

CIRCUITI COMBINATORI

Introduzione all'Elettronica Digitale

10 gennaio 2026

Indice

1	Introduzione all'Elettronica Digitale	2
1.1	Cosa sono i Circuiti Digitali?	2
1.2	Tecnologie di Realizzazione	2
1.3	Cosa Studieremo	2
2	Porte Logiche	3
2.1	Porte Logiche Fondamentali	3
2.1.1	Porta NOT (Invertitore)	3
2.2	Circuiti Integrati TTL Comuni	3
2.3	Corrispondenze TTL-CMOS	4
2.4	Codici Binari Comuni	4
2.5	Leggi di De Morgan	4
2.6	Teoremi dell'Algebra di Boole	5
3	Glossario dei Termini	6
4	Conclusioni	8
4.1	Cosa Abbiamo Imparato	8
4.2	L'Importanza dei Circuiti Combinatori	8
4.3	Prossimi Passi	8
4.4	Consigli per lo Studio	9
4.5	Risorse Aggiuntive	9
4.6	Riflessione Finale	10

1 Introduzione all'Elettronica Digitale

L'elettronica digitale rappresenta uno dei pilastri fondamentali della tecnologia moderna. Tutti i dispositivi che utilizziamo quotidianamente - smartphone, computer, console per videogiochi - si basano su circuiti digitali. Ma cosa sono esattamente?

1.1 Cosa sono i Circuiti Digitali?

Un circuito digitale è un sistema elettronico che elabora informazioni rappresentate in forma binaria, cioè utilizzando solo due valori: **0** e **1**. Questi valori corrispondono a due diversi livelli di tensione:

- **Livello logico "0"**: corrisponde a 0 Volt (tensione bassa)
- **Livello logico "1"**: corrisponde a +5 Volt (tensione alta)

I circuiti digitali possono essere classificati in due grandi categorie:

1. **Circuiti Combinatori**: l'uscita dipende solo dallo stato presente degli ingressi
2. **Circuiti Sequenziali**: l'uscita dipende sia dagli ingressi attuali che dalla "storia" precedente (hanno memoria)

In questa dispensa ci concentreremo sui *circuiti combinatori*.

1.2 Tecnologie di Realizzazione

I circuiti digitali vengono realizzati utilizzando principalmente due tipi di transistor:

- **BJT (Bipolar Junction Transistor)**: utilizzati nella famiglia logica TTL (Transistor-Transistor Logic), alimentati a 5V
- **MOSFET**: utilizzati nella famiglia logica CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), possono operare con diverse tensioni di alimentazione

Le logiche CMOS sono oggi le più diffuse grazie al loro bassissimo consumo energetico, mentre le logiche TTL sono ormai utilizzate in una piccola fetta del mercato.

1.3 Cosa Studieremo

In questo documento esploreremo i principali circuiti combinatori:

- Porte logiche fondamentali
- Codificatori e decodificatori
- Multiplexer e demultiplexer
- Comparatori
- Sommatore binari

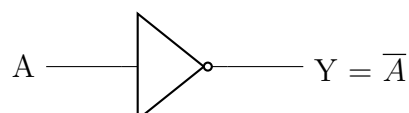
2 Porte Logiche

Le porte logiche sono i "mattoni" elementari con cui vengono costruiti tutti i circuiti digitali. Ogni porta logica esegue una semplice operazione su uno o più ingressi binari, producendo un'uscita binaria.

2.1 Porte Logiche Fondamentali

2.1.1 Porta NOT (Invertitore)

La porta NOT è la più semplice: inverte il valore dell'ingresso.



A	Y
0	1
1	0

Tabella 1: Porte logiche fondamentali

2.2 Circuiti Integrati TTL Comuni

Codice	Tipo	Descrizione
7404	Porte NOT	6 invertitori
7408	Porte AND	4 porte AND a 2 ingressi
7432	Porte OR	4 porte OR a 2 ingressi
7486	Porte XOR	4 porte XOR a 2 ingressi
74147	Codificatore	Decimale-BCD con priorità
74148	Codificatore	Ottale-binario (8 a 3) con priorità
7442	Decodificatore	BCD-decimale
74138	Decoder/DMUX	3 a 8 linee con enable
74154	Decoder/DMUX	4 a 16 linee
7446/7447	Decoder-driver	BCD a 7 segmenti (anodo comune)
7448	Decoder-driver	BCD a 7 segmenti (catodo comune)
74157	Multiplexer	Quad 2 a 1
74153	Multiplexer	Doppio 4 a 1
74151	Multiplexer	8 a 1 con uscite complementari
74150	Multiplexer	16 a 1
7485	Comparatore	4 bit con uscite $A=B$, $A < B$, $A > B$
7482	Sommatore	2 bit con ripple carry
7483	Sommatore	4 bit con fast carry

Tabella 2: Circuiti integrati TTL più comuni

2.3 Corrispondenze TTL-CMOS

TTL	CMOS (74HC)	CMOS (4000)
7404	74HC04	CD4069
7408	74HC08	CD4081
7432	74HC32	CD4071
74147	74HC147	-
74138	74HC138	-
7442	74HC42	CD4028
7485	74HC85	-
7483	74HC83	CD4008

Tabella 3: Equivalenze tra famiglie logiche

2.4 Codici Binari Comuni

Decimale	Binario	BCD	Ottale
0	0000	0000	0
1	0001	0001	1
2	0010	0010	2
3	0011	0011	3
4	0100	0100	4
5	0101	0101	5
6	0110	0110	6
7	0111	0111	7
8	1000	1000	10
9	1001	1001	11
10	1010	0001 0000	12
11	1011	0001 0001	13
12	1100	0001 0010	14
13	1101	0001 0011	15
14	1110	0001 0100	16
15	1111	0001 0101	17

Tabella 4: Sistemi di numerazione comuni

2.5 Leggi di De Morgan

Le leggi di De Morgan sono fondamentali per la semplificazione dei circuiti:

$$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B} \quad (1)$$

$$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B} \quad (2)$$

In parole:

- La negazione di un OR è l'AND delle negazioni

- La negazione di un AND è l'OR delle negazioni

Esempio applicativo:

$$\overline{A + B + C} = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \quad (3)$$

2.6 Teoremi dell'Algebra di Boole

Teorema	Equazione	Nome
Identità	$A \cdot 1 = A$	Elemento neutro AND
	$A + 0 = A$	Elemento neutro OR
Annullamento	$A \cdot 0 = 0$	
	$A + 1 = 1$	
Idempotenza	$A \cdot A = A$	
	$A + A = A$	
Complemento	$A \cdot \overline{A} = 0$	
	$A + \overline{A} = 1$	
Doppia negazione	$\overline{\overline{A}} = A$	
Commutativa	$A \cdot B = B \cdot A$	
	$A + B = B + A$	
Associativa	$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$	
	$(A + B) + C = A + (B + C)$	
Distributiva	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$	
	$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$	
Assorbimento	$A + A \cdot B = A$	
	$A \cdot (A + B) = A$	

Tabella 5: Principali teoremi dell'algebra di Boole

3 Glossario dei Termini

ALU (Arithmetic Logic Unit): Unità aritmetico-logica, il "cuore" computazionale di un processore.

Attivo alto/basso: Un segnale è "attivo alto" quando il livello logico attivo è 1 (tensione alta), "attivo basso" quando è 0 (tensione bassa).

BCD (Binary Coded Decimal): Codice decimale codificato in binario, dove ogni cifra decimale è rappresentata da 4 bit.

Bit: Binary digit, la più piccola unità di informazione (0 o 1).

BJT (Bipolar Junction Transistor): Transistor bipolare a giunzione, usato nelle logiche TTL.

Carry (Riporto): Bit che viene trasportato alla posizione successiva in un'operazione aritmetica.

Cascata: Collegamento in serie di più circuiti per espandere le capacità.

Chip Select (CS): Segnale che seleziona/abilita un particolare circuito integrato.

CMOS: Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, tecnologia a bassissimo consumo.

Codificatore (Encoder): Circuito che converte informazioni in codice binario.

Comparatore: Circuito che confronta due numeri o parole digitali.

Decodificatore (Decoder): Circuito che converte un codice binario in segnali di controllo.

Demultiplexer (DMUX): Circuito che distribuisce un segnale su più linee di uscita.

Display a 7 segmenti: Dispositivo di visualizzazione composto da 7 LED che formano le cifre.

Enable: Segnale di abilitazione che attiva/disattiva un circuito.

Fan-out: Numero di ingressi che un'uscita può pilotare senza degradare le prestazioni.

Full Adder: Sommatore completo che considera anche il riporto entrante.

Half Adder: Semi-sommatore che non considera il riporto entrante.

IC (Integrated Circuit): Circuito integrato, chip che contiene molti componenti elettronici.

LED (Light-Emitting Diode): Diodo emettitore di luce.

Livello logico: Valore binario rappresentato da un livello di tensione (alto o basso).

Look-Ahead Carry: Tecnica per generare i riporti simultaneamente nei sommatore.

LSB (Least Significant Bit): Bit meno significativo, quello di peso minore.

MOSFET: Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, usato nelle logiche CMOS.

MSB (Most Significant Bit): Bit più significativo, quello di peso maggiore.

Multiplexer (MUX): Circuito che seleziona uno tra più ingressi e lo trasferisce all'uscita.

Pin-out (Piedinatura): Disposizione e funzione dei piedini di un circuito integrato.

Porta logica: Circuito elementare che esegue una funzione logica (AND, OR, NOT, ecc.).

Priorità: In un codificatore, determina quale ingresso viene codificato quando più sono attivi.

Ripple: Propagazione sequenziale di un segnale attraverso più stadi.

Sommatore: Circuito che esegue l'addizione di numeri binari.

Strobe: Segnale di sincronizzazione o abilitazione.

Tabella di verità: Tabella che elenca tutte le combinazioni di ingressi e le corrispondenti uscite.

Three-state (Tri-state): Uscita che può assumere tre stati: alto, basso e alta impedenza.

Tempo di propagazione: Tempo necessario per un cambiamento dell'uscita dopo una variazione degli ingressi.

TTL: Transistor-Transistor Logic, famiglia logica basata su transistor bipolari.

4 Conclusioni

4.1 Cosa Abbiamo Imparato

In questa dispensa abbiamo esplorato il mondo dei **circuiti combinatori**, i componenti fondamentali dell'elettronica digitale moderna. Abbiamo visto come:

- Le **porte logiche** siano i mattoni elementari di ogni circuito digitale
- I **codificatori** convertano informazioni in forma binaria compatta
- I **decodificatori** traducano codici binari in segnali utilizzabili
- I **multiplexer e demultiplexer** gestiscano efficientemente il flusso dei dati
- I **comparatori** permettano di confrontare numeri binari
- I **sommatori** eseguano operazioni aritmetiche fondamentali

4.2 L'Importanza dei Circuiti Combinatori

I circuiti combinatori sono ovunque nella tecnologia moderna:

- Nel tuo smartphone, che gestisce milioni di operazioni al secondo
- Nel computer che stai usando per studiare
- Nelle automobili moderne, nei sistemi di controllo elettronico
- Negli elettrodomestici intelligenti
- Nei sistemi di telecomunicazione

Comprendere questi circuiti significa comprendere i fondamenti della rivoluzione digitale.

4.3 Prossimi Passi

Dopo aver studiato i circuiti combinatori, il percorso naturale prosegue con:

1. **Circuiti Sequenziali:** che introducono il concetto di memoria
 - Flip-flop e latch
 - Registri
 - Contatori
 - Macchine a stati finiti
2. **Memorie:** per l'archiviazione dei dati
 - RAM (Random Access Memory)
 - ROM (Read-Only Memory)
 - Flash memory

3. **Microprocessori:** l'integrazione completa

- Architettura dei processori
- Set di istruzioni
- Pipeline e parallelismo

4. **Progettazione digitale avanzata:**

- VHDL e Verilog (linguaggi di descrizione hardware)
- FPGA (Field-Programmable Gate Array)
- ASIC (Application-Specific Integrated Circuit)

4.4 Consigli per lo Studio

Per padroneggiare l'elettronica digitale:

1. **Pratica, pratica, pratica:** Disegna circuiti, risolvi esercizi, simula il funzionamento
2. **Costruisci progetti reali:** Usa breadboard e circuiti integrati reali per vedere come funzionano nella pratica
3. **Utilizza software di simulazione:**
 - Logisim (gratuito, ottimo per iniziare)
 - CircuitMaker
 - Multisim
4. **Studia i datasheet:** Impara a leggere le specifiche tecniche dei componenti reali
5. **Collega teoria e pratica:** Ogni concetto teorico ha applicazioni pratiche concrete

4.5 Risorse Aggiuntive

Per approfondire:

- **Libri consigliati:**
 - "Digital Design" di M. Morris Mano
 - "Digital Fundamentals" di Thomas L. Floyd
 - "Contemporary Logic Design" di Randy H. Katz
- **Siti web utili:**
 - All About Circuits (tutorial gratuiti)
 - Electronics Tutorials
 - SparkFun Learn
- **Video corsi:**
 - Khan Academy - Electrical Engineering
 - MIT OpenCourseWare
 - YouTube channels specializzati

4.6 Riflessione Finale

L'elettronica digitale è una disciplina affascinante che combina teoria matematica, ingegneria pratica e creatività. Ogni circuito che abbiamo studiato rappresenta una soluzione elegante a un problema specifico.

Ricorda che i giganti dell'informatica - da Alan Turing a Steve Wozniak - hanno iniziato proprio da qui, comprendendo i circuiti logici elementari e costruendo su queste basi sistemi sempre più complessi.

La tecnologia che usiamo oggi è il risultato dell'applicazione intelligente di questi principi fondamentali. Comprendere i circuiti combinatori significa avere le chiavi per capire, progettare e innovare nel mondo digitale.

Buono studio e buon viaggio nel mondo dell'elettronica digitale!

Note per l'Insegnante

Questa dispensa è stata progettata per essere:

- Accessibile a studenti di scuola superiore
- Ricca di esempi pratici e analogie
- Progressiva nella difficoltà
- Completa ma non eccessivamente tecnica

Si consiglia di integrare lo studio con:

- Esercitazioni pratiche in laboratorio
- Simulazioni al computer
- Progetti di gruppo
- Verifiche progressive della comprensione