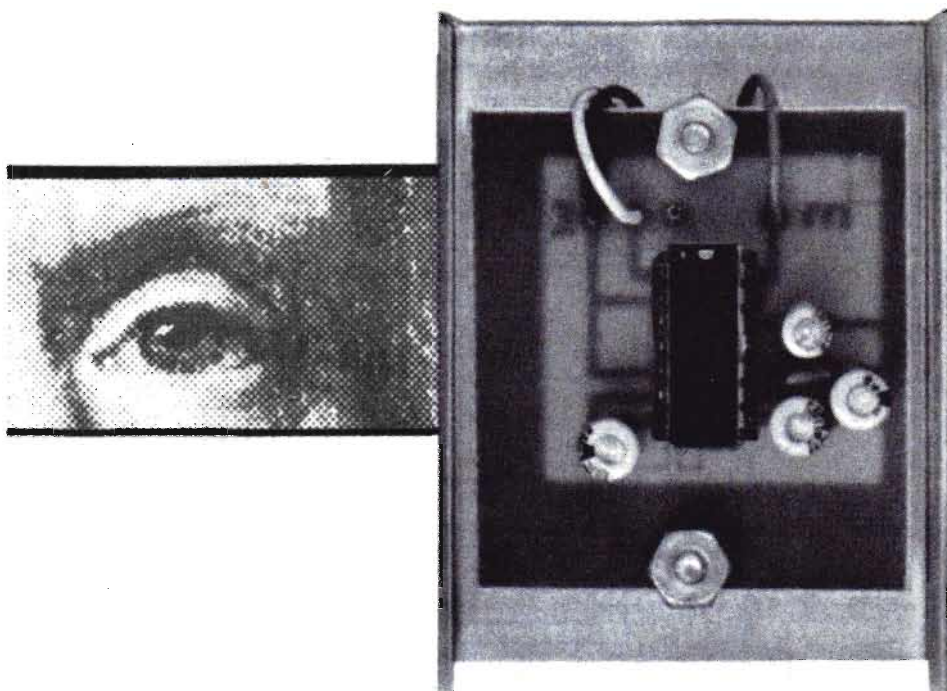


FUNZIONE PLL CON IC 4046

Uno dei circuiti integrati, che meglio d'ogni altro può svolgere la funzione PLL, è certamente il modello 4046, che è pure uno dei più diffusi ed economici e quindi alla portata di ciascun dilettante. Alla sua conoscenza, dunque, anche se superficiale, possono agevolmente pervenire i

nostri lettori, soprattutto dopo alcune pratiche applicazioni che, a completamento dell'esposizione teorica, proporemo in seguito, con lo scopo di sperimentare l'influenza dei vari componenti sul funzionamento dell'integrato o, più precisamente, su quello dei blocchi del PLL.

La grande diffusione commerciale ed il basso costo di questo comunissimo integrato, invitano il lettore alla pratica sperimentazione, onde stabilire un primo approccio soddisfacente con tale, importante componente elettronico.



Teoria e pratica con l'anello regolatore ad aggancio di fase.

In molti dispositivi, l'integrato 4046 introduce un aumento di prestazioni.

Ma che cos'è questo PLL? Lo diremo quasi subito. Mentre per ora vogliamo aggiungere che il 4046 è un integrato realizzato in tecnologia a transistor MOS complementari, conosciuta con la sigla CMOS, che consente, in modo estremamente semplice, la composizione di funzioni logiche ed analogiche. Inoltre, le particolari caratteristiche dei transistor MOS, di presentare elevate impedenze di ingresso, assenza di tensioni di soglia in uscita e simmetria degli stadi, quasi tutti in push-pull, permettono di ottenere circuiti comparatori di fase ed oscillatori controllati in tensione, dotati di eccellenti prestazioni, nonostante la loro semplicità.

La figura 1 interpreta la piedinatura dell'integrato 4046 B con il quale, più avanti, il lettore è invitato a sperimentare. In figura 2, invece, è

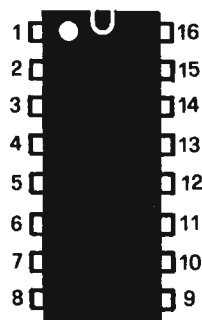


Fig. 1 - Piedinatura ed elementi guida per l'orientamento, in sede applicativa, dell'integrato modello 4046 B descritto nel testo ed ampiamente utilizzato in alcuni esperimenti.

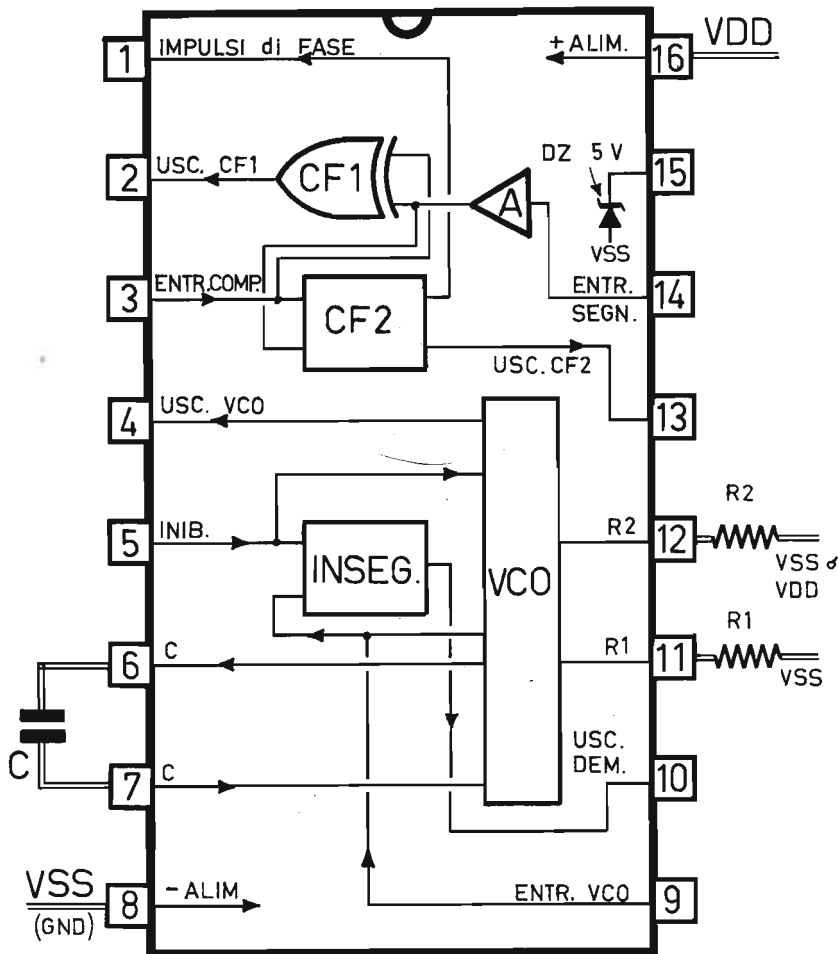


Fig. 2 - Schema a blocchi dell'integrato modello 4046 B a sedici piedini, le cui funzioni sono dettagliatamente descritte nel testo.

pubblicato lo schema a blocchi interno dello stesso componente. Nel quale si notano i due comparatori di fase CF1 e CF2, che assicurano il miglior adattamento con i diversi segnali e dei quali il primo è più idoneo ai segnali logici, il secondo a quelli analogici.

Il VCO, invece, è dotato di un amplificatore di corrente, che abbassa l'impedenza d'uscita, onde pilotare gli stadi presenti a valle senza difficoltà ed interferenze. Questo stadio VCO (Voltage - Controlled - Oscillator), che è implemen-

tato con un inseguitore di "source", presenta l'uscita sul piedino 10.

La gamma di frequenze, su cui opera il VCO, è controllata dalle resistenze collegate in serie sui terminali 11 e 12 (R1 - R2).

Il piedino 14 si identifica con l'ingresso di un amplificatore di segnale e di altri segnali di servizio. È anche indispensabile la presenza di un diodo zener, sul piedino 15, da 5,2 V, per stabilizzare eventualmente l'alimentazione.

Il circuito integrato, soprattutto se utilizzato in

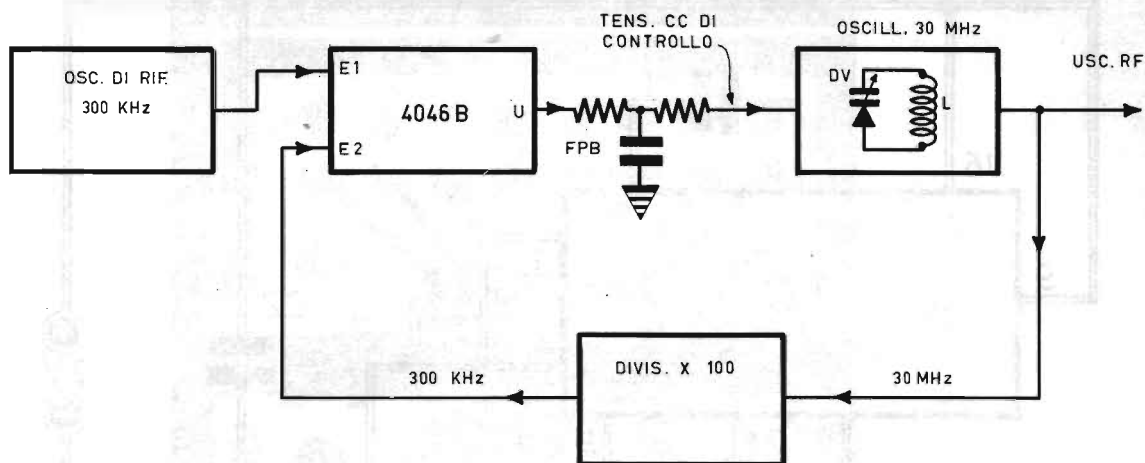


Fig. 3 - Circuito PLL alla cui formazione partecipano un oscillatore a 30 MHz, a destra, un divisore per cento, in posizione centrale e in basso, un oscillatore di riferimento, all'estrema sinistra, e l'integrato 4046 B.

bassa frequenza, consuma poco perché come accade per tutti i CMOS, il consumo avviene durante le commutazioni.

CIRCUITO PLL

Vediamo ora che cosa si intende per circuito PLL, la cui sigla riporta le iniziali delle tre parole Phase Locked Loop, che significano: "anello di regolazione ad aggancio di fase". Tradotte alla lettera, suonano così: Fase Aggancio Anello. Ma abbandoniamo ogni ulteriore commento alla sigla e passiamo senz'altro all'esame di questo tipo di circuito, che merita di essere conosciuto sia per la sua notorietà, sia per l'incremento di prestazioni che, in genere, aggiunge nei dispositivi in cui viene utilizzato.

Il PLL permette di sincronizzare due segnali a frequenza diversa, anche quando la frequenza di questi è indicata da un numero indivisibile per un numero intero. Ma in sostanza il circuito risulta formato da non molti componenti, facilmente conglobabili in un integrato e, quindi, assai economico. Tuttavia si tratta di un sistema reazionato che, come tutti quelli di questo tipo,

può divenire instabile o funzionare malamente a seconda del dimensionamento e della messa a punto. In particolare, il PLL non è un circuito dei più semplici da stabilizzare e tarare, soprattutto quando da esso si pretende di derivare il massimo dei risultati. Ma in ogni caso, dal circuito PLL si possono ottenere risultati sorprendenti, anche esplorando, come è nostra abitudine suggerire ai lettori, funzionalità particolari.

Il circuito PLL viene attualmente impiegato in moltissimi settori dell'elettronica, dalla radiorecezione e radiotelecezione alla registrazione audio e video, alle memorie magnetiche a disco e a nastro dei calcolatori, alle telecomunicazioni per sincronizzare i dati, al controllo della velocità dei motori, in automazione, nei giradischi, registratori ed orologi.

La sigla PLL, dunque, appare spesso su molte apparecchiature e sempre, o quasi sempre, assicura prestazioni veramente superbe.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il principio su cui si fonda il funzionamento del circuito PLL è alquanto semplice. Infatti, quan-

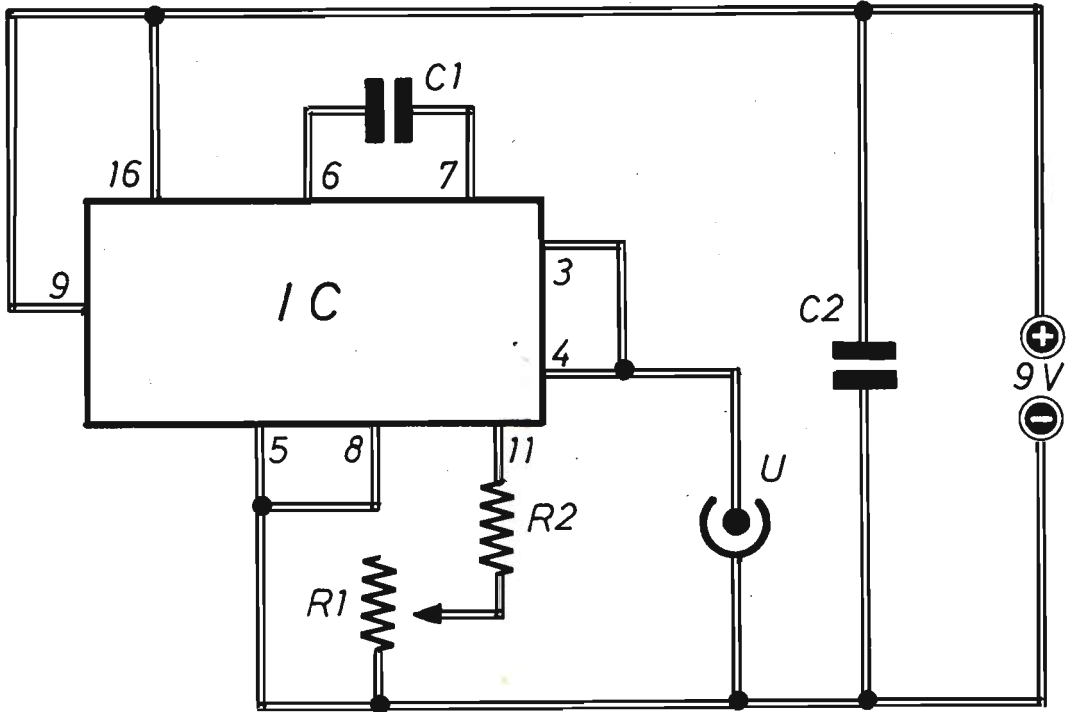


Fig. 4 - Circuito sperimentale di controllo del VCO contenuto nell'integrato 4046 B. La frequenza del segnale in uscita, riproducibile attraverso un amplificatore audio, varia con le regolazioni effettuate sul trimmer R1.

COMPONENTI

Condensatori

C1 = 10.000 pF (ceramico)
C2 = 100.000 pF (ceramico)

Resistenze

R1 = 100.000 ohm (trimmer)
R2 = 100.000 ohm - 1/4 W

Varie

IC = 4046 B (integrato)
ALIM. = 9 Vcc

do si vuole sincronizzare o agganciare ad un altro, un segnale con frequenza anche diversa, in modo che il segnale controllato possa variare soltanto come quello di riferimento, si deve operare nella seguente maniera.

Tramite un divisore di frequenza, ovvero con una serie di flip-flop, collegati in modo opportuno, si divide la frequenza del segnale originale in modo da renderla uguale a quella del segnale di riferimento, tenendo conto che, maggiori sono le cifre che compongono il divisore, più elevato diventa il numero di stadi necessari.

Ma tale operazione vale quando la frequenza del segnale da controllare è superiore a quella del segnale di riferimento. Altrimenti occorre dividere quest'ultimo, giacché l'operazione di moltiplicazione non è cosa facile. E questo è il motivo per cui serve un circuito PLL:

Una volta uguagliate le frequenze dei due segnali, queste vengono inviate ad un comparatore di fase, che ne misura lo sfasamento, erogando pure, in uscita, una tensione o corrente che si identificano con il segnale d'errore amplificato del sistema reazionato. Questo stesso segnale

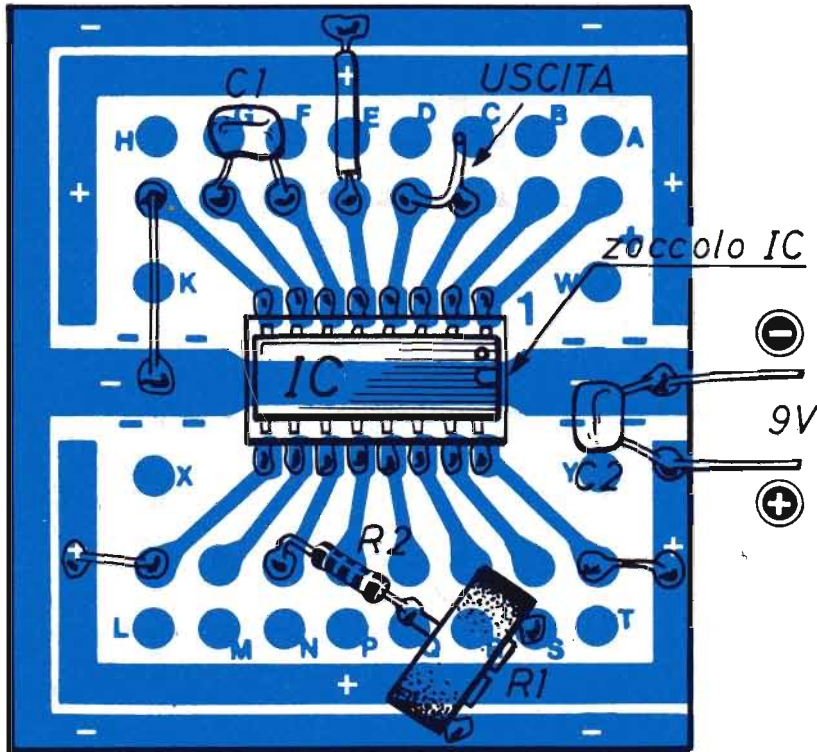


Fig. 5 - Realizzazione pratica, su basetta supporto di tipo commerciale, del circuito di controllo del comportamento del VCO contenuto nell'integrato 4046 B.

viene poi utilizzato per correggere la frequenza dell'oscillatore posto sotto controllo.

L'aggancio di frequenza diventa tanto più preciso quanto più elevato è il guadagno della spirale di regolazione. Ma, allo stesso tempo, appare assai più difficile la stabilizzazione e maggiormente ristretta la gamma di frequenze su cui poter operare.

Anche l'aumento del numero che divide la frequenza implica un accrescimento del guadagno d'anello.

I tempi di risposta, del sistema ora analizzato, rimangono influenzati dal modo con cui viene concepito l'anello di reazione e dal guadagno di questo. In pratica è assai difficile ottenere tempi rapidi ma, fortunatamente, non sempre questi servono.

Da quanto finora detto, gli appassionati di radiodicezione potranno apprezzare, in tutta la

sua validità, la facoltà di un circuito PLL di agganciare la frequenza di sintonia di un radiorecettore a quella di un oscillatore quarzato.

Concludiamo ricordando che il circuito PLL può essere usato pure per demodulare la modulazione di frequenza.

APPLICAZIONE DEL PLL

Lo schema pubblicato in figura 3 costituisce un'applicazione dell'integrato 4046 B in circuito PLL, nel quale vengono evidenziati i vari blocchi.

In alto, a destra dello schema, è simboleggiato un dispositivo oscillatore a 30 MHz, munito di diodo varicap, che consente di regolare la frequenza del segnale generato.

Parte del segnale uscente dall'oscillatore a ra-

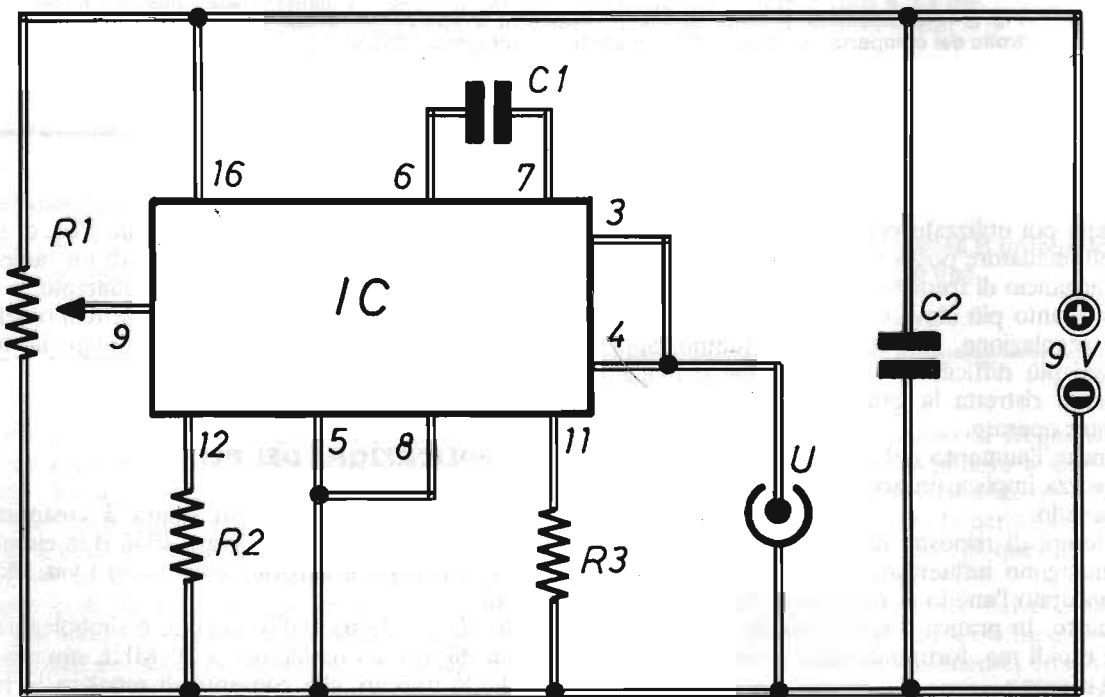
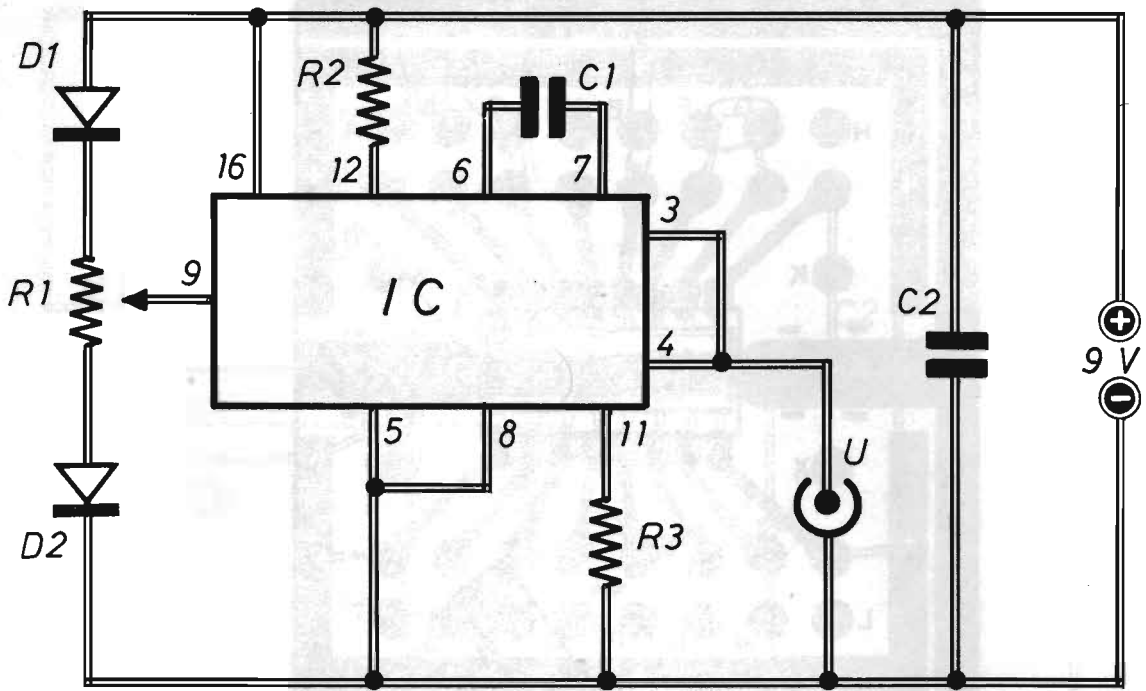


Fig. 6 - Variando la posizione del cursore del trimmer R1 si può apprezzare il campo di controllo del VCO, ovvero la gamma di variazioni di frequenza in uscita.

← COMPONENTI

Condensatori

- C1 = 100.000 pF (ceramico)
C2 = 100.000 pF (ceramico)

Resistenze

- R1 = 100.000 ohm (trimmer)
R2 = 10 megaohm - 1/4 W
R3 = 100.000 ohm - 1/4 W

Varie

- IC = 4046 B (integrato)
D1 = 1N4148 (diodo silicio)
D2 = 1N4148 (diodo silicio)
ALIM. = 9 Vcc

Fig. 7 - Per affidare la scelta del minimo valore di frequenza ottenibile dal VCO alla resistenza R2, questa deve rimanere collegata fra il piedino 12 di IC e la linea di massa.

← COMPONENTI

Condensatori

- C1 = 100.000 pF (ceramico)
C2 = 100.000 pF (ceramico)

Resistenze

- R1 = 100.000 ohm (trimmer)
R2 = 4,7 megaohm - 1/4 W
R3 = 100.000 ohm - 1/4 W

Varie

- IC = 4046 B (integrato)
ALIM. = 9 Vcc

diofrequenza (RF) viene inviato al divisore per 100 che, all'uscita, propone un segnale alla frequenza di 300 KHz. Il quale raggiunge l'entrata E2 dell'integrato, mentre sull'altra entrata si inietta il segnale proveniente dall'oscillatore di riferimento, a cristallo di quarzo, che eroga una frequenza stabilissima a 300 KHz e che è rappresentato dal primo blocco, a sinistra dello schema di figura 3.

L'integrato 4046 B compara le fasi di questi due segnali che, se sono uguali fra loro, ovvero quando il circuito PLL è "agganciato", danno luogo ad un'uscita U costante in tensione, mentre l'oscillatore libero genera segnali dell'esatto valore di 30 MHz. Soltanto se si verifica uno spostamento di frequenza, non essendo più in fase i segnali a 300 KHz, allora interviene l'integrato, che muta il valore della tensione d'uscita per riportare l'oscillatore a 30 MHz in fase perfetta.

Volendo variare la frequenza dell'oscillatore a 30 MHz, per mezzo del diodo varicap, si deve cambiare quella dell'oscillatore di riferimento, oppure il numero delle divisioni, come del resto è stato ampiamente detto in precedenza. Ma in questo caso si tratta di comporre circuiti assai complicati e di difficile realizzazione pratica. Ecco perché del circuito PLL è stato offerto un sintetico cenno attraverso lo schema a blocchi di figura 3.

Prima di chiudere questa breve analisi del circuito PLL, occorre interpretare ancora la natura e la funzione del filtro passa basso FPB, inserito fra l'uscita dell'integrato 4046 B e l'entrata dell'oscillatore a 30 MHz.

Il filtro FPB costituisce un dispositivo fondamentale nel funzionamento del circuito PLL, giacché il segnale uscente dal comparatore di fase è di tipo variabile, composto dal segnale somma e da quello differenza, ossia da altre due frequenze. Mentre soltanto il valore medio di questo, filtrato dalle componenti più elevate, è in grado di regolare il VCO (Voltage Controlled Oscillator) contenuto nell'integrato. Senza il filtro passa basso, dunque, il circuito PLL non funziona, anche se esso introduce nel sistema elettronico un ritardo che tende a rendere instabile la regolazione, oltre che a ritardarne la risposta. La sua messa a punto, pertanto, costituisce l'operazione più critica fra ogni altra del PLL, sia pure perché da questa, a parità di restanti condizioni, dipendono in grande misura i risultati raggiunti.

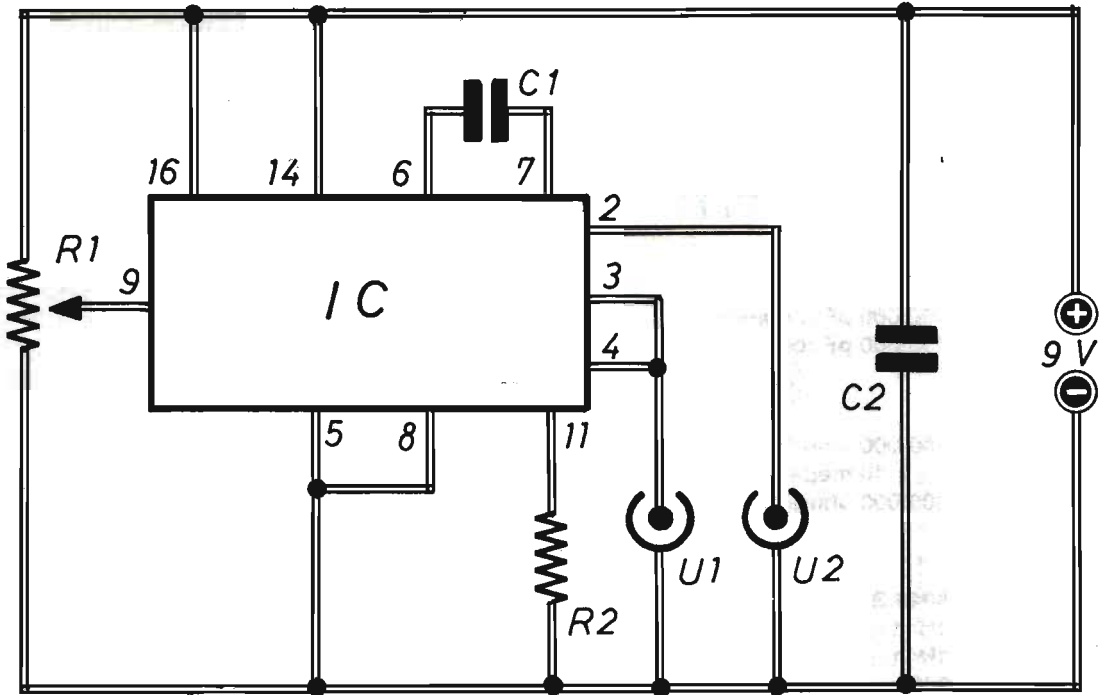


Fig. 8 - Esempio di impiego del comparatore di fase digitale dell'integrato 4046 B. In uscita vengono utilizzate l'onda diretta e quella sfasata di 180°.

COMPONENTI

Condensatori

C1 = 100.000 pF (ceramico)
 C2 = 100.000 pF (ceramico)

Resistenze

R1 = 220.000 ohm (trimmer)
 R2 = 10.000 ohm - 1/4 W

Varie

IC = 4046 B (integrato)
 ALIM. = 9 Vcc

FUNZIONAMENTO DEL VCO

L'integrato 4046 B contiene gran parte degli elementi necessari per comporre un circuito PLL. Infatti, confrontandolo con lo schema a blocchi di figura 3, si può notare che, per il completamento del dispositivo, mancano soltanto il divisore di frequenza ed il filtro passa basso, che debbono essere necessariamente esterni al componente. Ma il divisore di frequenza può essere scelto fra i tanti disponibili nelle varie famiglie di integrati logici, mentre il filtro passa basso FPB rimane composto da un

comunissimo collegamento resistivo-capacitivo (RC).

Nell'integrato 4046 B, come abbiamo avuto occasione di dire più volte, è contenuto il dispositivo VCO, ossia l'oscillatore controllato in tensione, il cui funzionamento può essere ampiamente e facilmente sperimentato attraverso la realizzazione di quattro circuiti. I quali, tutti, generano un segnale ad onda rettangolare, come quello pubblicato in figura 9.

Cominciamo col prendere in esame il circuito di figura 4, in cui mantenendo fissa la tensione di controllo a 9 V, applicata sul piedino 9 (EN-

TR. VCO), la frequenza del segnale generato, disponibile sull'uscita U, dipende dal valore della resistenza presente in serie con il piedino 11. Questa resistenza equivale alla somma della resistenza fissa R2 e della parte resistiva manualmente impostata sul trimmer R2.

Il significato di questo esperimento consiste nel dimostrare come, al variare della resistenza sul terminale 11, possa mutare la frequenza di oscillazione del VCO contenuto in IC.

Di questa applicazione è pure pubblicato, in figura 5, lo schema pratico, che si avvale, in veste di supporto, dell'impiego di una di quelle piastrelle che, tempo addietro, questa rivista consigliava ai lettori nella sperimentazione degli integrati analizzati in apposita rubrica mensile. Tali piastrelle vengono tuttora vendute in numero di due dalla Stock Radio di Via Panfilo Castaldi, 20 - 20124 Milano, alla quale possono essere richieste inviando anticipatamente l'importo di L. 10.000, per ogni coppia, tramite vaglia postale, assegno bancario o conto corrente postale n° 46013207 (spese di spedizione comprese).

Ovviamente l'integrato, allo scopo di evitare le saldature a stagno sui suoi terminali, deve essere applicato al circuito tramite apposito zoccolletto.

Una volta montato il circuito di figura 5, si dovrà collegare l'uscita, chiaramente segnalata sul piano costruttivo, all'entrata di un qualsiasi amplificatore di bassa frequenza, servendosi di un cavo schermato, la cui calza metallica verrà connessa con il morsetto negativo della pila di alimentazione a 9 V.

Facendo ruotare il cursore del trimmer R1, si potrà ascoltare un preciso cambiamento di frequenza del suono emesso dall'altoparlante dell'amplificatore audio, con la possibilità di spaziare in una gamma che si estende fra qualche centinaio ed alcune migliaia di hertz.

Sulla stessa piastrina supporto, su cui si è composto il circuito di controllo del VCO dell'integrato IC, si potranno comporre poi i successivi circuiti proposti nelle figure 6 - 7 - 8.

Mentre nel circuito di figura 4 la tensione di alimentazione del VCO rimane costantemente sul valore di 9 V, in quello di figura 6 la tensione del VCO è variabile e ricavata dalla pila attraverso il diodo D1 ed il trimmer R1. In questo schema, la massima frequenza rimane stabilita dalla resistenza R3 e dal condensatore C1, mentre la resistenza R2 imposta il valore minimo di frequenza.

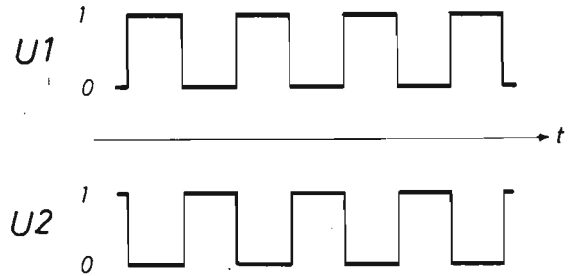


Fig. 9 - Tutti i segnali emessi dai dispositivi sperimentali, presentati in queste pagine, sono di forma rettangolare. Quelli qui riportati si riferiscono alle uscite del circuito utilizzatore del comparatore di fase digitale dell'integrato 4046 B.

Variando la posizione del cursore di R1, è possibile apprezzare il campo di controllo del VCO, cioè la gamma di variazioni della frequenza in uscita.

I segnali generati, anche in questo caso, vengono ascoltati attraverso l'altoparlante di un amplificatore audio, collegato tramite cavo schermato.

Nel circuito di figura 7, la resistenza R2, che nello schema precedente di figura 6 era collegata fra il piedino 12 di IC e la linea di alimentazione positiva, questa volta rimane connessa fra lo stesso piedino di IC e massa. Con tale variante, la frequenza minima resta scelta dalla resistenza R2 e dal condensatore C1, mentre quella massima rimane fissata dal condensatore C1 e dal collegamento in parallelo di R2 ed R3. Nel circuito di figura 8 è stato utilizzato il comparatore di fase digitale dell'integrato IC, quello che in figura 2 è segnalato con la sigla CF1 ed il cui ingresso invertente è riscontrabile sul piedino 3 di IC, mentre l'uscita rimane individuata sul piedino 2. Si è inoltre provveduto a mantenere sempre alto l'ingresso analogico amplificato (piedino 14).

Il comparatore di fase è qui impiegato in funzione di inverter, allo scopo di utilizzare, in uscita, sia l'onda diretta come quella complementata, sfasata di 180°. E per ottenere tale risultato è stato sufficiente collegare l'uscita del VCO (piedino 3 di IC) con il comparatore di fase (piedino 3 di IC).