

## Voltmetri dc

### Istruzioni generali per i montaggi

Nella figura 1 (pagina 2) è riportato uno schema di massima del montaggio. Si raccomanda di rispettare almeno le posizioni dei collegamenti di alimentazione per rendere più agevole il lavoro di assistenza.

La basetta è divisa in due sezioni. Si usi la sezione superiore per il circuito, la sezione inferiore per i punti di test, portando i collegamenti man mano che si rendono necessari. Ciò sveltisce le operazioni di collegamento dell'oscilloscopio e del contatore, senza spostare cavi.

I due bracci di alimentazione,  $\pm 15$  V, devono essere stabilizzati rispetto a massa ciascuno con un condensatore da 100 nF.

Ogni volta che si fa una modifica al circuito si spenga l'alimentatore.

Si faccia attenzione al NE555 e al REF01, che si danneggiano facilmente in caso di collegamenti errati verso una tensione negativa rispetto a massa.

### 1 Montaggio del voltmetro a doppia integrazione

Lo schema è riportato nella figura 2 (pagina 4). Per il montaggio, che *deve* essere fatto a passi in modo da poter collegare tra loro blocchi semplici e funzionanti, si usi la procedura seguente.

1. Collegare le alimentazioni alla basetta e regolare l'alimentatore per  $\pm 15$  V.
2. Inserire i circuiti integrati, collegare e verificare le alimentazioni.
3. Montare il partitore della tensione incognita (R1, R2, C1). Verificare che la tensione sul punto **A** possa essere regolata tra 0 e  $-9.5$  V circa agendo su R2.
4. Montare il generatore di tensione di riferimento (REF01). Verificare che la tensione sul pin 6 sia 10 V. **Attenzione:** cortocircuiti verso il negativo dell'alimentazione possono rompere il REF01.

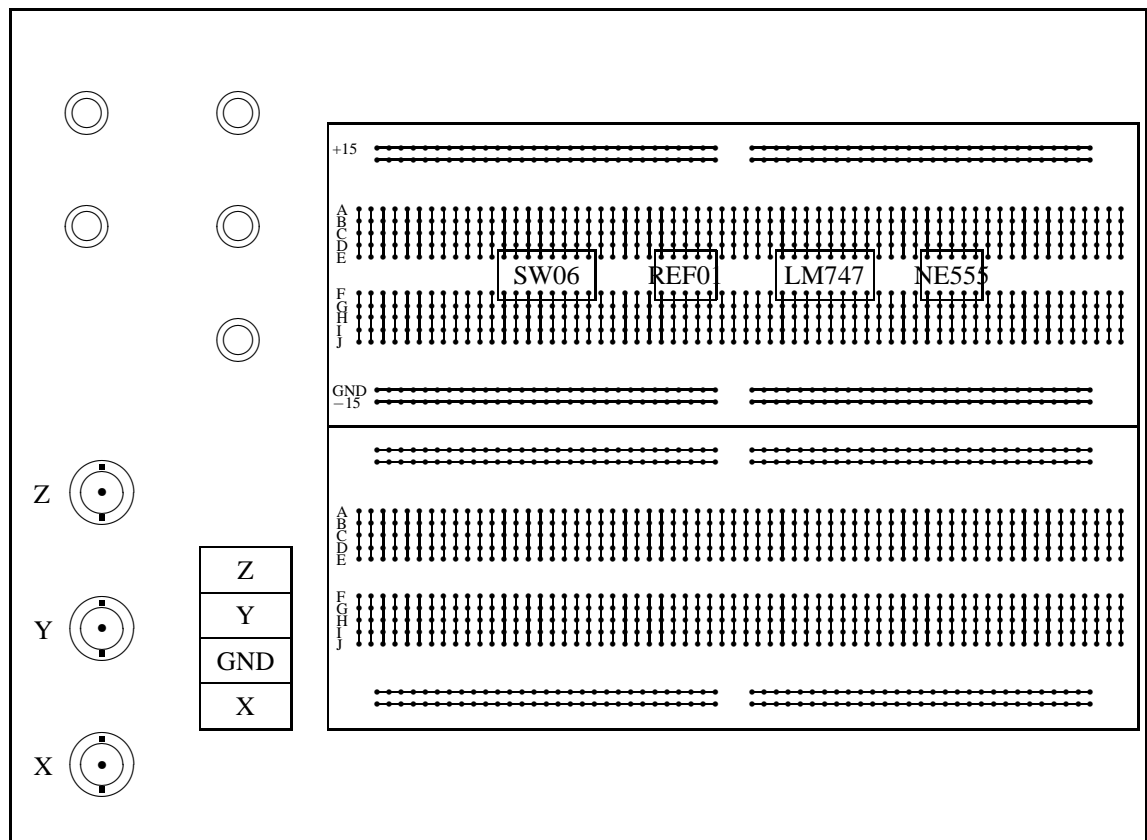


Figure 1: Schema di massima dei montaggi.

5. Montare il circuito del commutatore (SW06, R8, R9), collegato ai due circuiti precedenti. Agendo sui pin di controllo (8 e 9), all'uscita si deve trovare la tensione di riferimento (livello logico 0, 0 V) o la tensione incognita (livello logico 1, +15 V).
6. Montare l'integratore (LM747, R3, R4, C2), adottando provvisoriamente un valore di 100 nF per C2, e collegarlo all'uscita del commutatore. Agendo manualmente sul commutatore, sull'uscita **C** si deve osservare, con l'oscilloscopio, una rampa di pendenza opportuna. Al termine della verifica sostituire C2 con un condensatore da 10 nF (valore definitivo).
7. Montare il comparatore (LM747, R5, R6, D1). Prima di collegarlo all'uscita dell'integratore, verificarne il comportamento con una tensione positiva o negativa sull'ingresso.
8. Montare e verificare il monostabile, con il diodo e il resistore che ne proteggono l'ingresso. **Attenzione:** il NE555 si rompe se ai suoi pin è applicata una tensione negativa rispetto a massa. Nella verifica, ci si può aiutare pilotando il monostabile con il generatore di funzioni, osservando la tensione d'uscita (pin 3).

9. Chiudere l'anello di reazione collegando l'uscita del monostabile all'ingresso di controllo del commutatore.

## **2 Esperienze sul voltmetro a doppia integrazione**

### **2.1 Osservazione del funzionamento**

Collegare i due canali dell'oscilloscopio all'uscita dell'integratore **C** e all'uscita del monostabile **F**. Sganciare la base tempi con quest'ultimo segnale, sul fronte con pendenza positiva.

Osservare qualitativamente il corretto funzionamento del circuito al variare della tensione di ingresso.

### **2.2 Risoluzione**

La misura della tensione si ricava con il contatore collegato all'uscita del monostabile. Si misurano le durate di "1" e "0" in modo start-stop, cambiando le pendenze del trigger del contatore (attenzione, su molti strumenti c'è un comando — etichettato com — che consente di mettere in parallelo gli ingressi). La tensione  $V_x$ , presente sul punto **A**, si ricava dal rapporto tra le durate di "1" e "0", e dal valore della tensione di riferimento  $V_r$ .

Quale è la risoluzione del voltmetro realizzato? Ad evitare errori di interpretazione, la risoluzione è la capacità dello strumento di rivelare se il misurando —  $V_x$  — è cambiato, pur senza consentire la misura del cambiamento. Pertanto, se ultime cifre del contatore non sono stabili, la risoluzione del voltmetro è peggiore del valore che si calcola considerando  $\pm 1$  sulla cifra meno significativa del contatore.

### **2.3 Diagramma di taratura**

Confrontare la misura di tensione con la lettura del voltmetro digitale (Philips o Hewlett Packard) usato come riferimento. Ricavare l'errore assoluto e relativo per 5 valori equispaziati della tensione incognita e tracciarne i grafici.

### **2.4 Costante di tempo dell'integratore**

Un errore nella costante di tempo dell'integratore interviene o meno nella misura di tensione?

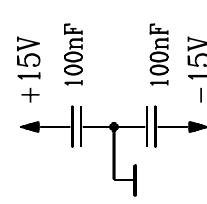
Verificare (qualitativamente con l'oscilloscopio e con migliore precisione valendosi del contatore), provando ad alterare prima il resistore (inserire un resistore da 8.2 M $\Omega$  in parallelo a R3), poi il condensatore (inserire un condensatore da 1 nF in parallelo a C2).




### **2.5 Offset dell'integratore**

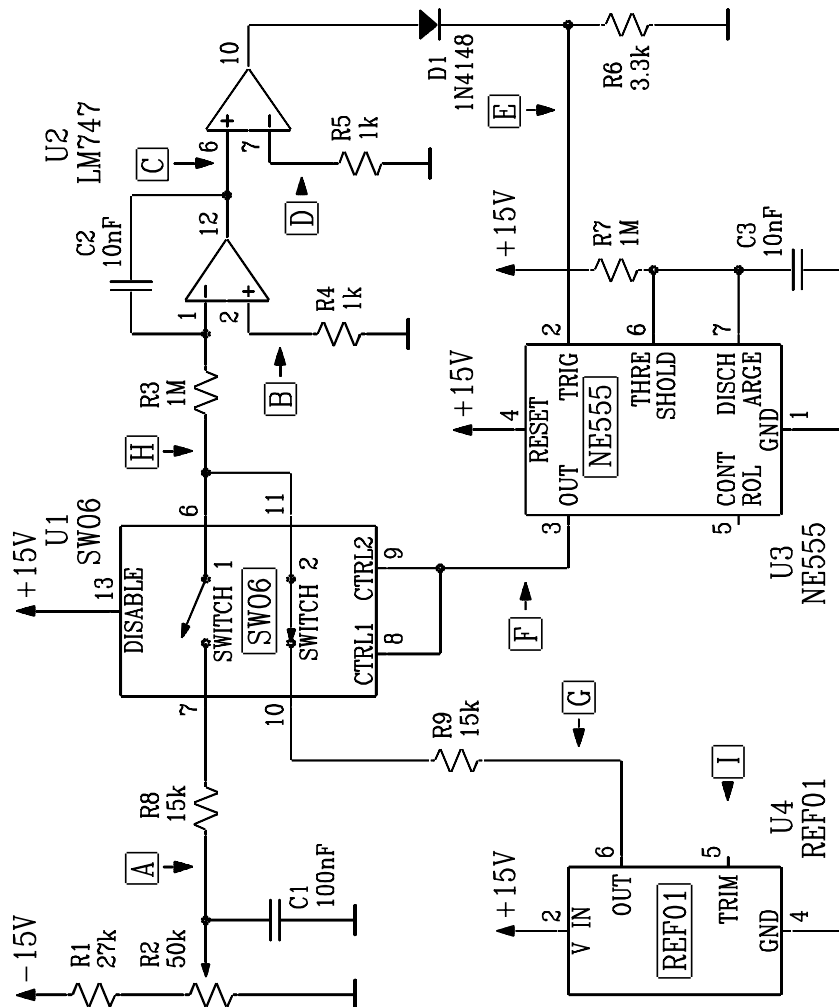
In che modo l'offset dell'integratore contribuisce all'errore della misura di tensione? L'errore dipende o meno dalla tensione incognita  $V_x$ ?

La verifica sperimentale può essere fatta imponendo una tensione sul punto **B** tramite un resistore verso il positivo dell'alimentazione. Una prima verifica qualitativa può essere

ALIMENTAZIONI			
CHIP	+15	GND	-15
LM747	9,13	-	4
NE555	8	1	-
SW06	12	4	5
REF01	2	4	-



Circuiti integrati visti dall'alto	
	
	



Copyright 2000 di Enrico Rubiola. Tutti i diritti riservati.

Figure 2: Schema del voltmetro a doppia integrazione.

fatta con l'oscilloscopio, con un offset di circa 1 V (resistore da 15 k $\Omega$ ). Per una verifica pi $\dot{u}$  accurata, fatta con il contatore,  $\grave{e}$  opportuno un offset inferiore, 100 mV, ottenuto con un resistore da 150 k $\Omega$ .

## 2.6 Offset del comparatore

In che modo l'offset del comparatore contribuisce all'errore della misura di tensione? L'errore dipende o meno dalla tensione  $V_x$ ?

La verifica sperimentale pu $\dot{o}$  essere fatta in modo qualitativo e quantitativo come descritto al punto precedente, imponendo l'offset nel punto **D** del circuito.

## 2.7 Durata del tempo di integrazione

La tensione incognita viene integrata per un tempo  $T_1$  determinato dal monostabile. Un errore sulla durata di  $T_1$  ha come conseguenza un errore di misura della tensione?

Si verifichi con le procedure gi $\grave{a}$  viste, ponendo un condensatore da 1 nF in parallelo a  $C_3$ .

## 2.8 Tensione di riferimento

Quale  $\grave{e}$  la conseguenza di un errore della tensione di riferimento sulla misura della tensione  $V_x$ ?

La verifica sperimentale pu $\dot{o}$  essere fatta agendo sull'ingresso trim del REF01 (punto **I**). Se l'ingresso trim  $\grave{e}$  collegato a massa la tensione d'uscita sale, se  $\grave{e}$  collegato all'uscita dello stesso REF01, la tensione scende.

## 2.9 Reiezione dei disturbi

Perch $\grave{e}$ , e sotto quali ipotesi, il voltmetro a integrazione  $\grave{e}$  "insensibile" alle componenti alternate sovrapposte alla tensione continua da misurare?

Come deve essere progettato un voltmetro per la minima sensibilit $\grave{a}$  ai disturbi causati dalla rete di alimentazione (50 Hz e multipli)? Pensando allo schema proposto, dove sarebbe pi $\dot{u}$  ragionevole intervenire?

Si verifichino qualitativamente gli effetti di un disturbo costituito da una tensione alternata sovrapposta a  $V_x$ , limitandosi a cercare i punti di massimo e minimo relativi della sensibilit $\grave{a}$ , procedendo come segue.

1. Regolare  $V_x$  circa a met $\grave{a}$  dell'escursione.
2. Togliere  $C_1$  dalla basetta (attenuerebbe eccessivamente il disturbo).
3. Regolare il generatore di segnali per una tensione di 6 V $_p$  e accertarsi che il generatore abbia offset di 0 V.
4. Iniettare il segnale del generatore nel punto **A** tramite un resistore da 10 k $\Omega$  in serie ad un condensatore da 100 nF. **Attenzione:** non mandare una tensione continua sull'uscita del generatore di segnali.

Il disturbo così introdotto si manifesta come una disuniformità della pendenza della rampa dell'integratore (punto **C**) e come *jitter* dell'istante di fine integrazione della tensione di riferimento (punto **F**).

Calcolare per quali frequenze del segnale interferente ci si aspettano i massimi e minimi di errore del voltmetro, e procedere alla verifica sperimentale.

Cosa cambia al variare di  $V_x$ ?

### 3 Montaggio del voltmetro a conversione V/f

Il montaggio di questo circuito (figura 3 a pagina 7) è particolarmente agevolato dalla possibilità di riutilizzare la maggior parte dei blocchi già realizzati e collaudati. Si proceda come segue, partendo dallo schema precedente.

1. Spostare R3 dal commutatore al partitore che genera  $V_x$ .
2. Spostare il collegamento dall'integratore al comparatore (l'integratore ora va all'ingresso invertente) e rimuovere R5.
3. Spostare la tensione di riferimento dal commutatore all'ingresso del comparatore.
4. Staccare il monostabile dal commutatore e collegarlo, tramite R10, all'integratore.
5. Sostituire R7, che determina la durata dell'impulso del monostabile.

### 4 Esperienze sul voltmetro a conversione V/f

#### 4.1 Osservazione del funzionamento

Collegare i due canali dell'oscilloscopio all'uscita **C** dell'integratore e all'uscita **F** del monostabile. Sganciare la base tempi su quest'ultimo segnale, con pendenza positiva.

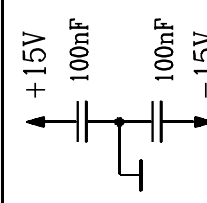
Osservare qualitativamente il corretto funzionamento del circuito al variare della tensione incognita. Si noti che, per ragioni sperimentali legate alla "eccessiva" semplificazione del circuito, probabilmente il voltmetro si blocca per piccole tensioni  $V_x$ , all'incirca tra 0 e  $-0.5$  V.

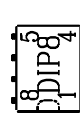
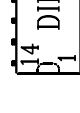
#### 4.2 Risoluzione

La misura della tensione si ricava con il contatore misurando la frequenza degli impulsi del monostabile.

Ricordando i ragionamenti relativi al voltmetro a doppia rampa, quale è la risoluzione del voltmetro realizzato?

ALIMENTAZIONI			
CHIP	+15	GND	-15
LM747	9,13	-	4
NE555	8	1	-
REF01	2	4	-



Circuiti integrati visti dall'alto	
	

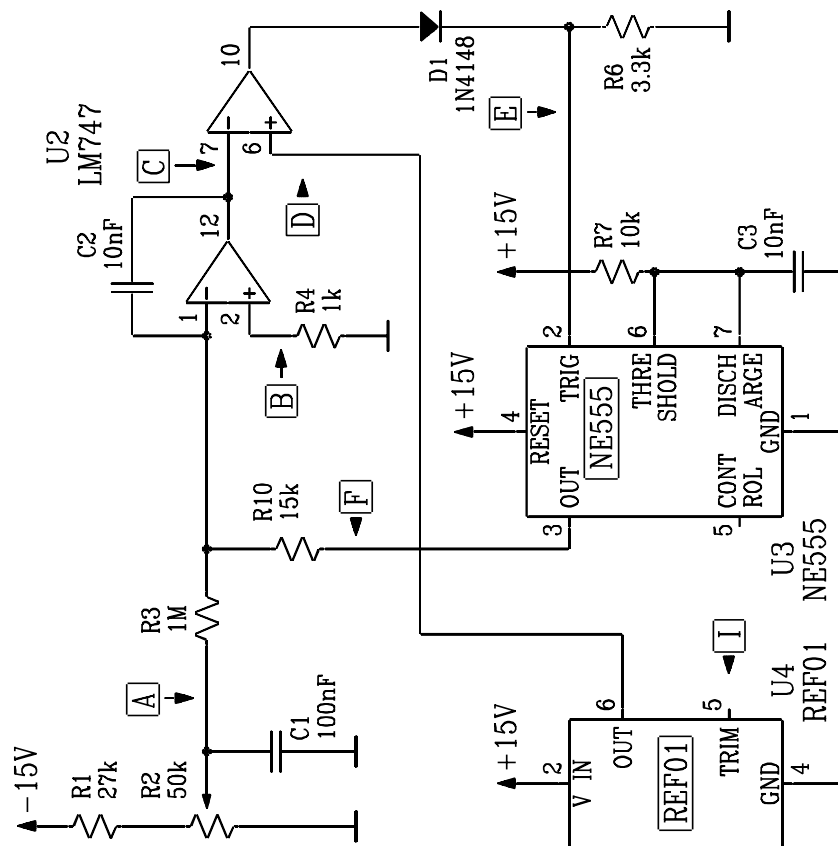


Figure 3: Schema del voltmetro a conversione tensione/frequenza.

### 4.3 Diagramma di taratura

Confrontare la misura di tensione con la lettura del voltmetro digitale (Philips o Hewlett Packard) usato come riferimento. Ricavare l'errore assoluto e relativo per 5 valori sperimentali e tracciarne i grafici.

Nell'eseguire il calcolo di conversione da frequenza letta a tensione misurata, supporre che l'impulso del monostabile assuma il valore della tensione di alimentazione, e che tutti i componenti abbiano i valori nominali.

### 4.4 Condensatore dell'integratore

Un errore nel condensatore dell'integratore interviene o meno nella misura di tensione?

Verificare, qualitativamente con l'oscilloscopio e con migliore precisione valendosi del contatore, ponendo un condensatore da 1 nF in parallelo a C2.

### 4.5 Resistore dell'integratore

In che modo intervengono gli errori del resistore R4 sulla misura della tensione  $V_x$ ? Verificare l'effetto alterando i valori del resistore (8.2 M $\Omega$  in parallelo a R3).

### 4.6 Offset dell'integratore

In che modo l'offset dell'integratore contribuisce all'errore della misura di tensione? L'errore dipende o meno dalla tensione  $V_x$ ?

La verifica sperimentale può essere fatta imponendo una tensione sul punto **B** tramite un resistore verso il positivo dell'alimentazione, analogamente a quanto fatto per il voltmetro a doppia rampa. Una prima verifica qualitativa può essere fatta con l'oscilloscopio, con un offset di circa 1 V (resistore da 15 k $\Omega$ ). Per una verifica più accurata, fatta con il contatore, è opportuno un offset inferiore, 100 mV (resistore da 150 k $\Omega$ ).

### 4.7 Tensione di riferimento

Quale è la conseguenza di un errore della tensione di riferimento (REF01) sulla misura della tensione  $V_x$ ?

Se l'ingresso trim è collegato a massa la tensione d'uscita sale, se è collegato all'uscita dello stesso REF01, la tensione scende.

Che analogia c'è tra l'errore della tensione di riferimento e l'offset del comparatore?

### 4.8 Impulso calibrato

Quale è l'effetto di un errore della durata dell'impulso calibrato generato dal monostabile? Si verifichi con le procedure già viste, ponendo un condensatore da 1 nF in parallelo a C3.

Quale è l'effetto di un errore di R10, che determina la corrente dell'impulso? Verificare ponendo in parallelo a R10 un resistore da 150 k $\Omega$ .

#### 4.9 Reiezione dei disturbi

Come funziona il meccanismo di reiezione dei disturbi nel voltmetro a conversione tensione / frequenza?

È possibile progettare un voltmetro per la minima sensibilità ai disturbi causati dalla rete di alimentazione (50 Hz e multipli)? Se sì, pensando allo schema proposto, dove sarebbe più ragionevole intervenire?

Si verifichino qualitativamente gli effetti di un disturbo costituito da una tensione alternata sovrapposta a  $V_x$ , limitandosi a cercare i punti di massimo e minimo relativi della sensibilità, procedendo come segue.

1. Regolare  $V_x$  circa a metà dell'escursione.
2. Togliere C1 dalla basetta (attenuerebbe eccessivamente il disturbo).
3. Regolare il generatore di segnali per una tensione di  $6 V_{pp}$  e accertarsi che il generatore abbia offset di 0 V.
4. Iniettare il segnale del generatore nel punto **A** tramite un resistore da 10 k $\Omega$  in serie ad un condensatore da 100 nF. **Attenzione:** non mandare una tensione continua sull'uscita del generatore di segnali).

Il disturbo così introdotto si manifesta come una disuniformità della pendenza della rampa dell'integratore (punto **C**) e come *jitter* degli impulsi all'uscita del monostabile (punto **F**).

Procedere alla verifica sperimentale, al variare della frequenza del segnale interferente. Cosa cambia al variare di  $V_x$ ?

Dopo aver osservato le forme d'onda all'oscilloscopio, e sempre in presenza del segnale interferente, si osservi il jitter di frequenza sul display del contatore, avendo cura di scegliere un tempo di gate ragionevolmente maggiore del periodo del segnale generato dal monostabile. Si giustifichi il comportamento del circuito.

Perché i convertitori tensione / frequenza "veri", che si trovano su alcuni cataloghi di componenti, hanno una frequenza a fondo scala di 1–2 MHz e talvolta anche di più?

## Tabelle utili

codice dei colori			
nero	0	$10^0$	
marrone	1	$10^1$	1%
rosso	2	$10^2$	2%
arancio	3	$10^3$	
giallo	4	$10^4$	
verde	5	$10^5$	
blu	6	$10^6$	
viola	7	$10^7$	
grigio	8	$10^8$	
bianco	9	$10^9$	
oro		$10^{-1}$	5%
argento			10%

## Condensatori

La capacità dei condensatori è spesso indicata in picofarad con un codice a tre cifre del tipo xyz dove

x e y sono le cifre significative della capacità  
z è il moltiplicatore, da intendersi come  $\times 10^z$ .

Esempio: 224 corrisponde a  $22 \times 10^4$  pF, ovvero 220 nF.

Il suffisso k, talvolta presente, indica che condensatore è ceramico (*non* si tratta di una moltiplicazione per 1000).

Un altro modo è quello di indicare la capacità in microfarad.

Esempio, .01 indica  $0.01 \mu\text{F} = 10$  nF; si noti l'assenza dello zero prima del punto decimale.

## Diode

La fascetta solitamente indica il catodo (la corrente fluisce dall'anodo al catodo). Non fidarsi, ma provare il diodo con un multimetro e una tensione di polarità nota, ricavata ad esempio dall'alimentatore.