			4.5.4	Circuito generatore del valore assoluto	211
			4.5.5	Uno sguardo più da vicino all'integratore	212

4.5.6	Una cura circuitale per la dispersione nei FET	213	5.8.2	Larghezza di banda e tempo di assestamento	254
4.5.7	Derivatori	214	5.8.3	Distorsione di crossover e impedenza d'uscita	256
4.6	Funzionamento degli operazionali con una singola alimentazione	214	5.8.4	Buffer di potenza a guadagno unitario	257
4.6.1	Polarizzazione degli amplificatori in corrente alternata ad alimentazione singola	215	5.8.5	Errore di guadagno	257
4.6.2	Carichi capacitivi	217	5.8.6	Non-linearità del guadagno	257
4.6.3	Operazionali ad "alimentazione singola"	218	5.8.7	Errore di fase e "compensazione attiva"	258
4.6.4	Un esempio: oscillatore controllato in tensione	219	5.9	Operazionali RRIO: il buono, il brutto e il cattivo	260
4.6.5	Implementazione di un VCO: fori passanti o montaggio superficiale	221	5.9.1	Problemi all'ingresso	260
4.6.6	Rilevatore di attraversamento dello zero	221	5.9.2	Problemi all'uscita	261
4.6.7	Una tabella degli operazionali	222	5.10	Scelta di un operazionale di precisione	263
4.7	Altri tipi di amplificatori e operazionali	222	5.10.1	"Sette operazionali di precisione"	263
4.8	Alcuni tipici circuiti con operazionali	225	5.10.2	Numero per involucro	263
4.8.1	Generico amplificatore da laboratorio	225	5.10.3	Tensione di alimentazione, intervallo di segnale	263
4.8.2	Identificazione di un nodo bloccato	227	5.10.4	Funzionamento ad alimentazione singola	266
4.8.3	Circuito di rilevazione delle correnti di carico	228	5.10.5	Tensione di offset	266
4.8.4	Controllore di abbronzatura a integrazione	229	5.10.6	Rumore di tensione	267
4.9	Compensazione in frequenza di amplificatori retroazionati	231	5.10.7	Corrente di polarizzazione	268
4.9.1	Guadagno e sfasamento in funzione della frequenza	231	5.10.8	Rumore di corrente	269
4.9.2	Metodi di compensazione degli amplificatori	232	5.10.9	CMRR e PSRR	270
4.9.3	Risposta in frequenza della rete di retroazione	234	5.10.10	GBW, f_i , slew-rate e "m", e tempo di assestamento	270
Esercizi aggiuntivi		236	5.10.11	Distorsione	271
Il capitolo in sintesi		237	5.10.12	"Due su tre non è male": creazione dell'operazionale ideale	273
5 Circuiti di precisione		240	5.11	Amplificatori autoazzeranti (stabilizzati a chopper)	274
5.1	Tecniche di progettazione di operazionali di precisione	240	5.11.1	Proprietà degli operazionali autoazzeranti	275
5.1.1	Precisione e gamma dinamica	240	5.11.2	Quando utilizzare operazionali autoazzeranti	279
5.1.2	Il bilancio degli errori	241	5.11.3	Scelta di un operazionale autoazzerante	279
5.2	Un esempio: il millivoltmetro, rivisitato	241	5.11.4	Argomenti vari sugli operazionali autoazzeranti	280
5.2.1	La sfida: 10 mV, 1%, 10 M Ω , alimentazione singola a 1,8 V	241	5.12	"Progetti dei Maestri": gli accurati multimetri digitali di Agilent	282
5.2.2	La soluzione: generatore di corrente di precisione RRIO	242	5.12.1	È impossibile!	282
5.3	Le lezioni: bilancio degli errori, parametri non specificati	243	5.12.2	Sbagliato: è possibile!	282
5.4	Un altro esempio: amplificatore di precisione con offset nullo	244	5.12.3	Diagramma a blocchi: un piano semplice	282
5.4.1	Descrizione del circuito	244	5.12.4	Lo stadio d'ingresso a 6,5 cifre del 34401A	282
5.5	Bilancio degli errori di un progetto di precisione	245	5.12.5	Lo stadio d'ingresso a 7,5 cifre del 34420A	283
5.5.1	Il bilancio degli errori	245	5.13	Amplificatori delle differenze, differenziali e per strumentazione: introduzione	286
5.6	Errori nei componenti	246	5.14	Amplificatore delle differenze	287
5.6.1	Resistori di impostazione del guadagno	246	5.14.1	Funzionamento del circuito di base	287
5.6.2	Il condensatore mantentore	247	5.14.2	Alcune applicazioni	287
5.6.3	Interruttore di azzeramento	247	5.14.3	Parametri di prestazione	291
5.7	Errori dell'amplificatore in ingresso	248	5.14.4	Varianti circuitali	292
5.7.1	Impedenza d'ingresso	248	5.15	Amplificatori per strumentazione	294
5.7.2	Corrente di polarizzazione in ingresso	249	5.15.1	Un primo (ingenuo) tentativo	294
5.7.3	Offset di tensione	250	5.15.2	Classico amplificatore per strumentazione a tre operazionali	294
5.7.4	Reiezione di modo comune	251	5.15.3	Considerazioni sullo stadio d'ingresso	295
5.7.5	Reiezione della tensione di alimentazione	252	5.15.4	Un amplificatore per strumentazione "fai da te"	296
5.7.6	Amplificatore ad azzeramento: errori all'ingresso	252	5.15.5	Un inciso sulla protezione robusta degli ingressi	298
5.8	Errori dell'amplificatore in uscita	252	5.16	Miscellanea sugli amplificatori per strumentazione	298
5.8.1	Slew-rate: considerazioni generali	253	5.16.1	Corrente d'ingresso e rumore	298
			5.16.2	Reiezione di modo comune	298
			5.16.3	Impedenza di sorgente e CMRR	301
			5.16.4	Protezione degli ingressi ed EMI	301
			5.16.5	Regolazione dell'offset e del CMRR	301
			5.16.6	Rilevazione del carico	302
			5.16.7	Percorso di polarizzazione dell'ingresso	302
			5.16.8	Intervallo delle tensioni in uscita	302

5.16.9	Esempio applicativo: generatore di corrente	302	8	Tecniche a basso rumore	389
5.16.10	Altre configurazioni	303	8.1	Il rumore	389
5.16.11	Amplificatori per strumentazione autoazzeranti e chopper	305	8.1.1	Rumore di Johnson (Nyquist)	390
5.16.12	Amplificatori per strumentazione a guadagno programmabile	305	8.1.2	Rumore shot	391
5.16.13	Generazione di un'uscita differenziale	306	8.1.3	Rumore $1/f$ (rumore flicker)	391
5.17	Amplificatori completamente differenziali	307	8.1.4	Rumore burst	392
5.17.1	Amplificatori differenziali: concetti di base	310	8.1.5	Rumore a banda limitata	393
5.17.2	Esempio di applicazione di un amplificatore differenziale: collegamento analogico a banda larga	313	8.1.6	Interferenze	393
5.17.3	ADC con ingresso differenziale	313	8.2	Rapporto segnale-rumore e cifra di rumore	393
5.17.4	Abbinamento delle impedenze	315	8.2.1	Densità della potenza del rumore e larghezza di banda	394
5.17.5	Criteri di selezione di un amplificatore differenziale	315	8.2.2	Rapporto segnale-rumore	394
	Il capitolo in sintesi	319	8.2.3	Cifra di rumore	394
6	Filtri	322	8.2.4	Temperatura di rumore	395
6.1	Introduzione	322	8.3	Rumore negli amplificatori a transistor bipolari	395
6.2	Filtri passivi	322	8.3.1	Rumore di tensione e_n	396
6.2.1	Risposta in frequenza dei filtri RC	322	8.3.2	Rumore di corrente i_n	397
6.2.2	Prestazioni ideali con filtri LC	324	8.3.3	Rumore di tensione sui BJT, rivisto	399
6.2.3	Alcuni semplici esempi	324	8.3.4	Un progetto semplice di esempio: un altoparlante come microfono	400
6.2.4	Entriamo nei filtri attivi: una panoramica	327	8.3.5	Rumore shot nei generatori di corrente e negli inseguitori di emettitore	401
6.2.5	Criteri chiave delle prestazioni dei filtri	329	8.4	Come trovare e_n a partire dalle specifiche delle misure di rumore	402
6.2.6	Tipi di filtro	330	8.4.1	Passo 1: NF in funzione di I_C	402
6.2.7	Implementazione dei filtri	334	8.4.2	Passo 2: NF in funzione di R_s	403
6.3	Circuiti di filtri attivi	335	8.4.3	Passo 3: derivazione di e_n	403
6.3.1	Circuiti VCVS	335	8.4.4	Passo 4: lo spettro di e_n	404
6.3.2	Progetto di filtri VCVS con la nostra tabella semplificata	336	8.4.5	Lo spettro di i_n	404
6.3.3	Filtri a variabili di stato	338	8.4.6	Quando non si può scegliere la corrente di funzionamento	404
6.3.4	Filtri notch a doppia T	341	8.5	Progettazione a basso rumore con transistor bipolari	405
6.3.5	Filtri passa-tutto	342	8.5.1	Esempi di quantificazione di rumore	405
6.3.6	Filtri a capacità commutate	343	8.5.2	Grafici del rumore degli amplificatori con e_n e i_n	406
6.3.7	Elaborazione numerica dei segnali	345	8.5.3	Resistenza di rumore	406
6.3.8	Miscellanea sui filtri	347	8.5.4	Come tracciare curve comparative del rumore	406
	Esercizi aggiuntivi	348	8.5.5	Progettazione a basso rumore con i BJT: due esempi	406
	Il capitolo in sintesi	348	8.5.6	Minimizzazione del rumore: BJT, FET e trasformatori	408
7	Oscillatori e temporizzatori	350	8.5.7	Un esempio di progetto: preamplificatore "rilevatore di lampi" da 40 centesimi	408
7.1	Oscillatori	350	8.5.8	Selezione di un transistor bipolare a basso rumore	411
7.1.1	Introduzione agli oscillatori	350	8.5.9	La sfida di un progetto a rumore estremamente basso: preamplificatore per microfoni a nastro senza trasformatore	415
7.1.2	Oscillatori a rilassamento	350	8.6	Progettazione a basso rumore con i JFET	418
7.1.3	Il classico chip oscillatore-temporizzatore: il 555	353	8.6.1	Rumore di tensione dei JFET	418
7.1.4	Altri oscillatori a rilassamento in circuito integrato	356	8.6.2	Il rumore di corrente nei JFET	420
7.1.5	Oscillatori sinusoidali	358	8.6.3	Esempio di progetto: amplificatori JFET a banda larga e basso rumore "ibridi"	420
7.1.6	Oscillatori a cristallo di quarzo	365	8.6.4	"Progetti dei Maestri": il preamplificatore SR560 a basso rumore	421
7.1.7	Stabilità più elevata: TCXO, OCXO e oltre	371	8.6.5	Come selezionare un JFET a basso rumore	422
7.1.8	Sintesi di frequenza: DDS e PLL	372	8.7	Rappresentazione su grafico del duello bipolari-FET	426
7.1.9	Oscillatori in quadratura	373	8.7.1	Che cosa dire sui MOSFET?	426
7.1.10	Jitter dell'oscillatore	376	8.8	Rumore negli amplificatori differenziali e retroazionati	427
7.2	Temporizzatori	377	8.9	Rumore nei circuiti con amplificatori operazionali	428
7.2.1	Impulsi comandati da uno scalino	377	8.9.1	Guida alla Tabella 8.3: come scegliere un operazionale a basso rumore	428
7.2.2	Multivibratori monostabili	379	8.9.2	Rapporto di reiezione dell'alimentazione	438
7.2.3	Un'applicazione dei monostabili: limitazione della durata e del duty-cycle degli impulsi	383			
7.2.4	Temporizzazione con contatori digitali	384			
	Il capitolo in sintesi	387			

8.9.3	Ricapitolando: come scegliere un operazionale a basso rumore	438	9	Regolatori di tensione e convertitori di potenza	488
8.9.4	Amplificatori per strumentazione e amplificatori video	439	9.1	Introduzione: dagli zener ai regolatori lineari	489
8.9.5	Operazionali ibridi a basso rumore	439	9.1.1	Aggiunta di retroazione	490
8.10	Trasformatori di segnale	440	9.2	Circuiti regolatori lineari di base con il classico 723	491
8.10.1	Un amplificatore a basso rumore a banda larga con retroazione mediante trasformatore	441	9.2.1	Il regolatore 723	492
8.11	Il rumore negli amplificatori a transimpedenza	442	9.2.2	In difesa del 723	493
8.11.1	Riassunto del problema della stabilità	442	9.3	Regolatori di tensione completamente integrati	493
8.11.2	Rumore in ingresso dell'amplificatore	442	9.3.1	Tassonomia degli IC dei regolatori lineari	494
8.11.3	Il problema del rumore $e_n C$	443	9.3.2	Regolatori a tre terminali fissi	494
8.11.4	Il rumore negli amplificatori a transresistenza	443	9.3.3	Regolatori variabili a tre terminali	495
8.11.5	Un esempio: un amplificatore JFET a larga banda per fotodiodi	444	9.3.4	Regolatori stile 317: suggerimenti applicativi	498
8.11.6	Rumore in funzione del guadagno nell'amplificatore a transimpedenza	445	9.3.5	Regolatori stile 317: esempi di circuiti	499
8.11.7	Limitazione della larghezza di banda di uscita in un amplificatore a transimpedenza	446	9.3.6	Regolatori a caduta di tensione più bassa	501
8.11.8	Amplificatori a transimpedenza compositi	447	9.3.7	Regolatori a caduta di tensione estremamente bassa	502
8.11.9	Riduzione della capacità in ingresso: bootstrap dell'amplificatore a transimpedenza	449	9.3.8	Regolatori a tre terminali con riferimento in corrente	502
8.11.10	Isolamento della capacità di ingresso: cascode e amplificatori di transimpedenza	451	9.3.9	Le cadute di tensione a confronto	503
8.11.11	Amplificatori a transimpedenza con retroazione capacitiva	454	9.3.10	Esempio di regolatore a doppia tensione	503
8.11.12	Preamplificatore per microscopio a effetto tunnel	454	9.3.11	Scelta del regolatore lineare	504
8.11.13	Impianto di test per compensazione e calibrazione	456	9.3.12	Idiosincrasie dei regolatori lineari	504
8.11.14	Un commento finale	456	9.3.13	Filtraggio del rumore e dei ripple	509
8.12	Misurazione del rumore e sorgenti di rumore	456	9.3.14	Generatori di corrente	510
8.12.1	Misurazioni senza una sorgente di rumore	457	9.4	Calore e progettazione di potenza	513
8.12.2	Un esempio: circuito di test del rumore dei transistor	457	9.4.1	Transistor di potenza e dispersione del calore	513
8.12.3	Misurazione con una sorgente di rumore	458	9.4.2	Area di funzionamento sicura	516
8.12.4	Sorgenti di rumore e di segnale	459	9.5	Dalle linee di alimentazione in ca agli alimentatori non regolati	516
8.13	Limitazione della larghezza di banda e misurazioni rms della tensione	461	9.5.1	Componenti per la linea di rete in ca	518
8.13.1	Limitazione della banda	461	9.5.2	I trasformatori	520
8.13.2	Calcolo dell'integrale del rumore	463	9.5.3	Componenti in cc	521
8.13.3	"Rumore a bassa frequenza" di un operazionale con filtro asimmetrico	464	9.5.4	Alimentatori duali non regolati – sul bancone!	522
8.13.4	Determinazione della frequenza di ginocchio $1/f$	465	9.5.5	Confronto tra lineari e switch: ripple e rumore	523
8.13.5	Misurazione della tensione di rumore	467	9.6	Regolatori switching e convertitori cc-cc	523
8.13.6	Misurazione della corrente di rumore	468	9.6.1	Confronto tra regolatori lineari e switching	523
8.13.7	Un modo alternativo: sviluppare il proprio strumento a fA/\sqrt{Hz}	470	9.6.2	Topologie dei convertitori switching	525
8.13.8	Miscuglio di rumori	472	9.6.3	Convertitori switching senza induttori	525
8.14	Miglioramento del rapporto segnale-rumore mediante riduzione della banda	472	9.6.4	Convertitori e induttori: le topologie di base non isolate	527
8.14.1	Rilevamento sincrono (lock-in)	473	9.6.5	I convertitori a riduzione di tensione (buck converter)	528
8.15	Rumore sull'alimentazione	475	9.6.6	Convertitori ad aumento di tensione (boost converter)	532
8.15.1	Moltiplicatori di capacità	475	9.6.7	I convertitori invertenti	532
8.16	Interferenza, schermatura e messa a massa	476	9.6.8	Commenti sui convertitori non isolati	533
8.16.1	Segnali di interferenza	476	9.6.9	Modalità in tensione e in corrente	535
8.16.2	Masse di segnale	478	9.6.10	Convertitori con trasformatori: il progetto di base	537
8.16.3	Messa a massa tra due strumenti	479	9.6.11	Il convertitore flyback	540
Esercizi aggiuntivi		484	9.6.12	Convertitori forward	541
Il capitolo in sintesi		484	9.6.13	Convertitori a ponte	542
			9.7	Convertitori switching alimentati da una linea in ca (offline)	543
			9.7.1	Lo stadio di trasformazione in ingresso da ca a cc	543
			9.7.2	Il convertitore cc-cc	545
			9.8	Uno switcher reale	547
			9.8.1	Gli switcher: uno sguardo d'insieme	547
			9.8.2	Funzionamento di base degli switcher	547

12.5.1	Indicatori e LED	684	13.5.2	Tecnologie ADC	743
12.5.2	Diodi laser	688	13.6	ADC I: codificatori paralleli (flash)	744
12.5.3	I display	690	13.6.1	Codificatori flash modificati	746
12.6	Optoelettronica: rilevatori	694	13.6.2	Come pilotare ADC flash, folding e RF	746
12.6.1	Fotodiodi e fototransistor	695	13.6.3	Esempio di convertitore flash con sottocampionamento	748
12.6.2	I fotomoltiplicatori	695	13.7	ADC II: approssimazioni successive	748
12.7	Accoppiatori ottici e relè	696	13.7.1	Un semplice esempio di SAR	750
12.7.1	I: Accoppiatori ottici per uscita a fototransistor	696	13.7.2	Varianti delle approssimazioni successive	751
12.7.2	II: Accoppiatori ottici con uscita logica	697	13.7.3	Un esempio di conversione A/D	751
12.7.3	III: Accoppiatori ottici per pilotare i gate	698	13.8	ADC III: integratori	753
12.7.4	IV: Accoppiatori ottici orientati all'analogico	699	13.8.1	Conversione da tensione a frequenza	753
12.7.5	V: Relè a stato solido (uscita a transistor)	700	13.8.2	Integrazione a singola rampa	754
12.7.6	VI: Relè a stato solido (uscita triac/SCR)	701	13.8.3	Convertitori a integrazione	754
12.7.7	VII: Accoppiatori ottici in ca	702	13.8.4	Integrazione a doppia rampa	755
12.7.8	Interruttori	703	13.8.5	Interruttori analogici nelle applicazioni di conversione	755
12.8	Optoelettronica: connessioni digitali in fibra ottica	703	13.8.6	I "Progetti dei Maestri": i convertitori "multirampa" di punta della Agilent	757
12.8.1	TOSLINK	703	13.9	ADC IV: delta-sigma	760
12.8.2	Versatile Link	705	13.9.1	Un semplice delta-sigma per il nostro controllore di abbronzatura	760
12.8.3	Moduli per fibra di vetro ST/SC	705	13.9.2	Demistificazione del convertitore delta-sigma	761
12.8.4	Moduli completamente integrati di ricetrasmisione su fibra ad alta velocità	706	13.9.3	ADC e DAC $\Delta\Sigma$	761
12.9	Segnali digitali e cavi lunghi	706	13.9.4	Il processo $\Delta\Sigma$	762
12.9.1	Interconnessioni sulla scheda	706	13.9.5	Una digressione: la "modellazione del rumore"	764
12.9.2	Le interconnessioni tra schede	707	13.9.6	Tirando le somme	765
12.10	Come pilotare i cavi	708	13.9.7	Una simulazione	765
12.10.1	Cavi coassiali	708	13.9.8	Che cosa possiamo dire sui DAC?	767
12.10.2	Il modo corretto I: terminazione sull'estremità remota	709	13.9.9	Pro e contro dei convertitori $\Delta\Sigma$ con sovracampionamento	767
12.10.3	Cavi per coppie differenziali	713	13.9.10	Falsi toni	768
12.10.4	RS-232	719	13.9.11	Alcuni esempi applicativi dei convertitori delta-sigma	769
12.10.5	Ricapitolando	720	13.10	ADC: scelte e compromessi	774
Il capitolo in sintesi		722	13.10.1	Delta-sigma e la competizione	774
13	Il digitale incontra l'analogico	725	13.10.2	ADC a campionamento contro ADC a valor medio: il rumore	775
13.1	Alcune nozioni preliminari	725	13.10.3	Convertitori A/D a micropotenza	776
13.1.1	I parametri fondamentali delle prestazioni	725	13.11	Alcuni convertitori A/D e D/A insoliti	777
13.1.2	Codici	726	13.11.1	L'IC di misurazione multifunzione in ca ADE7753	777
13.1.3	Errori di conversione	726	13.11.2	Digitalizzatore touch-screen AD7873	779
13.1.4	Convertitori a sé stanti o integrati	726	13.11.3	ADC AD7927 con sequenziatore	779
13.2	Convertitori da digitale ad analogico	726	13.11.4	Sottosistema per misure di precisione mediante ponte AD7730	780
13.2.1	DAC basati su stringhe di resistori	726	13.12	Alcuni esempi di sistemi di conversione A/D	780
13.2.2	DAC a scala $R-2R$	728	13.12.1	Sistema di acquisizione dati a 16 canali con multiplexer	780
13.2.3	DAC a deviazione di corrente	728	13.12.2	Sistema di acquisizione dati multicanale parallelo ad approssimazioni successive	783
13.2.4	DAC moltiplicativi	729	13.12.3	Sistemi di acquisizione delta-sigma paralleli multicanale	785
13.2.5	Generazione di un'uscita in tensione	730	13.13	Anelli ad aggancio di fase	788
13.2.6	Sei DAC	731	13.13.1	Introduzione agli anelli ad aggancio di fase	788
13.2.7	DAC delta-sigma	732	13.13.2	I componenti di un PLL	789
13.2.8	PWM per la conversione digitale-analogica	732	13.13.3	Progettazione di un PLL	792
13.2.9	Convertitori frequenza-tensione	733	13.13.4	Esempio di progetto: moltiplicatore di frequenza	792
13.2.10	Moltiplicatori di frequenza	734	13.13.5	La cattura e il lock in un PLL	795
13.2.11	Come scegliere un DAC	734	13.13.6	Alcune applicazioni dei PLL	796
13.3	Alcuni esempi di applicazione dei DAC	736			
13.3.1	Generatore da laboratorio per uso generale	736			
13.3.2	Generatore a otto canali	737			
13.3.3	Generatori di corrente dell'ordine dei nanoampere ad ampia conformità	738			
13.3.4	Driver per bobine di precisione	739			
13.4	Linearità dei convertitori – un'analisi più approfondita	741			
13.5	Convertitori analogico-digitali	742			
13.5.1	Digitalizzazione: aliasing, frequenza e profondità di campionamento	742			

13.13.7	Ricapitolando: reiezione di rumore e jitter nei PLL	802			due esempi a velocità elevate	848
13.14	Generazione di sequenze pseudocasuali di bit e rumore	803			14.6.3 Altri bus paralleli dei calcolatori	849
13.14.1	Generazione di rumore digitale	803			14.6.4 Bus periferici paralleli e collegamenti dati	849
13.14.2	Sequenze da registri a scorrimento retroazionati	804	14.7		Bus seriali e collegamenti dati	850
13.14.3	Generazione di rumore analogico da sequenze a massima lunghezza	805	14.7.1		SPI	850
13.14.4	Spettro di potenza delle sequenze ottenute da un registro a scorrimento	805	14.7.2		Interfaccia a 2 fili I ² C (TWI)	851
13.14.5	Filtraggio passa-basso	807	14.7.3		Interfaccia seriale Dallas-Maxim 1-wire	853
13.14.6	In sintesi	808	14.7.4		JTAG	853
13.14.7	Generatori di rumore casuale “vero”	809	14.7.5		Il clock è sparito: ricostruzione del clock	854
13.14.8	Un “filtro digitale ibrido”	810	14.7.6		SATA, eSATA e SAS	854
Esercizi aggiuntivi		811	14.7.7		PCI Express	854
Il capitolo in sintesi		811	14.7.8		Seriale asincrona (RS-232, RS-485)	855
			14.7.9		Codifica Manchester	857
			14.7.10		Codifica bifase	857
			14.7.11		RLL binario: impaccamento dei bit	858
			14.7.12		Codifica RLL: 8b/10b e altre codifiche	858
			14.7.13		USB	858
			14.7.14		FireWire	859
			14.7.15		Controlled Area Network (CAN)	859
			14.7.16		Ethernet	861
14	Calcolatori, controllori e collegamento dati	815	14.8		Formato dei numeri	862
14.1	Architettura del calcolatore: CPU e bus dati	816	14.8.1		Interi	862
14.1.1	CPU	816	14.8.2		Numeri in virgola mobile	862
14.1.2	Memoria	816	Il capitolo in sintesi			864
14.1.3	Memoria di massa	817				
14.1.4	Grafica, rete, porte parallele e seriali	817	15		I microcontrollori	867
14.1.5	I/O in tempo reale	817	15.1		Introduzione	867
14.1.6	Bus dati	818	15.2		Esempio 1 di circuito: controllore di abbronzatura (<i>V</i>)	868
14.2	Un insieme di istruzioni di un calcolatore	818	15.2.1		Implementazione con un microcontrollore	868
14.2.1	Linguaggio assembler e linguaggio macchina	818	15.2.2		Il codice per il microcontrollore (firmware)	869
14.2.2	Insieme semplificato delle istruzioni “x86”	818	15.3		Panoramica delle più diffuse famiglie di microcontrollori	872
14.2.3	Un esempio di programmazione	821	15.3.1		Periferiche sul chip	874
14.3	Segnali dei bus e interfacciamento	821	15.4		Esempio applicativo 2: controllore di alimentazione in ca	874
14.3.1	Segnali fondamentali del bus: dati, indirizzi e sincronizzazione	822	15.4.1		Implementazione a microcontrollore	874
14.3.2	I/O a controllo di programma: invio dei dati	822	15.4.2		Il codice del microcontrollore	876
14.3.3	Programmazione del display vettoriale XY	824	15.5		Esempio applicativo 3: sintetizzatore di frequenze	877
14.3.4	I/O a controllo di programma: ricezione dei dati	825	15.5.1		Il codice del microcontrollore	879
14.3.5	I/O a controllo di programma: i registri di stato	826	15.6		Esempio applicativo 4: controllore di temperatura	880
14.3.6	I/O a controllo di programma: registri di comando	828	15.6.1		L’hardware	881
14.3.7	Interrupt	828	15.6.2		Il ciclo di controllo	884
14.3.8	Gestione degli interrupt	829	15.6.3		Codice del microcontrollore	885
14.3.9	Interrupt in generale	830	15.7		Esempio applicativo 5: piattaforma meccanica stabilizzata	887
14.3.10	Accesso diretto alla memoria	832	15.8		Integrati di periferiche per i microcontrollori	888
14.3.11	Riassunto dei segnali del bus PC104/ISA a 8 bit	833	15.8.1		Periferiche a connessione diretta	889
14.3.12	Il PC104 come calcolatore embedded a scheda singola	835	15.8.2		Periferiche con connessione SPI	891
14.4	Tipi di memoria	835	15.8.3		Periferiche con connessione I ² C	893
14.4.1	Memoria volatile e non volatile	836	15.8.4		Alcuni importanti vincoli hardware	893
14.4.2	RAM statiche e RAM dinamiche	836	15.9		Ambiente di sviluppo	895
14.4.3	RAM statiche	836	15.9.1		Software	895
14.4.4	RAM dinamiche	838	15.9.2		Vincoli della programmazione in tempo reale	896
14.4.5	Memorie non volatili	842	15.9.3		Hardware	897
14.4.6	Riepilogo sulle memorie	845	15.9.4		Il progetto Arduino	899
14.5	Altri bus e collegamenti dati: una visione d’insieme	846	15.10		Ricapitolando	899
14.6	Collegamenti e bus dati paralleli	848	15.10.1		Quando costano questi strumenti?	899
14.6.1	Interfaccia parallela tra chip “a bus” – un esempio	848	15.10.2		Quando utilizzare i microcontrollori	900
14.6.2	Collegamenti dati paralleli sui chip –	848	15.10.3		Come selezionare un microcontrollore	900
			15.10.4		Finale col botto	901
			Il capitolo in sintesi			901
			Indice analitico			903

- APPENDIX A: Math Review**
 - A.1 Trigonometry, exponentials, and logarithms
 - A.2 Complex numbers
 - A.3 Differentiation (Calculus)
- APPENDIX B: How to Draw Schematic Diamicrocontroller**
 - B.1 General principles
 - B.2 Rules
 - B.3 Hints
 - B.4 A humble example
- APPENDIX C: Resistor**
 - C.1 Some history
 - C.2 Available resistance values
 - C.3 Resistance
 - C.4 Resistor
 - C.5 Confusion
- APPENDIX D: Thévenin's Theorem**
 - D.1 The proof
 - D.2 Norton's theorem
 - D.3 Another example
 - D.4 Millman's theorem
- APPENDIX E: LC Butterworth Filters**
 - E.1 Lowpass filter
 - E.2 Highpass filter
 - E.3 Filter examples
- APPENDIX F: Load Lines**
 - F.1 An example
 - F.2 Three-terminal devices
 - F.3 Nonlinear devices
- APPENDIX G: The Curve Tracer**
- APPENDIX H: Transmission Lines and Matching**
 - H.1 Some properties of transmission lines
 - H.2 Impedance matching
 - H.3 Lumped-element delay lines and pulse-forming networks
- H.4 Epilogue: ladder derivation of characteristic impedance
- APPENDIX I: Television: A Compact Tutorial**
 - I.1 Television: video plus audio
 - I.2 Combining and sending the audio + video: modulation
 - I.3 Recording analog-format broadcast or cable television
 - I.4 Digital television: what is it?
 - I.5 Digital television: broadcast and cable delivery
 - I.6 Direct satellite television
 - I.7 Digital video streaming over Internet
 - I.8 Digital cable: premium services and conditional access
 - I.9 Recording digital television
 - I.10 Display technology
 - I.11 Video connections: analog and digital
- APPENDIX J: SPICE Primer**
 - J.1 Setting up ICAP SPICE
 - J.2 Entering a Diagram
 - J.3 Running a simulation
 - J.4 Some final points
 - J.5 A detailed example: exploring amplifier distortion
 - J.6 Expanding the parts database
- APPENDIX K: "Where Do I Go to Buy Electronic Goodies?"**
- APPENDIX L: Workbench Instruments and Tools**
- APPENDIX M: Catalogs, Magazines, Databooks**
- APPENDIX N: Further Reading and References**
- APPENDIX O: The Oscilloscope**
 - O.1 The analog oscilloscope
 - O.2 The digital oscilloscope
- APPENDIX P: Acronyms and Abbreviations**

Elenco delle tabelle principali

1.1.	Diodi rappresentativi	26	9.1.	Regolatori fissi come il 7800	495
2.1.	Transistor bipolari rappresentativi	60	9.2.	Regolatori di tensione variabili a tre terminali ("stile LM317")	497
2.2.	Transistor bipolari di potenza	87	9.3.	Regolatori lineari a bassa caduta di tensione	505
3.1.	Mini-tabella dei JFET	117	9.4.	Selezione di convertitori a pompaggio di carica	527
3.2.	Selezione di operazionali veloci con ingresso a JFET	128	9.5a.	Regolatori switching integrati in modalità tensione	537
3.3.	Interruttori analogici	144	9.5b.	Regolatori switching integrati in modalità corrente	538
3.4a.	MOSFET – a canale n piccolo (fino a 250 V) e a canale p (fino a 100 V)	154	9.6.	Controllori con interruttore esterno	539
3.4b.	MOSFET di potenza a canale n , da 55 V a 4500 V	155-157	9.7.	Riferimenti di tensione shunt (a due terminali)	557
3.5.	Candidati a interruttore MOSFET	169	9.8.	Riferimenti di tensione in serie (a tre terminali)	558
3.6.	MOSFET a canale n a svuotamento	173	9.9.	Scelta della batteria	567
3.7.	Transistor a effetto di campo a giunzione (JFET)	178	9.10.	Accumulo di energia: condensatori e batterie	567
3.8.	Driver di gate MOSFET per lato basso	179	10.1.	Selezione di famiglie logiche	581
4.1.	Parametri degli operazionali	201	10.2.	Interi con segno su 4 bit in tre diversi sistemi di rappresentazione	581
4.2a.	Amplificatori operazionali rappresentativi	223	10.3.	Porte logiche standard delle famiglie più popolari	589
4.2b.	Operazionali monolitici di potenza e ad alta tensione	224	10.4.	Identità logiche	594
5.1.	Operazionali candidati per il millivoltmetro	243	10.5.	Selezione di integrati di contatori	611
5.2.	Operazionali di precisione rappresentativi	248	10.6.	Selezione di IC di reset/supervisione	622
5.3.	Otto operazionali a bassa corrente d'ingresso	249	12.1.	Selezione di convertitori a pompaggio di carica	670
5.4.	Operazionali ad alta velocità rappresentativi	255	12.2.	Comparatori	671
5.5.	"Sette" operazionali di precisione	264-265	12.3.	Registri per logica di potenza	676
5.6.	Operazionali chopper e autoazzeranti	276	12.4.	Alcuni MOSFET protetti	680
5.7.	Selezione di amplificatori delle differenze	290	12.5.	Selezione di interruttori a tensione elevata	681
5.8.	Selezione di amplificatori per strumentazione	299	12.6.	Selezione di LED a pannello	687
5.9.	Selezione di amplificatori per strumentazione a guadagno programmabile	306	13.1.	Sei convertitori digitale-analogico	732
5.10.	Selezione di amplificatori differenziali	309	13.2.	Selezione di convertitori D/A	735
6.1.	Confronto delle prestazioni nel dominio del tempo di filtri passa-basso	334	13.3.	Convertitori D/A a moltiplicazione	735
6.2.	Filtri passa-basso VCVS	336	13.4.	Selezione di convertitori A/D veloci	745
7.1.	Oscillatori di tipo 555	354	13.5.	Selezione di convertitori A/D ad approssimazioni successive	750
7.2.	Tipi di oscillatori	372	13.6.	Selezione di convertitori A/D a micropotenza	751
7.3.	Multivibratori monostabili	381	13.7.	Interruttori SPDT "tipo 4053"	756
7.4.	Temporizzazione con monostabile "tipo '123"	381	13.8.	ADC Multislope III della Keysight	759
8.1a.	BJT a basso rumore	412	13.9.	Selezione di convertitori A/D delta-sigma	771
8.1b.	BJT a basso rumore doppi	413	13.10.	Selezione di convertitori A/D delta-sigma audio	773
8.2.	JFET a basso rumore	424	13.11.	Selezione di convertitori A/D audio	775
8.3a.	Amplificatori operazionali con ingresso a BJT a basso rumore	429	13.12.	Convertitori A/D speciali	777
8.3b.	Amplificatori operazionali con ingresso a FET a basso rumore	430	13.13.	Selezione di convertitori PLL	802
8.3c.	Amplificatori operazionali ad alta velocità e a basso rumore	431	13.14.	LFSR con singolo bit di retroazione	805
8.4.	Integrali di rumore	462	13.15.	LFSR multiple di 8	805
8.5.	Misurazioni di rumore con zero automatico	468	14.1.	Insieme semplificato delle istruzioni x86	819
			14.2.	I segnali del bus PC104/ISA	834
			14.3.	Bus e collegamenti dati comuni	847
			14.4.	Segnali RS-232	856
			14.5.	Codici ASCII	856