

# INDUTTANZIMETRO da LABORATORIO

**L'induttanzimetro è uno strumento molto utile in laboratorio. Ecco come costruirne uno molto semplice ma allo stesso tempo molto efficiente.**

**D**a sempre per l'hobbista e non, lo strumento più prediletto dopo l'Oscilloscopio è l'induttanzimetro, capace di misurare il valore di un'induttanza che spesso affligge con la sua presenza nei circuiti anche il progettista più esperto. Spesso quando ci si accinge ad ingegnerizzare un prodotto, che esso sia un alimentatore o una centralina o un dispositivo oscillante o un amplificatore audio di certo è fondamentale l'uso delle induttanze e come accade è raro riuscire a realizzarle senza l'uso di questo fondamentale strumento di misura. Per poterlo realizzare ho dovuto dividere il progetto in due parti, la prima prevedeva la realizzazione di uno stadio oscillatore la cui frequenza variasse in funzione dell'induttore applicato e questo ha comportato non pochi problemi, la seconda ed ultima parte, era realizzare un frequenzimetro capace di leggere tale frequenza ed eseguire i calcoli opportuni per determinare il valore dell'induttore posto in misura. Misurare il valore di un'induttanza non è complicatissimo sicuramente prevede degli accorgimenti che non sempre trovano riscontro nella semplicità e nella economicità dello stesso circuito. Uno dei metodi più utilizzati consiste nel leggere la variazione di frequenza in accordo con il circuito oscillante LC, un secondo metodo è il ponte



di Maxwell da cui si ottiene una misura precisa senza che intervengano problemi dovuti alle oscillazioni e quindi al prevalere di fenomeni di disturbo, come la temperatura o azioni esterne. Questo secondo metodo è una misura diretta con la qua-

le è possibile conoscere anche il valore della resistenza offerta dall'induttore e con diversi accorgimenti è altresì possibile determinare il fattore Q definito fattore di merito, inteso come rapporto  $Q = X/R_s$ . Tanto più piccola è la resistenza statica

dell'induttore tanto maggiore sarà il suo fattore di merito che rende l'induttore di buona qualità. Un tipico schema riassuntivo del ponte di Maxwell è quello raffigurato in figura a - b - c. Come noterete abbiamo la figura a che rappresenta il ponte di Maxwell, la b è la sua applicazione completa delle compensazioni e la c in definitiva rappresenta lo schema a blocchi di come concettualmente dovrebbe essere ingegnerizzato il tutto. E' decisamente più complesso..... è chiaro che la misura indiretta che ho scelto per ovvi motivi di convenienza e semplicità ha prevalso, dando comunque vita ad un ottimo strumento di alta precisione.

## SCHEMA ELETTRICO

Avendo optato per la realizzazione dell'induttanzimetro partendo da un concetto di misura indiretta, ho diviso il circuito in due sezioni, la figura 1 riguarda la sezione di controllo e di gestione dell'apparato, la figura 2 è il cuore del sistema; per i più intraprendenti e un classico circuito di oscillatore ma con una peculiarità, e realizzato con un comparatore LM311 insostituibile per questa applicazione date le sue caratteristiche, anche se è comunque utilizzabile in sua sostituzione il Max4413 di non facile reperibilità. La figura 1 è la prima sezione ad essere stata realizzata, sostanzialmente è un frequenzimetro dotato di prescaler. Il microcontrollore utilizzato per questa applicazione è un Atmega328 lo stesso montato da Arduino, vedi IC1; la sua funzione è quella di leggere la frequenza presente in ingresso al pin 14 dopo essere stata scalata dal prescaler IC6 un comunissimo contatore a dodici stadi CD4020. Come vedremo in seguito quando parleremo dell'oscillatore la frequenza a cui ci riferiamo è dell'ordine dei centinaia di KHz, data la frequenza così alta ho ritenuto necessario scalarla di 2048 volte per assicurarmi la massima precisione possibile nella lettura. La scelta sull'utilizzo del prescaler è dettata da diversi aspetti: Il primo dovuto all'impossibilità di agganciare il segnale da leggere a frequenze così alte senza perdere precisione, la seconda dovuto ad un eccessivo uso della CPU alle richieste di interrupt indi-

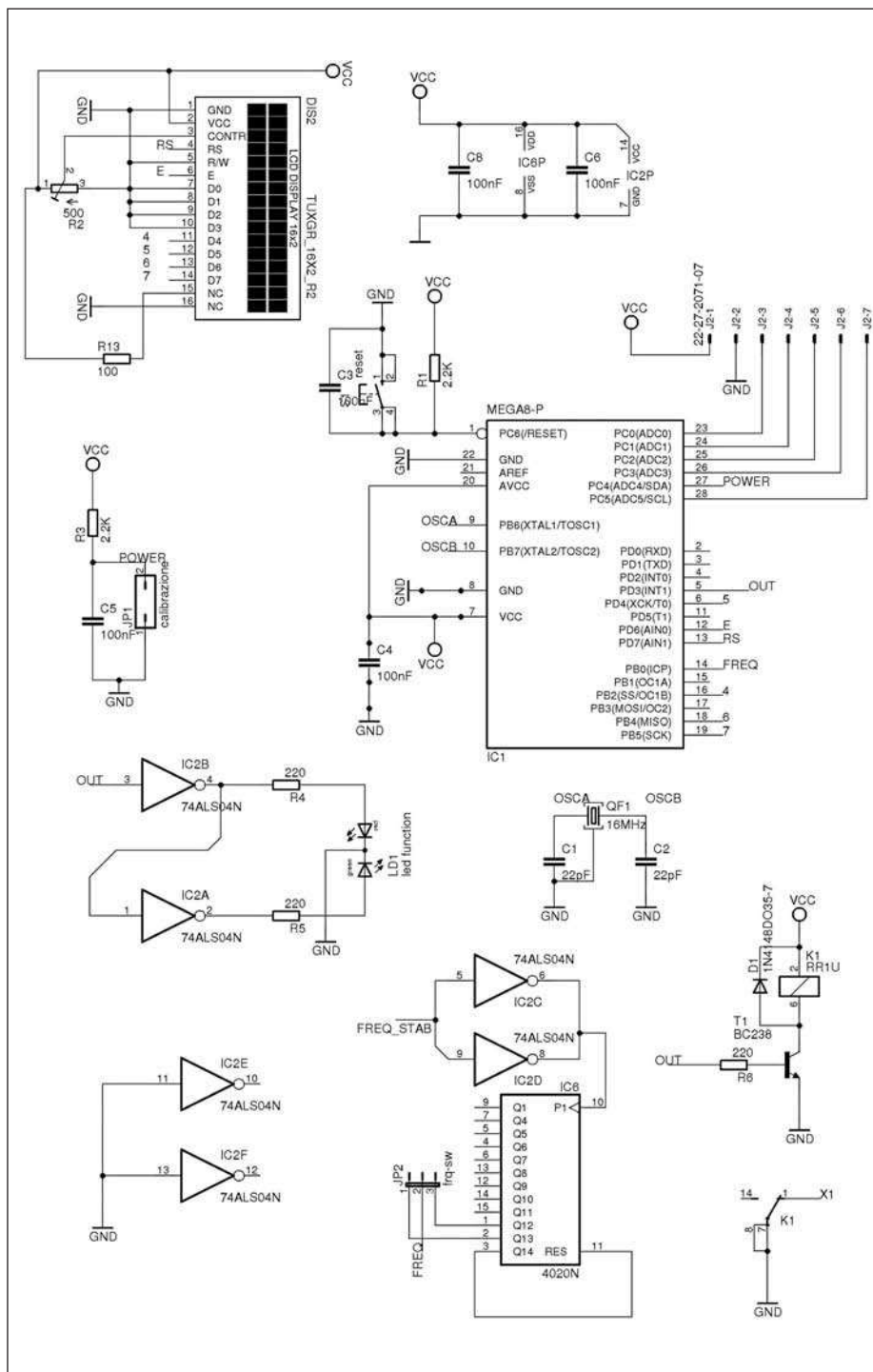


Figura1: schema elettrico della sezione di controllo e gestione dell'apparato.

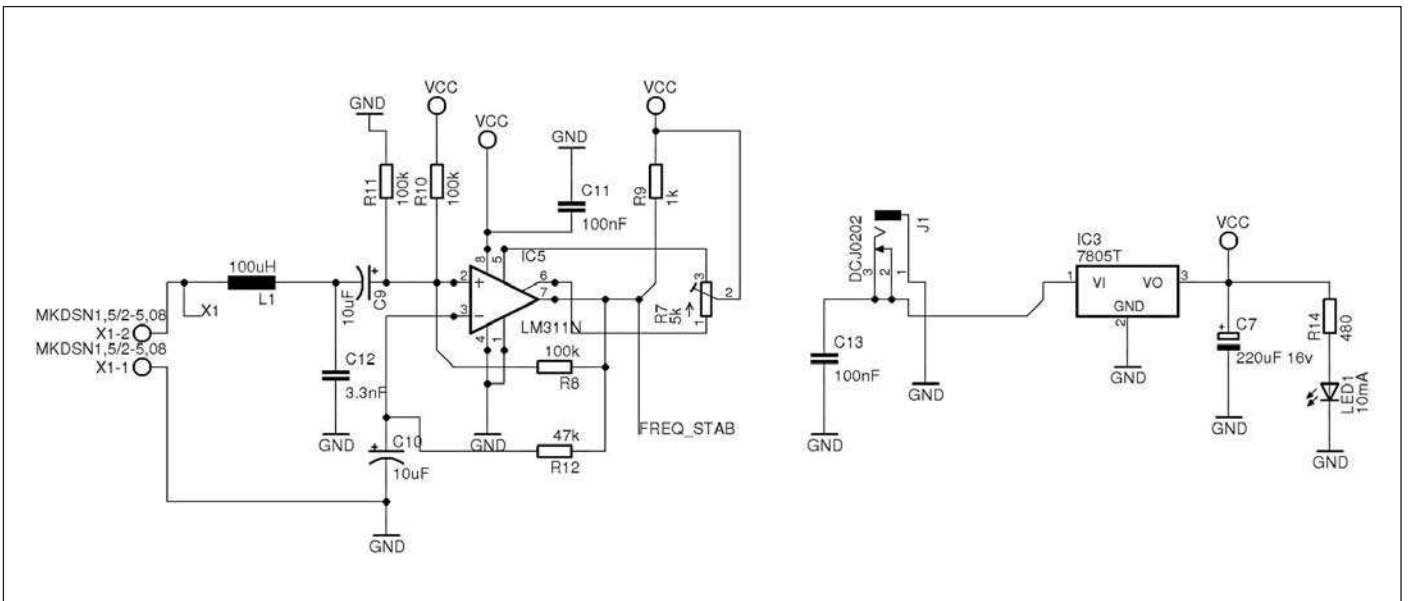


Figura 2: schema elettrico del cuore dell'induttanzimetro

spensabili per il conteggio; diversamente, non utilizzare gli interrupt, comporterebbe perdita di informazioni e quindi precisione. Ecco perchè un prescaler è la giusta soluzione. Gli integrati IC2A e IC2B sono dei comunissimi SN7404, due dei quali sono utilizzati per visualizzare i due stati di IC1, il primo led rosso quando è in

fase di calibrazione, il secondo led verde a calibrazione avvenuta e in attesa di effettuare la misura, IC2C e IC2D in parallelo bufferizzano l'uscita dell'oscillatore con il prescaler migliorandone l'accoppiamento e il segnale. Il transistor T1 ha il compito di pilotare un relay di tipo reed (silenzioso) il cui compito è quello di garantire la mes-

sa a massa dell'induttanza campione L1 (induttanza di precisione da 100uH) per effettuare la calibrazione dello strumento, terminata la calibrazione T1 si interdice e il relè si stacca isolando dalla massa l'induttore e predisponendo così l'apparato ad effettuare una prima misura. Ricordo ai lettori che tutto questo è gestito

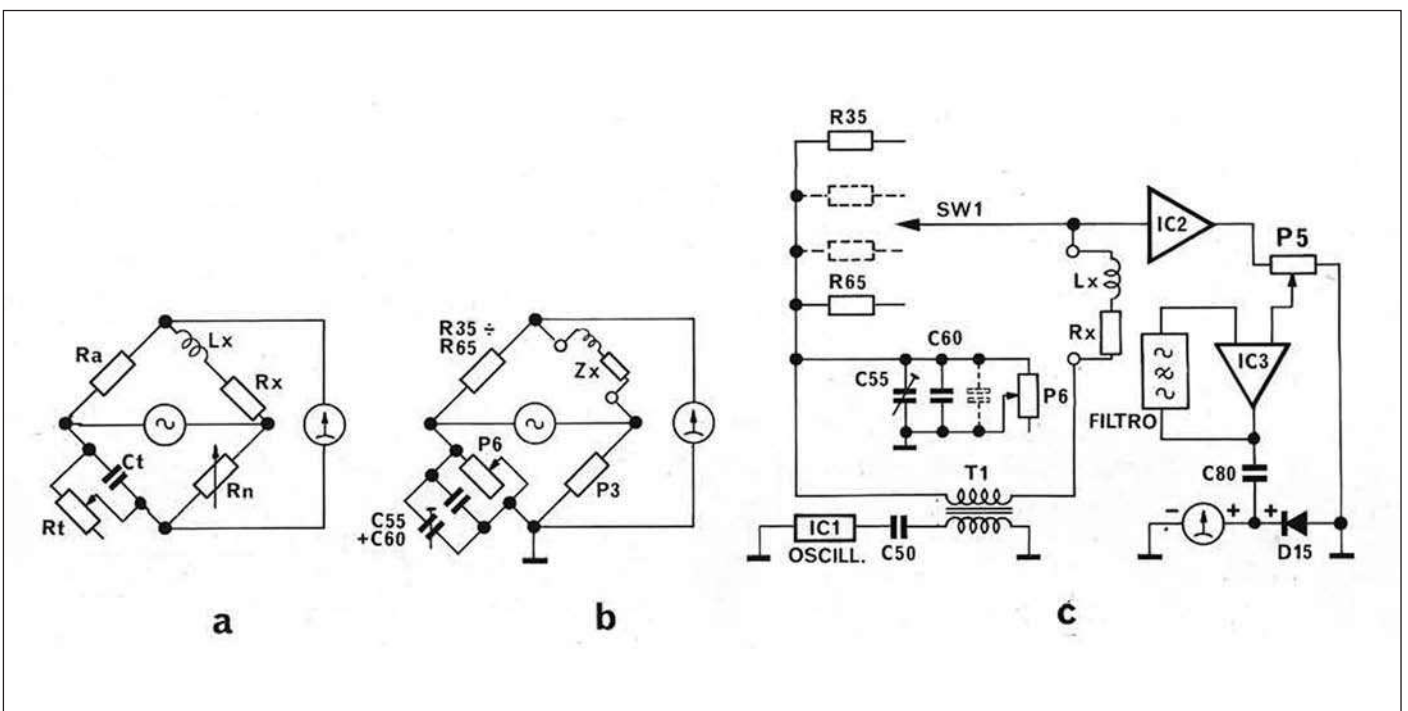


Figura a - b - c: possibili variazioni del ponte di Maxwell.





# Next Generation Intelligent LCDs

Coupon per l'acquisto degli starter KIT con il 10% di sconto: R8Z6EK1FKKPO

10.2"

7"

5.7"

3.5"

3.0"

4.3"

2.8"

Control Center

Thursday, January

Water Usage

Water Used Today	70 Gallons
Water Used Yesterday	582 Gallons
Average Daily Water Usage	4 Gallons
	70 Gallons
	651 Gallons

Water Collector

364

538

17.66

Display Specification

Technical Data

Features

Controller

MicroSD

Atten.Line

AL1 AL5

AL2 AL6

AL3 AL7

AL4 AL8

Atten./dB

Set Attenuation

10.9

Edit Parameters

Temperature 320 °C

Time from 5.0 s

Player

16:26

Snooze

iLCD Display Orientation Test

Rotate left or right

demmel products

CODICE MIP 2833138

**RISPARMIA TEMPO.  
RISPARMIA DENARO.  
RISPARMIA MANODOPERA.**

**Riduci significativamente i costi di sviluppo  
Time-to-market ultra-veloce per le tue applicazioni**

dal microcontrollore. Veniamo ora alla descrizione dell'oscillatore raffigurato nella figura 2, a prima vista sembrerebbe un oscillatore RC che nulla centra con tutto il discorso, in realtà le cose non sono come sembrano, infatti il cuore del circuito non è la rete LC con risonanza parallelo, ma il comparatore di tensione utilizzato, un comunissimo LM311 che per la sua tecnologia è praticamente insostituibile almeno in questa applicazione. Per meglio comprendere il suo funzionamento immaginate che la rete LC non ci sia, in questa ipotesi troviamo che sull'ingresso invertente di IC5 è presente una tensione fissa pari a  $V_{cc}/2$  realizzata dal partitore di tensione costituito da R10 e R11. R8 altro non è che una retroazione positiva che provoca un isteresi nel comparatore in modo da garantire il giusto punto di lavoro onde evitare per così dire, esitazioni che provocherebbero delle oscillazioni non desiderate rendendo instabile il tutto. sul piedino invertente troviamo R12 e C10 classica rete RC con retroazione positiva di R12.

Supponiamo che all'accensione l'uscita di IC1 sia positiva, cosicché grazie a R12 il condensatore C10 inizia a caricarsi fino a superare di quanto basta la soglia fissata da R10 e R11 di  $v_{cc}/2$ , a questo punto l'uscita di IC1 commuta in negativo e il condensatore C10 comincia a scaricarsi fino a portarsi ad un livello inferiore di  $V_{cc}/2$ , e il ciclo si ripete. Come è facile intuire in uscita di IC1 ritroviamo un segnale ad onda quadra la cui frequenza è stabilita dalla rete R12 e C10. Ora inseriamo la

coppiamento L1-C12, al primo impulso di IC1 una parte di questo viene riportato grazie a R8 e C9 nella rete L1-C12 che inizia ad oscillare, senza ulteriori stimoli l'onda sinusoidale generata tenderebbe a smorzarsi, ma in realtà questa piccola oscillazione viene reintrodotta sempre con C9 al comparatore che inizia ad oscillare alla frequenza di risonanza del gruppo L1-C12 e non più a quella di R12 e C10.

Questo meccanismo unito alla formidabile struttura del LM311 garantiscono un'ampia escursione di frequenza e di conseguenza dei valori di  $L_x$  misurabili. Di fatto ciò che viene misurato non è l'induttanza ma l'impedenza, poiché sappiamo bene che un induttore ha una sua resistenza finita dovuta al filo di cui è composto.

L'induttanza L1 da 100uH è di precisione come anche il condensatore C12 da 3,3nF.

La frequenza di risonanza del gruppo L1-C12 è data dalla formula che segue:

$$Freq\_Osc = 159000000 / (L1 * C12)^{0.5}$$

il procedimento con il quale viene effettuata la misura è semplice:

All'accensione il micro controlla T1 che attacca il relè cortocircuitando a massa L1, che così risulta in parallelo a C12. Allo stesso istante l'uscita out di IC1 si porta bassa accendendo il led rosso che indica l'inizio della calibrazione, a questo punto IC1 attende che venga premuto il pulsante P1 collegato in JP1 per iniziare la calibrazione. Come P1 viene premuto IC1 legge la frequenza di risonanza di L1 e C12 fissata con i valori dello schema a:

$$Freq\_Osc = 159000000 / (100 * 3300)^{0.5} = 276783,47 \text{ Hz}$$

quindi per poter estrapolare il valore dell'induttanza in esame, e cioè 234uH il processore esegue semplici calcoli applicando la seguente formula:

$$L_x = (Freq\_Osc^2) / (Freq\_new^2 - 1) * 100 = 234 \text{ uH}$$

Come si vede non fa altro che sottrarre 1 al rapporto dei quadrati delle due frequenze e moltiplica per 100, il risultato è esattamente il valore dell'induttanza misurata.

Quindi l'unico nostro parametro diventa la frequenza con la quale è possibile risalire al valore dell'impedenza incognita. Tenete conto che in 234uH ci sono i contributi di  $R_s$  (resistenza filo) ed eventuali capacità parassite e così via.

In figura 1 è presente un connettore jumper a tre poli con il quale possiamo scalare la frequenza base da 2048 a 4096, occorre cortocircuitare il 2 con il 3, in pratica il sistema scala così a 2048. In questa versione non è gestito il 4096, quindi non sbagliare poiché la misura sarebbe errata. Collegare a JP1 un pulsante che servirà a dare l'OK al processore per iniziare la calibrazione automatica. Utilizzare per L1 e C12 in figura 2 componenti di precisione e per L1 un fattore di merito molto alto, così la misura sarà ancora più attendibile. Per chi avesse domande o curiosità può contattarmi attraverso la rivista, sarò lieto di rispondere alle vostre richieste. ◻



rete LC ma disaccoppiando la tensione continua dall'ingresso invertente di IC1 con un condensatore elettrolitico da 10uF vedi C9. Supponiamo che all'istante iniziale la frequenza di IC1 sia dieci volte inferiore a quella di risonanza dell'ac-