

I CMOS ad alta velocità

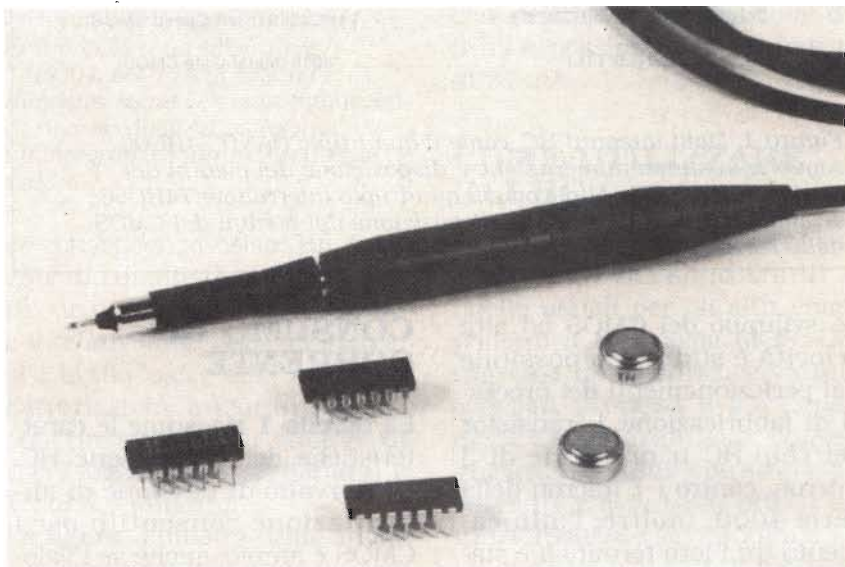
I circuiti integrati delle famiglie HC e 74LS

Un passo fondamentale nella progettazione di un circuito elettronico è la scelta della famiglia di integrati da utilizzare; in generale si tratta di optare per la tecnologia TTL o per quella CMOS, ognuna delle quali presenta vantaggi e svantaggi.

I TTL sono ben noti da anni e sono facilmente reperibili; ma i progettisti stanno facendo un uso sempre maggiore dei CMOS, a causa del loro basso consumo, della ampia gamma di tensioni di alimentazione e della elevata immunità al rumore. I CMOS della popolare serie 4000 offrono tutti questi vantaggi, ma non senza qualche inconveniente.

Per ottenere la massima velocità di funzionamento e la massima immunità al rumore i CMOS serie 4000 vanno alimentati con una tensione compresa tra 9 e 15 volt, che non è pratica quanto i 5 volt richiesti dai TTL. Inoltre, anche alimentati a tensione più alta, i 4000 rimangono comunque relativamente lenti: il ritardo di propagazione dei segnali attraverso gli integrati è parecchie volte superiore rispetto ai TTL. In rapporto ai TTL, i CMOS 4000 hanno una bassa capacità di pilotaggio in uscita.

Il progettista deve anche abituarsi a una nuova serie di sigle e a una diversa disposizione dei piedini. Si può eliminare



quest'ultimo problema scegliendo i CMOS della famiglia 74C, che seguono la siglatura e la disposizione dei terminali dei TTL; ma anche questi integrati sono relativamente lenti e con bassa capacità di pilotaggio.

Gli integrati CMOS della famiglia HC, o ad alta velocità, eliminano questi inconvenienti offrendo anche alcuni vantaggi non disponibili in altre famiglie, logiche. In questo articolo esamineremo le caratteristiche dei CMOS della serie HC.

LA TECNOLOGIA HC

Gli HC sono caratterizzati dal basso consumo di corrente e dalla elevata immunità al ru-

more tipica dei CMOS; parecchi HC seguono la numerazione e hanno la stessa funzione e la stessa disposizione dei terminali dei corrispondenti TTL. Attualmente, nella serie HC sono disponibili tutte le funzioni dei TTL: porte logiche, flip-flop, contatori, decodificatori, codificatori e così via. Inoltre tra gli HC troviamo alcuni dispositivi in precedenza esistenti solo tra i CMOS 4000, come il popolare interruttore analogico 4066 che, nella serie HC, è siglato 74HC4066.

In **figura 1** è illustrata la corrispondenza tra alcuni integrati di diverse famiglie; ma alcune funzioni degli HC sono uniche, come nel caso del modem 74HC943.

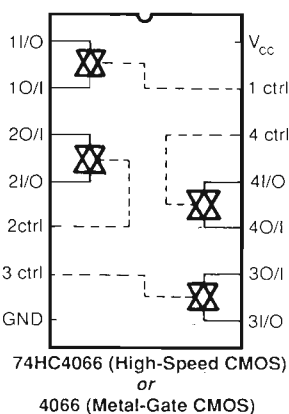
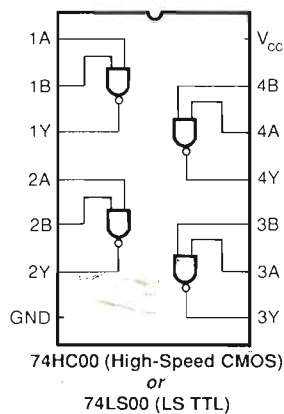


Figura 1. Molti integrati HC, come il quadruplo NAND 74HC00, seguono la stessa numerazione e disposizione dei piedini dei corrispondenti TTL. Altri, come il quadruplo interruttore 74HC66, seguono la numerazione e la disposizione dei piedini dei CMOS della serie 4000.

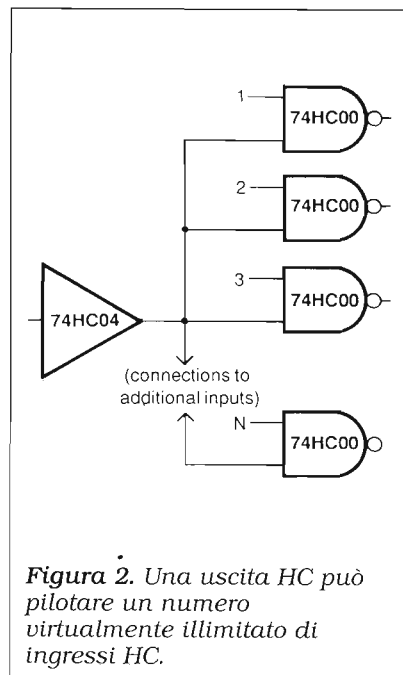


Figura 2. Una uscita HC può pilotare un numero virtualmente illimitato di ingressi HC.

Lo sviluppo dei CMOS ad alta velocità è stato reso possibile dai perfezionamenti dei processi di fabbricazione: i transistor dei chip HC hanno porte di 3 micron, contro i 7 micron della serie 4000; inoltre, l'allineamento tra i loro terminali è stato migliorato. Questi progressi hanno permesso di aumentare il guadagno dei dispositivi e allo stesso tempo di ridurre le capacità parassite, cioè le inevitabili capacità indesiderate presenti tra le diverse strutture dell'integrato. Ne sono risultati componenti con superiore velocità operativa, unita a un consumo inferiore.

CONSUMO DI CORRENTE

La **tabella 1** riassume le caratteristiche dei CMOS serie HC. L'intervallo di tensione di alimentazione consentito per i CMOS è ampio, anche se i valori consigliati sono compresi tra 2 e 6 volt. Il basso valore minimo rende i CMOS gli integrati ideali per l'uso in circuiti alimentati a batterie.

Il consumo a riposo (con tutti gli ingressi collegati a massa o a V_{cc} e le uscite aperte) è trascurabile: soli 25 microwatt per porta logica. I CMOS, HC compresi, assorbono potenza solo durante le

commutazioni: maggiore la frequenza di lavoro, più numerose le transizioni di stato e quindi maggiore la potenza richiesta.

Il consumo degli HC non raggiunge quello dei TTL della famiglia 74LS ("LS" sta per "low-power Schottky") se non a diversi megahertz di frequenza. Una tipica porta HC alimentata a 5 V assorbe solamente 0,1 mW a 100 kHz; tale valore diviene 1 mW a 1 MHz e 10 mW a 10 MHz. Bisogna però tenere presente che questi sono valori medi: un integrato che si trova in stato di attesa (*idle*) per gran parte del tempo avrà una bassa frequenza operativa media, anche se funziona ad alta velocità nei momenti di lavoro.

Ridotto consumo di corrente significa necessità di alimentatori meno potenti e con minor bisogno di raffreddamento (alette e ventole). Dato che la temperatura raggiunta dagli HC è inferiore che in altri integrati, la loro affidabilità è maggiore. Quindi il costo complessivo dei dispositivi basati sugli HC si riduce: gli integrati sono leggermente più

Tabella 1. Caratteristiche dei CMOS ad alta velocità.

Tensione di alimentazione	2 ÷ 6 V_{cc}
Consumo di corrente	
• consumo a riposo, per porta	25 μ W
• consumo per porta: a 100 Hz	0,1 mW
a 1 MHz	1 mW
a 10 MHz	10 mW
Velocità operativa	Come i LSTTL
Ritardo di propagazione	8 ns
Margine di immunità al rumore (a 4,5 V)	1,4 (livello alto)
Capacità di pilotaggio in uscita	4 mA
Temperatura di funzionamento	-40° ÷ + 85°C

cari, ma il risparmio sull'alimentazione è considerevole.

INGRESSI E USCITE

A causa dell'elevata impedenza di ingresso, le richieste di corrente di ingresso degli HC sono molto basse, con una media inferiore a $1 \mu\text{A}$ per porta logica. La corrente di uscita è di 4 mA , sia in emissione sia in assorbimento, e raggiunge i 6 mA nelle uscite di pilotaggio linee (*bus-driver outputs*), con un massimo assoluto di 25 mA . I LS-TTL sono meno flessibili, poiché possono assorbire, ma non emettere, 4 mA .

Non esistono virtualmente limiti per il pilotaggio di integrati HC da parte di altri HC (*fan-out*): in **figura 2** si nota come a un HC si possano collegare tutti gli ingressi HC desiderati. I livelli di stato logico in ingresso variano in relazione alla tensione di alimentazione. La differenza di potenziale massima che viene considerata con sicurezza come stato logico basso è di $0,2 \text{ V}$, mentre quella minima che viene interpretata come stato logico alto è di $0,7 \text{ V}$. Con alimentazione a 5 V , gli ingressi inferiori a 1 V sono a livello basso, quelli superiori a $3,5 \text{ V}$ sono a livello alto: ma con alimentazione a 2 V , il livello basso deve essere inferiore a $0,4 \text{ V}$ e quello alto superiore a $1,4 \text{ V}$. La tensione di uscita può variare in una gamma estesa, da $0,1 \text{ V}$ fino a V_{cc} ; i segnali di uscita hanno transizioni molto nette. Queste caratteristiche di ingresso e uscita determinano una elevata immunità al rumore. In un circuito a 5 V , per esempio, il massimo livello logico basso di uscita è di $0,1 \text{ V}$, ma qualsiasi tensione di ingresso fino a 1 V viene considerata come livello logico basso;

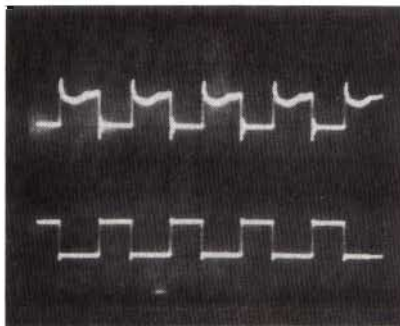


Figura 3. La traccia superiore è un'onda quadra affetta da rumore in ingresso a un invertitore 74HC04. La traccia inferiore dimostra come l'elevata immunità al rumore degli HC consenta all'integrato di fornire un'uscita pulita.

di conseguenza esiste un margine di rumore di almeno $0,9 \text{ V}$ tra un'uscita HC a livello basso e il relativo ingresso. Gli ingressi a livello logico alto hanno caratteristiche ancora migliori, con un margine di rumore di $1,4 \text{ V}$ tra V_{out} ($4,9 \text{ V}$ minimi) e V_{in} ($3,5 \text{ V}$ minimi).

La **figura 3** illustra come anche un considerevole quantitativo di rumore in ingresso non altera l'uscita di un HC.

VELOCITÀ OPERATIVA

A $4,5 \text{ V}$, il ritardo di propagazione di un HC è di 8 nanosecondi , comparabile con quello dei LS-TTL e tre volte inferiore a un CMOS della serie 4000 funzionante a 15 V ; pertanto gli HC possono essere impiegati a velocità fino a 40 MHz . Il ritardo di propagazione varia in rapporto alla tensione; ad esempio, con alimentazione a 2 V , il tempo aumenta a 22 ns .

Esiste qualche ragione per cui non impiegare gli HC? La loro rapida velocità di commutazione implica la generazione di più impulsi di rumore ad alta frequenza rispetto alla serie

4000; per questo motivo, la stabilizzazione della tensione di alimentazione e il disaccoppiamento diventano più critici.

Allo stesso tempo, in applicazioni a velocità veramente elevate, i TTL Schottky, identificati dal prefisso 74S, sono due volte più rapidi degli HC. La nuova generazione degli HC, gli ACL (Advanced CMOS Logic), ne migliora le caratteristiche, con ritardo di propagazione di 3 ns e possibilità di pilotaggio di 24 mA .

COME UTILIZZARE GLI HC

Le precauzioni da adottare nell'uso degli HC sono simili a quelle usuali per gli altri componenti a tecnologia MOS. Gli ingressi non utilizzati vanno collegati a massa o a V_{cc} , per evitare oscillazioni con conseguente maggior consumo di corrente e eventuali difetti di funzionamento del circuito.

La maggior parte degli ingressi e delle uscite degli HC è protetta da reti diodi-resistenza contro le scariche elettrostatiche; ciò nonostante, è buona norma maneggiare con attenzione questi integrati per non danneggiarli.

Come con altri integrati CMOS, non bisogna collegare gli ingressi a tensioni superiori a V_{cc} o inferiori al potenziale di massa; in caso contrario, il flusso di corrente attraverso i diodi di protezione può bruciare l'integrato. Per non incorrere in questi rischi, è bene limitare a 20 milliamper o meno le correnti di ingresso.

Questo accorgimento è particolarmente importante nel caso di ingressi collegati a circuiti esterni, come un generatore di segnali. Ci si può infatti dimenticare acceso il generatore dopo

aver spento il circuito CMOS; in tal caso le resistenze di limitazione di corrente in serie agli ingressi impediranno pericolosi sovraccarichi.

Un'altra considerazione in comune con gli altri CMOS è che gli impulsi di temporizzazione devono avere fianchi di salita e di discesa ripidi: sono consigliabili 0,5 microsecondi o meno a 4,5 V. In questo modo si eviteranno oscillazioni in uscita o false attivazioni dovute al rumore generato durante transizioni troppo lente del segnale di ingresso. Quando questo è inevitabilmente caratterizzato da cambiamenti lenti, come nel caso della rampe prodotte dalle reti di temporizzazione RC, si può utilizzare un trigger di Schmitt come il 74HC14 per

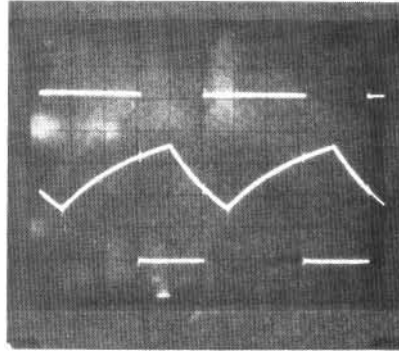


Figura 4. Un trigger di Schmitt, come il 74HC14, squadra una tensione in lento cambiamento applicata all'ingresso dello HC. L'onda triangolare al centro è quella applicata all'ingresso dell'invertitore; l'onda quadra sovrapposta è l'uscita dell'invertitore, dotata dei ripidi fianchi di salita e discesa richiesti dagli HC.

squadrarlo (vedi **figura 4**). Numerosi integrati HC, come i 74HC73, 74HC107, 74HC109 e 74HC112, sono già dotati di squadratore. La tensione di alimentazione, che come abbiamo visto può variare entro un'ampia gamma, deve però essere accuratamente stabilizzata e disaccoppiata per ridurre al minimo gli impulsi di rumore provocati dalle rapide commutazioni degli HC, che possono provocare interferenze a radiofrequenza e false attivazioni degli integrati. Come regola generale, usate un condensatore elettrolitico da 10 a 50 μF per disaccoppiare l'alimentazione, insieme a un condensatore da 10.000 pF ogni 2-5 integrati e uno da 100.000 pF ogni 10 integrati per minimizzare il rumore.

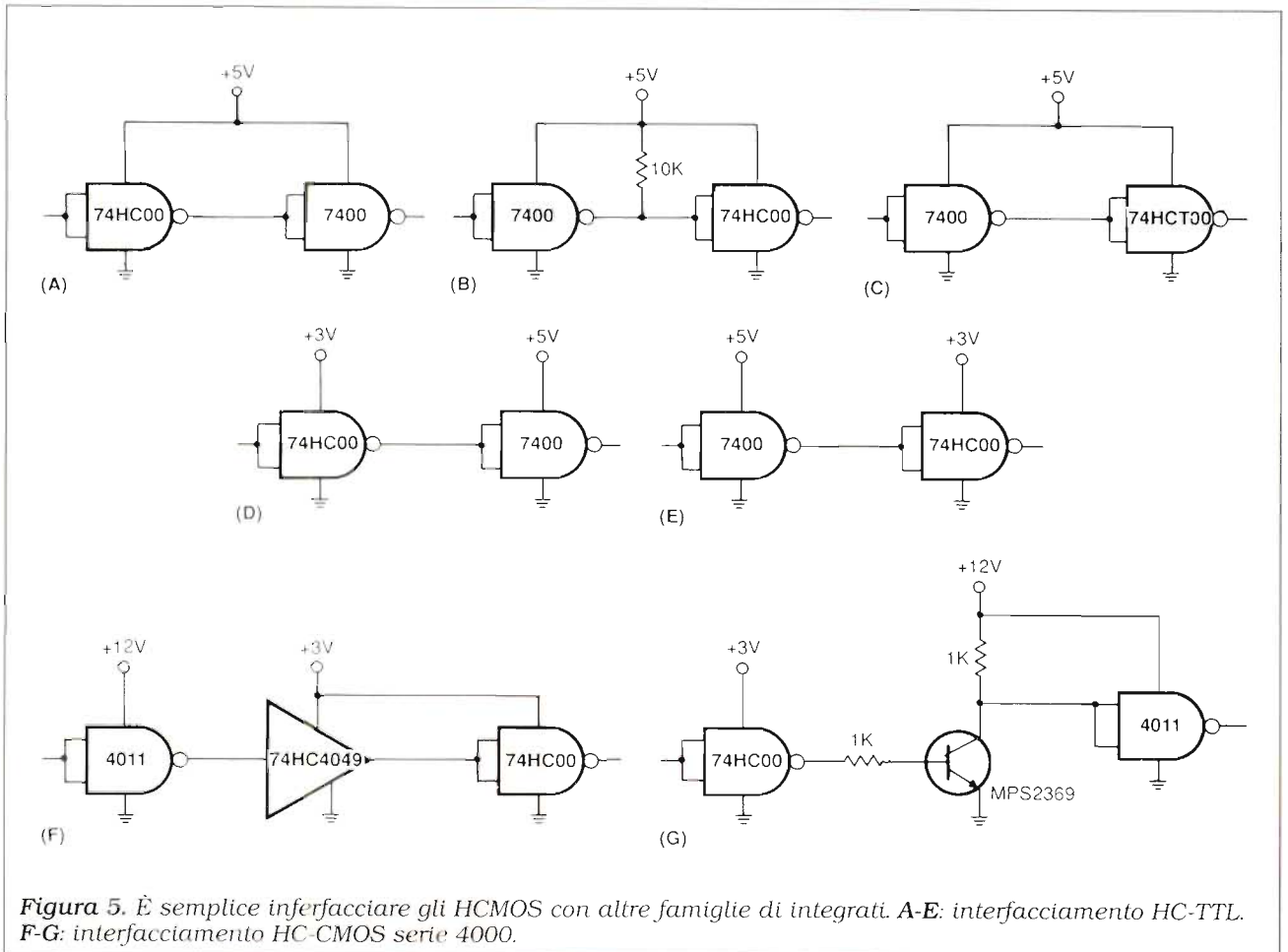


Figura 5. È semplice interfacciare gli HCMOS con altre famiglie di integrati. A-E: interfacciamento HC-TTL. F-G: interfacciamento HC-CMOS serie 4000.

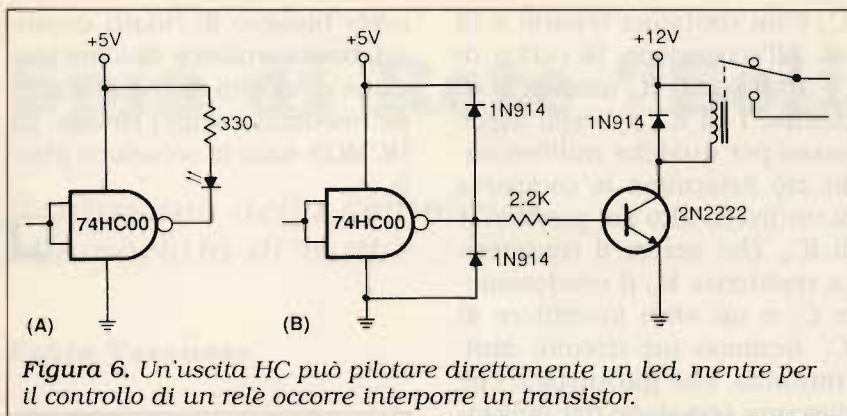


Figura 6. Un'uscita HC può pilotare direttamente un led, mentre per il controllo di un relè occorre interporre un transistor.

INTERFACCIAMENTO DEGLI HCMOS

La famiglia HC è peculiare, in quanto presenta alcune funzioni della serie 4000 insieme ad altre propri dei TTL. Questa proprietà dovrebbe limitare il bisogno di mescolare più famiglie nello stesso circuito; ma quando ciò è inevitabile, gli HC possono essere facilmente interfacciati con altri integrati logici, anche operanti con diverse

tensioni di alimentazione. La figura 5 illustra alcuni esempi pratici. In figura 5A una uscita HC alimentata a 5 V pilota direttamente due ingressi TTL (può pilotare fino a dieci ingressi LS-TTL). Nella direzione opposta (figura 5B) occorre invece una resistenza di pull-up per garantire che l'uscita TTL fornisca i 3,5 V necessari per l'ingresso a livello logico dello HC. La soluzione di figura 5C elimina persino questa resistenza.

Una sottofamiglia HC, la serie HCT, è simile agli HC ma ha ingressi TTL-compatibili, con livello logico basso di 0,8 V o meno e alto di 2 V o più. Gli HCT richiedono tensioni di alimentazione comprese tra 4,5 e 5,5 V, a riprova del loro settore ristretto e particolare di impiego. A causa delle loro differenti caratteristiche di livello di ingresso, gli HCT presentano minore immunità al rumore rispetto agli HC, ma sono ideali come interfacce da TTL a HC. Inoltre gli HCT possono fungere da sostituzioni dirette per i LSTTL, con consumo di corrente ancora inferiore.

In generale, le regole di interfacciamento tra HC e TTL valgono anche per il collegamento con componenti NMOS come microelaboratori e memorie; inoltre gli HC sono ideali per mantenere le caratteristiche di basso consumo dei circuiti che impiegano microelaboratori CMOS.

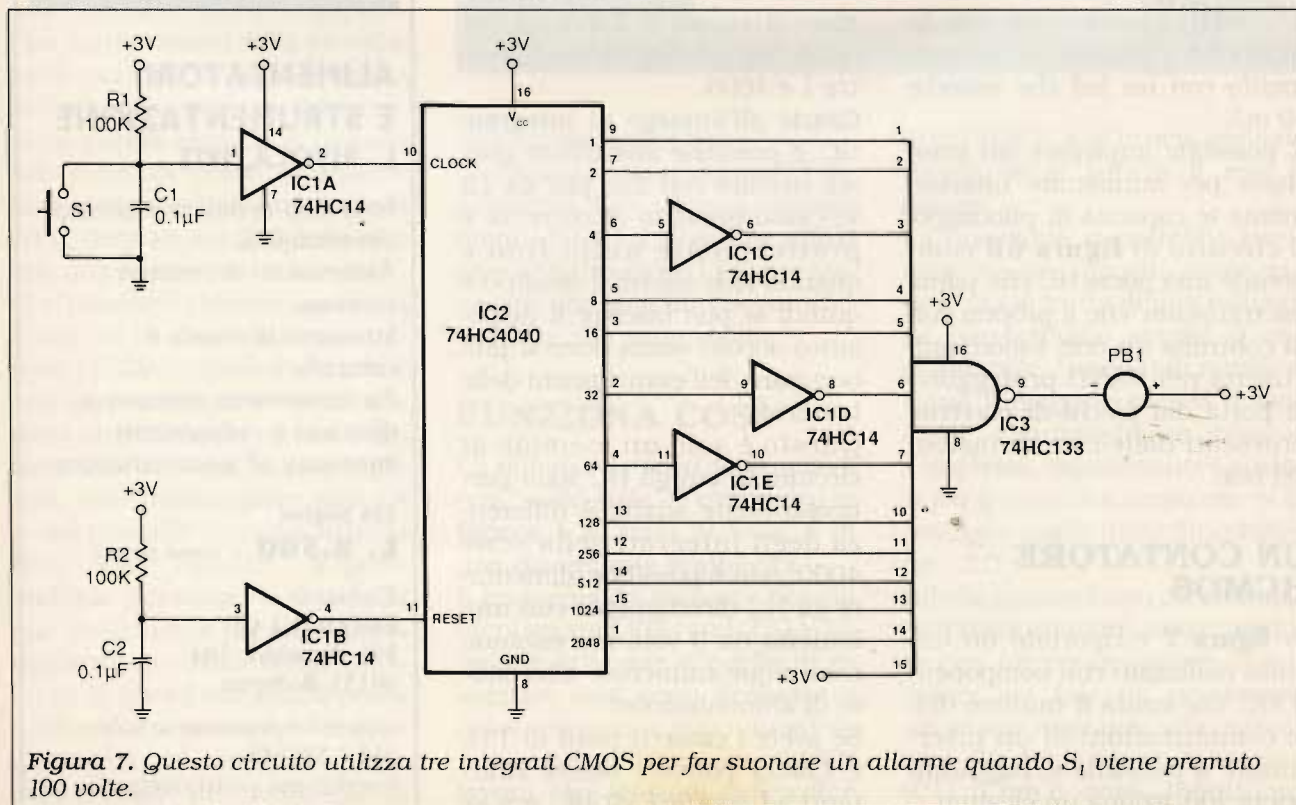


Figura 7. Questo circuito utilizza tre integrati CMOS per far suonare un allarme quando S, viene premuto 100 volte.

Come si nota dalle **figure 5D e 5E**, gli HC alimentati a 3 V possono essere collegati direttamente ai TTL operanti a 5 V. Se l'alimentazione è la stessa, i CMOS della serie 4000 si possono interfacciare direttamente con gli HC. Se la tensione è diversa, la **figura 5F** illustra come un disaccoppiatore (*buffer*) 4049/4050 (sia di tipo CMOS sia di tipo HC) funga da convertitore-riduttore di tensione. La **figura 5G** illustra l'uso, nella direzione opposta, di un transistor come convertitore-innalzatore di tensione. Per i migliori risultati a elevata frequenza di lavoro, impiegate un transistor ad alta velocità di commutazione.

Il massimo pilotaggio di uscita ammesso per gli HC è di 25 mA (35 mA per le uscite di pilotaggio linee). A correnti superiori a 4 mA la gamma di variazione delle tensioni di uscita si riduce, ma l'integrato è in grado egualmente di pilotare led e altri carichi a corrente elevata. In **figura 6A** è illustrato il collegamento con un led che assorbe 10 mA.

È possibile impiegare un transistor per aumentare ulteriormente le capacità di pilotaggio. Il circuito di **figura 6B** comprende una porta HC che pilota un transistor che a propria volta controlla un relè. I diodi sull'uscita nel NAND proteggono la porta dai picchi di corrente provocati dalle commutazioni del relè.

UN CONTATORE HCMOS

In **figura 7** è riportato un circuito realizzato con componenti HC, che conta il numero delle commutazioni di un interruttore a pulsante e, raggiunta quota 100, aziona un cicalino.

IC₂ è un contatore binario a 12 bit. All'accensione, la carica di C₂ attraverso R₂ mantiene il piedino 1 di IC₁ a livello logico basso per qualche millisecondo; ciò determina la comparsa di un livello alto sul piedino 11 di IC₂, che azzerà il contatore. La resistenza R₁, il condensatore C₁ e un altro invertitore di IC₁ formano un circuito anti-rimbando, che garantisce che ciascuna pressione del pulsante provochi un unico impulso. Ad ogni pressione di S₁, il conteggio di IC₂ avanza di una unità; gli invertitori sulle uscite dell'integrato sono disposti in modo tale che tutti gli ingressi di IC₃, un NAND a 13 ingressi, si trovano a livello logico alto quando il conteggio raggiunge il 100 (binario 1100100). Quando ciò si verifica, l'uscita di IC₃ passa a livello basso e il cicalino piezoelettrico PB₁ suona. Cambiando il numero e la disposizione degli invertitori sulle uscite di IC₂ si può programmare il suono dell'allarme per qualsiasi conteggio compreso tra 1 e 4095.

Grazie all'impiego di integrato HC, è possibile alimentare questo circuito con due pile da 1,5 V; l'assorbimento di corrente è praticamente nullo fino a quando non suona il cicalino e quindi si può lasciare il dispositivo acceso senza doversi preoccupare dell'esaurimento delle batterie.

Questo è solo un esempio di circuito in cui gli HC sono particolarmente adatti. A differenza degli integrati della serie 4000, non è possibile alimentare gli HC direttamente con una batteria da 9 volt: ma esistono comunque numerose alternative di alimentazione.

Se avete i cassetti pieni di TTL e CMOS potreste essere riluttanti ad adottare gli HC; ma se

avete bisogno di ridotti consumi, bassa tensione di alimentazione e velocità di commutazione (moderatamente) elevata, gli HCMOS sono la soluzione ideale.



ALIMENTATORI E STRUMENTAZIONE L. RIVOLA, 1972

Strumenti di misura e unità di alimentazione.

Alimentatori di tensione continua.

Strumenti di misura e controllo.

Particolarmente dedicato a dilettanti e radioamatori interessati all'autocostruzione.

256 pagine

L. 8.500 + spese postali

Richiedilo a:

EDIZIONI CD

Via Agucchi, 104
40131 Bologna

oppure telefonicamente allo:
051 / 388845

Spedizioni contrassegno