

Un LC Meter digitale con microcontrollore PIC

Un insostituibile aiuto per il laboratorio

di Stefano Barbanti IV3LZQ

Introduzione

Questo articolo descrive la realizzazione di uno strumento di misura digitale in grado di misurare con sufficiente accuratezza (1% minimo) i valori di capacità o di induttanza dei componenti connessi alle due boccole di misura. Si basa sull'utilizzo di un microcontrollore della famiglia PIC della Microchip, e può essere alimentato con una pila da 9Vdc, risultando quindi portatile, oppure con un'alimentazione esterna di 12 V per l'utilizzo in laboratorio.

Misura induttanze da 10nH fino a 100 mH e capacità da 0.1pF a 900nF, mostrando il valore su un display LCD a 16 caratteri.

La necessità di realizzare questo circuito è nata quando mi sono imbarcato nella costruzione di un'antenna Yagi a 2 elementi con delle trappole (circuito risonante L-C in parallelo) realizzate con condensatori costruiti con vetronite a doppia faccia con spessore 1.5 mm. Dovendo realizzare ben otto trappole, in due gruppi di quattro uguali fra di loro, ben si capisce l'esigenza di uno strumento di misura affidabile e preciso, per ottenere una buona ripetibilità nella costruzione.

Il circuito presentato è la mia rielaborazione e modifica della parte hardware e software del progetto apparso su Internet pro-

posto da Phil Rice VK3BHR (si veda il link nella Bibliografia).

Il principio di funzionamento

Il circuito si basa su un oscillatore con un circuito LC, e su un condensatore campione, di valore noto e possibilmente con la minor tolleranza possibile, e un microcontrollore in grado di fungere da oscillatore, eseguire misure di frequenza, fare dei calcoli e visualizzare i risultati su un display LCD.

Si veda lo schema in Fig.2.

Va da se che i componenti del circuito LC (L1, C3 e C5) devono essere di buona qualità ed alto Q, i condensatori C3 e C5 possibilmente a mica argentata.

Tramite delle misure di frequenza con e senza il condensatore campione inserito, il microcontrollore calcola i valori di capacità ed induttanza del circuito oscillante LC fisso (L1,C3) e poi dei componenti da misurare inseriti, che riconosce come L o C in base alla posizione dello switch SW1 a/b.

IL CIRCUITO

L'oscillatore

L'oscillatore è basato sull'utilizzo dei due comparatori di tensione presenti nel PIC 16F628. Nel programma del PIC, il registro di configurazione dei comparatori viene impostato a CMCON=110, ossia secondo la

Fig. 1 - Foto strumento finito.



configurazione riportata in Figura 3.

Con riferimento allo schema di Fig.2, in pratica, all'accensione, la tensione sul pin 1 del PIC - Vin+ del comparatore C1 del PIC - è portata a 2,5 volt dal partitore costituito dalle due resistenze da 100 kΩ (R1 e R2) collegate tra l'alimentazione e massa, forzando l'uscita (pin 2) ad un livello di 5 volt.

L'uscita carica il condensatore costituito da C8 e C9 tramite la resistenza R6, fino a quando la tensione al pin 17 raggiunge e supera i 2,5 volt. Come la tensione su tale pin raggiunge 2,5 volt l'uscita passa a un livello logico basso, provocando un transitorio nel circuito LC composto da L1 e C3. Il transitorio fa sì che il circuito inizi ad oscillare alla propria frequenza di risonanza, provocando la comparsa di un segnale ad onda quadra alla frequenza di risonanza all'uscita del comparatore di tensione (pin 2 del PIC).

L'onda quadra in uscita è accoppiata al circuito accordato attraverso R4 e C6 e C7 in modo da sostenere l'oscillazione in modo permanente.

Il resto del circuito

In base alla posizione del selettore SW1a/b, si sceglie se misurare una capacità (posizione C), e in tal caso la capacità incognita viene connessa in parallelo a C3, così come avviene per l'induttore L1, oppure un'induttanza, che in tal caso viene connessa in serie a L1 verso massa. Il porre a massa il pin 12 del microcontrollore, informa il programma che si è nella posizione per misurare un'induttanza.

Il microcontrollore controlla l'inserzione del condensatore campione tramite il relè K1, attivato dal piedino 13 attraverso R3 e il transistor Q1. Si ricorda che la massima corrente erogabile dalle uscite digitali del PIC è di circa 30 mA, da cui la necessità di inserire il transistor Q1.

Le linee usate per controllare il display LCD sono anche impiegate per leggere lo status dei quattro pulsanti che consentono

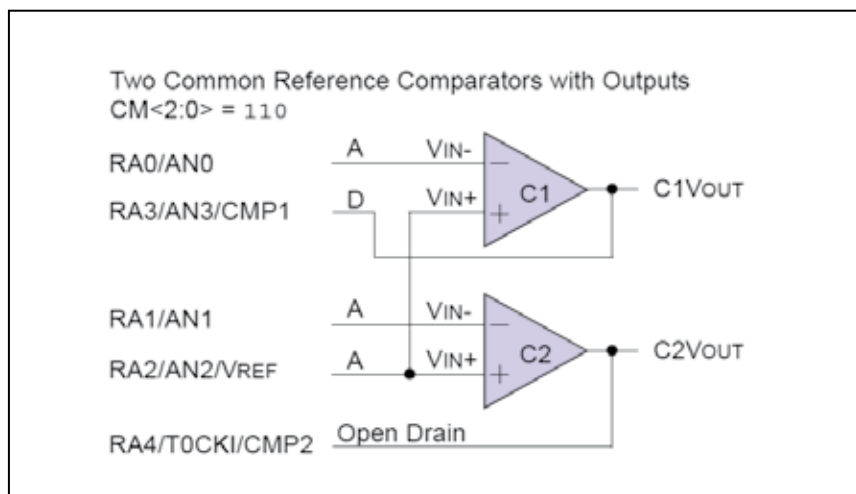


Fig. 3 - Schema comparatori PIC

di visualizzare le frequenze F1 e F2, rispettivamente frequenze di oscillazione senza e con C5 inserito, e aggiustare i valori letti, in più o in meno, disponendo di un condensatore campione esterno, per una ulteriore eventuale calibrazione manuale. Completa il circuito la lettura dello stato del pulsante di reset, che forza il microcontrollore a rieseguire la procedura di calibrazione automatica, e lo stadio regolatore di tensione di ingresso, con un classico regolatore monolitico LM 7805 e relativi condensatori di filtro.

IL SOFTWARE DEL PIC

La misura di frequenza avviene nel seguente modo.

L'uscita dell'oscillatore, tramite il secondo comparatore interno è disponibile sul pin 3. Con tale segnale, ad ogni fronte di salita del segnale si incrementa un contatore a 16 bit all'interno del PIC.

In un registro apposito del micro si accumula il conteggio, per un periodo di 0.1 secondi.

La frequenza è quindi calcolata come il valore del conteggio accumulato diviso per il periodo di misura (0.1 s).

Fase di calibrazione

In dettaglio, nella fase di calibrazione, eseguita ad ogni accensione o quando richiesta tramite

la pressione del pulsante di reset:

1. il PIC misura, senza C5 inserito, la frequenza di risonanza del gruppo L1 - C3:

$$F1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1 \cdot C3}}$$

2. misura quindi, dopo aver inserito C5 attivando il relè K1, la frequenza di risonanza del gruppo L1 - (C3+C5):

$$F2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1 \cdot (C3 + C5)}}$$

3. calcola quindi

$$C3 = F2^2 \frac{C5}{(F1^2 - F2^2)}$$

(il valore di C5 è noto e scritto nel SW del PIC)

4. e poi calcola

$$L1 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot F1^2 \cdot C3}$$

Calcolati i valori di L1 e C1 il PIC è pronto a misurare dei componenti di valore incognito.

Ovviamente nei valori calcolati di L1 e C1 sono incluse le capacità e induttanze parassite dei terminali di misura, del circuito stampato, etc, quindi ad ogni calibrazione automatica tali valori "parassiti" sono sempre considerati, e quindi il valore misurato risulta sempre al netto di tali valori.



Fig. 4 - Schermata calibratura

Durante l'esecuzione di tale fase il display presenta appunto la scritta "Calibratura", come visibile in Fig. 4.

Fase di misura - Capacità (C)

Scegliendo tramite SW1 a/b la posizione di misura di capacità (C), la capacità incognita C_x risulta in parallelo a C_3 , quindi dalla misura della frequenza F_2

$$F_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot (C_3 + C_x)}}$$

si calcola quindi

$$C_x = \left[\left(\frac{F_1^2}{F_2^2} \right) - 1 \right] C_3$$

Il risultato viene quindi presentato sul display, come in Fig. 5.

Fase di misura - Induttanza (L)

Scegliendo tramite SW1 a/b la posizione di misura dell'induttanza (L), la capacità incognita L_x risulta in serie a L_1 , quindi dalla misura della frequenza F_2 :

$$F_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(C_3 + L_1 + L_x)}}$$

si calcola quindi

$$L_x = \left[\left(\frac{F_1^2}{F_2^2} \right) - 1 \right] L_1$$

Il risultato viene quindi presentato sul display, come in Fig. 6.



Fig. 5 - Schermata misura C

Il valore della capacità campione scritto nel software

Poiché il calcolo dei valori di L_1 e C_3 sono basati sull'utilizzo del valore di C_5 , è ovvio che tale valore, scritto nel software del PIC e inserito nella memoria EEPROM, deve risultare il più preciso possibile. Ovviamente il valore da me scelto e inserito in base a quanto avevo disponibile nel cassetto, 1100 pF a mica argentata, può essere cambiato nel codice sorgente, se avete difficoltà nel reperirlo; comunque non dovrebbe essere difficile arrivare a tale valore tramite la connessione in parallelo di un condensatore da 1000 pF e uno da 100 pF, oppure uno da 820 pF e uno da 270 pF. Da tenere presente che la misura può essere ricalibrata manualmente tramite i pulsanti + / - disponendo di un condensatore C_x di valore noto, magari con tolleranza al 1% o meglio di meno...

Il programma sorgente completo

Rispetto al programma originale di Phil, VK3BHR, reperibile sul suo sito, vedi Bibliografia punto 1), ho apportato alcune modifiche:

1) ho cambiato il modo di gestione della visualizzazione dei risul-

tati, in caso questi risultassero negativi, in effetti un valore negativo misurato non aveva molto significato fisico;

2) ho tradotto in italiano le scritte del display;

3) ho cambiato il valore del condensatore di riferimento in base al valore che avevo a disposizione.

Per il resto il programma è davvero ben fatto, quindi ho cambiato il minimo indispensabile.

Il programma sorgente, in assembler, è disponibile su richiesta tramite mail al mio indirizzo di posta elettronica, vedere nelle Conclusioni.

Viceversa il programma compilato, in formato .HEX, da inserire in un PIC 16F628 o 628A "vuoto", con un programmatore opportuno, come quello da me presentato qualche tempo fa su questa rivista, è scaricabile liberamente dal sito della rivista Radiokit Elettronica.

Fig. 6 - Schermata misura L



Su richiesta posso fornire un PIC già programmato, previo rimborso anticipato del costo del componente e delle spese di spedizione, con il valore della vostra capacità "campione", se diverso dai miei 1100 pF.

La reperibilità dei componenti utilizzati e i componenti "particolari"

La maggioranza dei componenti utilizzati sono di facile reperibilità nei normali negozi di componenti elettronici, prestate solo attenzione ai seguenti componenti:

L1: le induttanze miniatura da 100 microhenry (o da 82 μ H) sono solitamente facilmente reperibili, e sono di forma simile a delle resistenze da 1W oppure in contenitore rettangolare plastico, vedi induttanze della Neosid, quale quella da me usata, e di solito con un discreto Q.

C3: Il valore non è critico, è importante la qualità, ossia la stabilità con la temperatura e il Q; personalmente ho usato due condensatori in mica argentata da 430 pF in parallelo, per un totale di 860 pF. L'importante è che la frequenza di risonanza del gruppo L1 - C3 sia entro i 650 kHz (650000 Hz), altrimenti il display presenta la scritta "Fuori Scala".

La frequenza di risonanza di tale gruppo L1 - C3 è calcolabile con la formula:

$$F1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1 \cdot C3}}$$

Quindi se disponete di valori diversi da quelli dello schema di Fig. 2, potete verificare se la coppia scelta ha una frequenza entro i limiti previsti.

C5: Anche qui vale il discorso fatto per C3, ossia è importante la qualità, ossia la stabilità con la temperatura e il Q, oltre che la precisione. Si veda quanto scritto a proposito, nel paragrafo del software del microcontrollore per valori diversi da quello dello schema.

Usando per C3 e C5 dei normali condensatori ceramici, si

abbia almeno l'accortezza di usare almeno degli NPO, viceversa la lettura "deriverà" in continuazione, in base alla deriva termica dei condensatori usati.

C6,C7,C8 e C9: qui servono dei condensatori al tantalio, che sono caratterizzati da bassi valori di ESR (resistenza serie parassita) e al posto delle coppie C6 e C7, C8 e C9, collegate in parallelo, con ciascun condensatore da 4.7 μ F, è possibile usare solo C6 e C8 ciascuno da 10 μ F, sempre al tantalio. Come al solito ho usato quanto disponibile nelle cassettiere...

K1: Ho usato un relè miniatura Matsushita del tipo DF2-DC5V, come al solito proveniente dalla cassetteria; potete usare qualunque altro tipo con caratteristiche simili, ovviamente dovrete poi modificare lo stampato per le eventuali diverse connessioni e piedinatura che esso presenterà.

Il display LCD a 16 caratteri, il quarzo da 4MHz e il microcontrollore: questi tre componenti sono facilmente reperibili presso qualunque fiera dell'elettronica, oppure nei migliori negozi di elettronica.

Da Franco Rota, RF Elettronica, <http://www.rfmicrowave.it/>, trovate tutti i componenti "più" difficili qui utilizzati, inclusi i condensatori a mica argentata.

La costruzione

Avendo realizzato un circuito stampato con l'ottimo KiCad, si veda la Fig.7 per la disposizione componenti, ne consiglio la realizzazione per ottenere un risultato più "professionale" nella realizzazione.

Tuttavia si può usare anche una comune millefori, evitando cablaggi troppo lunghi e razionalizzando la disposizione dei componenti.

Per quanti desiderano realizzare lo stampato, si veda la Fig.8, circuito stampato in versione "mirrored", già pronto per essere "stirato", usando i canonici appositi fogli "blu", oppure usando la analoga tecnica presentata recentemente su questa rivista. I

meglio attrezzati potranno facilmente usare la tecnica della fotoincisione usando una fotocopia su lucido della Figura 8.

Una volta realizzato lo stampato, forare inizialmente con una punta da 0.8mm, per poi in caso allargare i fori dove necessario.

Raccomando di usare uno zoccolo per il microcontrollore, al fine di non bruciarlo durante la saldatura. Usare a tal proposito un saldatore da non oltre i 25W a punta sottile e stagno di ottima qualità da non oltre 0.5mm... 0.7mm.

Come prima cosa installate i quattro ponticelli sul lato componenti, si veda la Figura 7, in particolare quello sotto lo zoccolo dell'integrato risulta impossibile installarlo dopo.

Mi raccomando attenzione alle polarità dei condensatori al tantalio, e degli elettrolitici, al verso del 7805 e del transistor Q1 e alla polarità del diodo 1N4007 e al corretto verso del PIC sullo zoccolo.

Il display, in base al tipo da voi reperito, dovrebbe essere montabile direttamente sullo stampato, previa installazione di una riga di 15 piedini a 90°, oppure cablato alla basetta, tutto dipende da dove volete installare la realizzazione. Nel mio caso, sono partito con il montaggio su stampato, salvo poi finita la messa a punto passare al cablaggio per il montaggio a pannello, si veda la Fig. 9 per maggiori dettagli.

Anche per il display prestate attenzione alla corretta piedinatura, il pin 1 va cablato al pin1 sulla basetta e così via...

Fare attenzione anche al cablaggio del selettore SW1 a/b, in quanto le posizioni "esterne" del selettore risultano invertite sul circuito stampato, si veda la Fig. 7 con attenzione.

Collaudo e taratura

Montato il tutto, prestando attenzione alle polarità degli elettrolitici e del diodo, e alla piedinatura del regolatore e del transistor, senza integrato nello zoccolo, date un'ultima controllata,

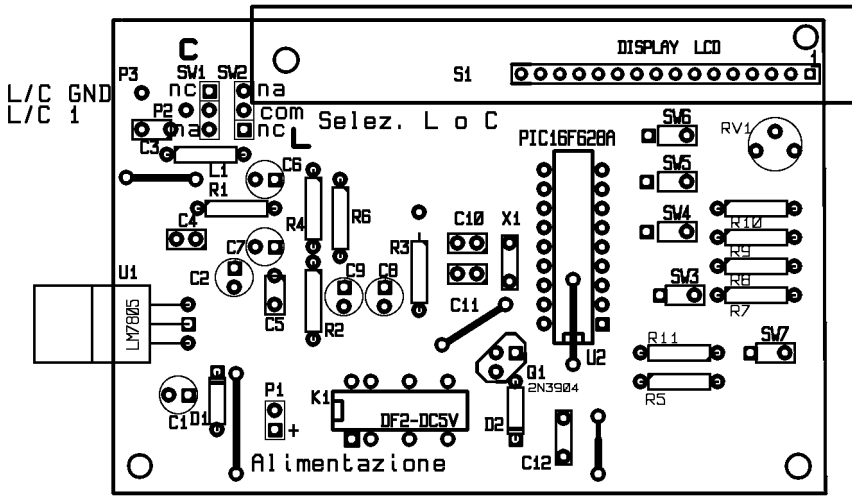


Fig. 7 - Disposizione componenti circuito stampato.

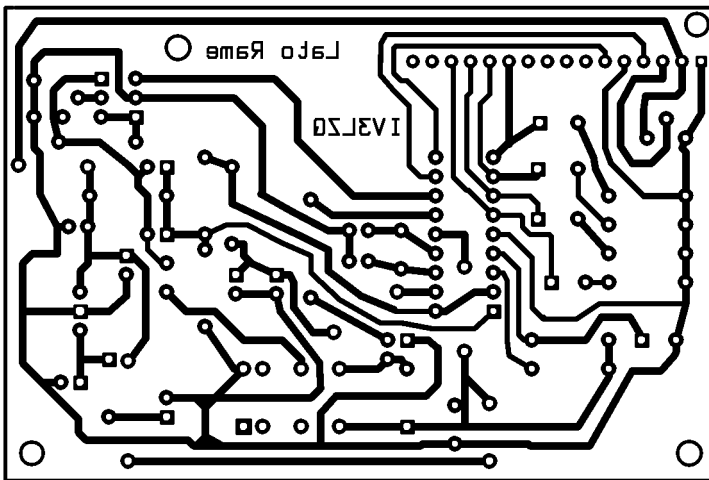


Fig. 8 - Circuito stampato mirrored.

e verificate con un multimetro che non ci siano corti "secchi" all'ingresso della tensione di alimentazione. Se è tutto regolare, applicate quindi circa 9...10V all'ingresso di alimentazione, possibilmente con un alimentatore protetto in corrente, o al limite una pila da 9V, verificando con il multimetro che all'uscita del regolatore 7805 siano presenti i 5V, così come tra il pin 14 e il pin 5 del PIC, aiutandovi con lo schema circuitale, per individuare i punti di misura.

Se le tensioni sono presenti nei punti giusti, è ora di togliere l'alimentazione e inserire il PIC 16F628 (ovviamente dopo averlo

programmato...), prestando attenzione al verso e alla posizione del pin 1. Ricollegate quindi l'alimentazione, e verificate poi quanto scalda il regolatore 7805: dovrebbe essere possibile tenerci il dito sopra senza scottarsi. Tenete presente comunque che il 7805 scalderebbe proporzionalmente alla tensione applicata in ingresso, vi consiglio di non eccedere comunque i 15...16 volt

; ad esempio per 10 mA assorbiti sul 5V con 16V in ingresso, dissipa $(16-5)V \times 10mA = 110 mW$, quindi è poi normale che senza dissipatore un po' scaldi.

Se tutto è corretto, all'accensione dovreste udire il click del relè K1 che si eccita e sul display dovrebbe comparire la scritta iniziale "Calibratura", come mostrato nella Fig.4.

Scollegate qualunque eventuale condensatore dalle bocche di misura e premete il pulsante di reset per ripetere la calibratura.

Se il selettore si trova sulla posizione "C" dovreste quindi vedere il display indicare "C= 0.0 pF", come nella Fig.1, viceversa se si trova su "L" otterrete la scritta "Fuori Scala".

IMPORTANTE

La taratura, senza alcunché collegato alle bocche di misura, va sempre e solo eseguita premendo il pulsante di reset, con il selettore SW1a/b nella posizione "C", viceversa si ottengono valori sballati o la scritta "Fuori Scala", vedi Fig.10. Ovviamente tutto ciò che viene usato per collegare il componente sotto misura allo strumento va lasciato inserito durante la fase di taratura, affinché i valori parassiti di L e C vengano inseriti nell'azzeramento dello strumento.

Fig. 9 - Foto interno realizzazione





Fig. 10 - Schermata fuori scala

Provate quindi a commutare SW1 a/b sulla posizione L, e dopo aver ottenuto "Fuori Scala", senza alcun induttore collegato, inserite un induttore o un ponticello, dovrete leggere "L = ... uH" oppure "L = 0 uH", come in Fig.6.

Premendo inoltre il tastino F1 dovrete visualizzare la frequenza di oscillazione del gruppo L1 - C3 in decine di kHz, dovrete ottenere un valore tra i 45000 e 60000 (450...600 kHz), mentre con il tastino F2 dovrete ottenere quella di risonanza con L1 - (C3 + C5) che quindi risulterà più bassa del valore di F1.

Se leggete "00000" non scoraggiatevi, significa solo che il circuito LC non oscilla, probabilmente avete qualche cablaggio sbagliato o mancante nella parte oscillatore.

Se invece leggete sempre "Fuori scala", come in Fig.10, con il selettore sulla posizione "L", anche con un jumper fra le boccole di misura, vuol dire che vi manca qualche collegamento al selettore SW1 a/b.

Se invece leggete sempre "Fuori scala" in qualunque posizione di SW1 a/b, anche dopo averne verificato i cablaggi, significa che la frequenza massima di oscillazione è la di fuori dei limiti previsti, ossia maggiore di 655 kHz o inferiore ai 300 kHz, basterà installare dei valori per L1 e C3 entro i limiti previsti per la frequenza di risonanza, vedere il paragrafo sulla reperibilità dei componenti utilizzati per maggiori dettagli.

Quando si misura un componente occorre considerare la frequenza di risonanza propria del componente stesso e la frequenza di oscillazione dello strumento. Ciascun componente reale è schematizzabile come un circuito risonante R-L-C, parallelo nel caso di un induttore e

serie per un condensatore, dove, ad esempio, per un induttore i valori di R e C sono i valori parassiti di resistenza del filo costituentel'avvolgimento e di capacità parassita totale interspira dello stesso. Nel caso di un condensatore si considerano principalmente i valori di induttanza parassiti dei suoi terminali.

Conoscendo il valore di capacità parassita e il valore dell'induttore si calcola la frequenza di risonanza propria del componente, che ovviamente dipende dai due valori citati.

Quindi un induttore e un condensatore si comportano come tali per frequenze al di sotto appunto della frequenza di risonanza propria del componente.

Ovviamente i componenti, in particolare gli induttori, adatti per alte frequenze, HF, ossia tra 1...30 MHz presentano risonanze proprie solitamente nel campo delle VHF.

Tenendo presente che il nostro oscillatore lavora intorno ai 500 kHz, vada se che l'induttore sotto misura debba presentare una frequenza di risonanza propria ben più alta di 500 kHz, pena la lettura di un "Fuori Scala", e lo stesso vale per un condensatore.

Mi è infatti capitato di misurare un induttore di grossa potenza progettato per operare a 50Hz ottenendo appunto tale indicazione, sebbene il valore di targa rientrasse nel range misurabile dallo strumento; il

fenomeno è spiegato appunto dalle considerazioni di cui sopra...

Calibratura manuale

Se disponete di un condensatore campione esterno di valore noto o di precisione (ad esempio 100 pF ± 1%), dopo aver effettuato la calibratura, collegatelo alle boccole di misura dello strumento e con i tasti di C+ e C- aggiustate il valore sul display fino al valore desiderato, nell'esempio

$$"C = 100 \text{ pF}"$$

Personalmente preferisco usare un valore corretto per C5 e non dover ripetere ad ogni accensione la procedura di calibratura manuale.

Comunque ad ogni accensione è buona norma premere almeno una volta il pulsante di reset per forzare la calibratura automatica, con SW1 a/b in posizione "C", prima di procedere a misurare qualunque componente.

Conclusione

Spero che la presentazione di questo semplice ma valido strumento vi sia risultata gradita e che vi possa aiutare nelle vostre realizzazioni, mi auguro di antenne, in particolare!

Sono a vostra disposizione, tramite il mio indirizzo e-mail: iv3l-zq@gmail.com per qualunque suggerimento o aiuto vi possa essere necessario. Buona costruzione e buon divertimento.

73 de Stefano, IV3LZQ

Bibliografia

<http://ironbark.bendigo.latrobe.edu.au/~rice/lc/index2.html>
 Datasheet del PIC16F628A, dal sito www.microchip.com
 AN 575 Application Note, sempre dal sito della Microchip

