

Prefazione

Il presente volume è una raccolta di esercitazioni svolte in aula e di prove scritte assegnate, in passato, nel corso di Elettronica D (Laurea D.M. 509/99) ed attualmente nel corso di Elettronica II (Laurea D.M. 270/04) presso la Facoltà di Ingegneria “Enzo Ferrari” dell’Università di Modena e Reggio Emilia.

L’impostazione del testo è metodologica con lo scopo di rendere il lettore capace di risolvere circuiti nuovi utilizzando il metodo proposto nel presente testo.

A differenza di molti testi dedicati all’elettronica digitale dove la trattazione rimane in buona parte, se non interamente, a livello di porta logica, il presente eserciziario affronta i circuiti digitali a livello transistorore.

Tutti i circuiti presentati sono basati sull’impiego di transistori MOSFET; è stato scelto di non impiegare transistori bipolari. Del transistorore MOSFET è stato adottato il modello di Harold Shichman e David Hodges. Sebbene, stanti le odierne scale di integrazione impiegate nella tecnologia microelettronica, questo modello risulti non quantitativamente predittivo esso offre l’indiscutibile vantaggio di rendere possibile l’analisi manuale del circuito permettendo di giungere alla stesura di espressioni matematiche che possano essere impiegate quali equazioni di progetto. Benché queste equazioni non possano avere la pretesa di essere numericamente predittive, in quanto frutto dell’adozione di modelli semplificati, esse offrono non di meno l’indubbio vantaggio di descrivere la dipendenza che una data figura di merito ha (per esempio la tensione di soglia di un invertitore statico CMOS) dai parametri di progetto disponibili al progettista (per esempio i rapporti di forma dei due transistori nell’invertitore statico CMOS). Durante la progettazione al calcolatore con modelli reali di fonderia, dette equazioni di progetto si offrono al progettista come una linea guida utile per orientarsi nelle scelte di progetto necessarie al corretto dimensionamento del circuito.

Per tale ragione nel presente eserciziario viene data grande rilevanza al raggiungimento di espressioni analitiche. Il lettore è accompagnato in modo dettagliato nello svolgimento dei calcoli nella convinzione che nonostante calcolatori e simulatori “il saper far di conto” sia parte fondamentale della formazione di un ingegnere.

Propedeutico agli esercizi veri e propri è il Capitolo 1 il cui scopo è quello di richiamare il funzionamento del condensatore e del transistorore MOSFET e di introdurre il metodo di analisi, che accompagnerà il lettore nella risoluzione dei circuiti proposti.

Il condensatore è un bipolo trattato con il concetto di impedenza nei circuiti analogici lineari tempo invarianti. Il passaggio a circuiti tempo invarianti ma non-lineari con memoria, quali sono i circuiti digitali affrontati nel presente eserciziario, rende l’impiego del concetto di funzione di trasferimento non utilizzabile a meno di non voler ricorrere al complesso strumento matematico delle serie di Volterra. Nel contesto di un eserciziario per la Laurea triennale, risulta più sensato studiare il comportamento dei circuiti nel dominio

del tempo, nel quale, in presenza di non-linearità, il condensatore può dare luogo a due fenomeni: l'effetto boot-strap e l'effetto charge sharing. All'approfondimento ed alla discussione di questi due effetti è dedicata la prima parte del Capitolo 1.

In seguito viene richiamato il funzionamento del transistor MOSFET facendo esclusivamente riferimento alla sua descrizione ai morsetti. Si è infatti ritenuto che, da un lato, la descrizione qualitativa del funzionamento fisico del MOSFET sia già stata acquisita in corsi precedenti (presso la Facoltà di Ingegneria "Enzo Ferrari": Elettronica B nello schema di Laurea D.M. 509/99 e Elettronica I nello schema di Laurea D.M. 270/04) e dall'altro che una descrizione rigorosa della fisica del MOSFET sia un argomento da demandare ad una Laurea Magistrale.

Il Capitolo 1 si chiude con l'introduzione del metodo che verrà impiegato nel corso dell'intero eserciziaro; al fine di rendere più chiaro l'impiego di tale metodo esso viene subito applicato all'invertitore CMOS statico, un circuito già noto al lettore, in quanto affrontato in precedenti corsi (presso la Facoltà di Ingegneria "Enzo Ferrari": Elettronica B nello schema di Laurea D.M. 509/99 e Elettronica I nello schema di Laurea D.M. 270/04). In questo modo, si è voluto fare sì che l'attenzione del lettore si possa focalizzare sull'assimilazione del metodo piuttosto che sulla comprensione del funzionamento del circuito in sé.

I successivi quattro capitoli raccolgono sedici esercizi così organizzati: quattro multivibratori bistabili nel Capitolo 2, quattro trigger di Schmitt nel Capitolo 3, quattro multivibratori monostabili nel Capitolo 4 e quattro multivibratori astabili nel Capitolo 5. Vale la pena qui osservare che tutti questi tipi di circuiti devono il loro particolare comportamento alla presenza di retroazione.

Per ogni circuito l'analisi manuale è seguita dal confronto con simulazioni condotte con il simulatore ADS di Agilent Technologies. Per rendere confrontabili l'analisi manuale e la simulazione, nella simulazione non si sono impiegati modelli di fonderia, quali quelli che si possono trovare in un design-kit, ma si è utilizzato lo stesso modello semplificato del transistor MOSFET utilizzato nell'analisi manuale.

Non è possibile chiudere questa prefazione senza esprimere un sentito ringraziamento a tutti gli studenti che nel corso degli anni, in aula o in occasione degli orari di ricevimento, con i loro commenti ed osservazioni hanno permesso di sintetizzare l'approccio metodologico presentato nel presente volume.

Si desidera inoltre ringraziare Agilent Technologies per avere fornito le licenze educational impiegate per le simulazioni riportate nel presente volume.

E' con la speranza che l'approccio proposto nel presente eserciziaro possa risultare proficuo anche a te, lettore, che ti lascio ad incominciare l'opera.

Modena, 09/01/2012

Mattia Borgarino

Indice

Capitolo 1:	Gli Elementi	1
Capitolo 2:	Multivibratori bistabili	3
Capitolo 3:	Trigger di Schmitt	
Capitolo 4:	Multivibratori monostabili	12
Capitolo 5:	Multivibratori astabili	16