

# Subtoni e DTMF nei sistemi radio VoIP

2<sup>a</sup> parte

di Mauro Olivero Pistoletto

1k11MG

**A** seguito delle disquisizioni di tipo teorico, passiamo ora alla parte più pratica. Recentemente, nell'ambito del collegamento del ripetitore R1 alfa della Valle di Susa al sistema VoIP **Echolink**, si è reso necessario proteggere il sistema da ingressi indesiderati o disturbi. Al fine di garantire una pluralità d'accesso, pur effettuando saltuariamente prove con il sistema DCS, si è deciso d'installare anche una selettiva a toni CTCSS. Essendo tutto l'insieme autocostruito anche in tale frangente si è reso necessario percorrere la stessa strada. E' stata quindi progettata e assemblata una scheda specifica che ha consentito di fare esperienze in tal senso rivelando particolari interessanti. Si osservi nella foto della fig.5 la scheda.

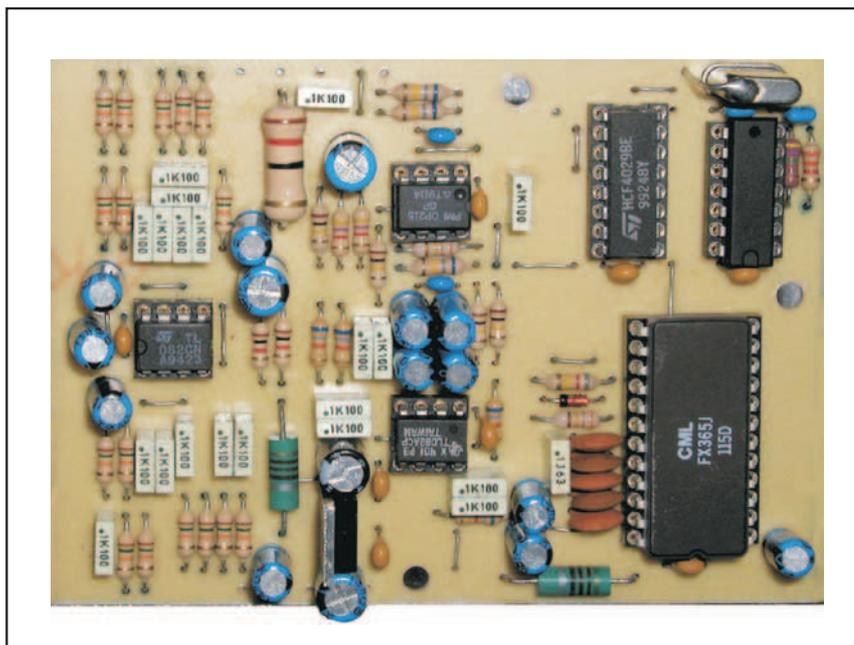
Essa si basa sul ben noto integrato FX365 encoder/decoder. Esistono numerosi cloni e varianti, un componente ha perfino incorporato lo scrambler ad inversione di banda audio (MX375). Senza entrare troppo in dettagli poco significativi vediamo com'è strutturato tale componente. Per la descrizione si faccia riferimento allo schema di fig.6. L'integrato oltre a generare e riconoscere i subtoni dispone d'alcuni circuiti accessori come ad esempio il filtro passa alto commutabile in RX/TX. La frequenza di taglio è

300Hz, l'attenuazione si aggira sui -40 dB sotto i 250 Hz. Lo scopo è abbastanza intuitivo: in trasmissione elimina dal parlato le componenti che andrebbero ad interferire il tono subaudio generato (soprattutto in caso d'utilizzo di scrambler ad inversione di banda) mentre in ricezione elimina il subtono dal segnale utile. Infatti, per basso che sia di frequenza tale tono subaudio, come già appurato, se raggiungesse gli stadi di BF potrebbe dare parecchio fastidio (specie i

subtoni più alti) oltre a far lavorare inutilmente il finale audio. Inoltre, in un impianto ripetitore con buona banda passante, se non si provvede all'eliminazione del tono subaudio in ingresso (trasmesso dalla stazione che lo impegna) si rischia di ritrovarlo all'uscita. Va quindi indiscutibilmente soppresso.

Ancora una volta le cose però non vanno come dovrebbero. Infatti, è vero che la banda audio negli apparati radio è limitata inferiormente a 300Hz, ma è altret-

Fig. 5



tanto incontrovertibile che questa attenuazione fuori banda non è così netta. Per questo esistono delle componenti del parlato d'ampiezza decrescente al di fuori di questo limite che contribuiscono in ogni caso a rendere pregevole la voce. L'inserzione del filtro a 300 Hz degrada comunque, e non di poco, la qualità vocale con effetto sulla BF ben percepibile all'uscita del ponte (ma questo discorso vale anche per gli RTX).

Attenzione! Si parla di qualità e non di comprensibilità. Una soluzione a tale problema può essere quella da me adottata. Negli apparati che tutti abbiamo in stazione è richiesta la necessità di sintonizzare qualunque tono subaudio e quindi non si può prescindere da un filtro passa alto. In una stazione ripetitrice, al contrario, la frequenza del subtono è fissa. Ho quindi optato per un efficace circuito "notch" che elimini solo quella determinata nota. Essendo l'azione notch ragionevolmente stretta in frequenza, non si degrada in modo fisicamente percettibile la qualità della BF ritrasmessa dall'impianto. Inoltre, al fine di fornire un segnale pulito all'FX365, ho aggiunto un filtro passa basso che attenua la componente audio. Qualora s'intenda ritrasmettere il subtono permettendo la funzione "Tone Squelch" agli utilizzatori, tale procedura va comunque adottata. Il motivo è che si deve avere in uscita un tono subaudio affidabile, pulito e stabile, quindi non va ritrasmesso quello ricevuto dalla stazione che impegna il sistema e potrebbe essere deteriorato. La contropartita con tale possibilità è che i tempi si allungano ulteriormente, infatti bisogna attendere, prima di parlare, che si sia aperta la selettiva del ponte e poi quella dell'apparato ricevente.

Su questo argomento fare riferimento a quanto detto in precedenza. Irradiando in uscita il subtono s'innescano anche un secondo problema. Gli apparati che ricevono il segnale senza la funzione abilitata, o sprovvisti di tale opportunità, non attivano in

genere alcun filtraggio. Il risultato è di avere il fastidio di ascoltare il subtono emesso con il segnale utile.

La situazione si aggrava con certi ricevitori scanner che estendono la loro banda passante BF a livelli molto bassi. In ambito VoIP, per economizzare su un trasferimento dedicato tra ripetitore e punto di collegamento al PC, è anche utilizzata la tecnica d'agganciarsi, con la radio lato Internet, sul segnale d'uscita del ripetitore. Il tono subaudio è trasmesso dal ponte per tutto il tempo della conversazione e cessa al terminare dell'eccitazione del ripetitore. La radio equipaggiata anch'essa di subtoni sarà interessata solo dalla conversazione e non da eventuali identificativi e code irradiate dal sistema ripetente. Se dal lato VoIP il tutto funziona egregiamente il problema precedentemente evidenziato si riflette però in modo seccante sugli ascoltatori del ponte. Sconsiglio quindi l'utilizzo di questa tecnica.

Ritorniamo all'FX365. La programmazione del tono subaudio desiderato è possibile in seriale o parallelo. All'accensione, se nulla è selezionato, l'integrato s'impone da solo sulla frequenza 67 Hz. Per comodità ho scelto l'opzione "parallelo" dove basta collegare a massa i piedini desiderati (provvisi internamente di pull up) in base al subtono che si vuole generare/ricevere. Nel mio caso, ovviamente, essendo installato su un ponte che non prevede la possibilità del Tone Squelch agli utenti si deve solo ricevere e quindi il circuito è progettato in tal senso. L'integrato non è full duplex perciò per generare un eventuale subtono in trasmissione vi sarebbe bisogno inesorabilmente di un secondo esemplare. Riguardo alla selezione dei relativi piedini rimando ai datasheets della casa costruttrice. Per il funzionamento è necessario anche un clock da 1 MHz il cui quarzo relativo è difficilmente reperibile. Ho quindi implementato un oscillatore a 4 MHz e diviso il tutto per un fattore quattro. Analizzando il circuito

facente capo ai piedini 14 e 15 si scopre un integratore sul circuito digitale in uscita dal decoder subtoni. L'FX365, infatti, è connesso sul circuito di BF a **monte dello squelch** (subito dopo il discriminatore FM) quindi in assenza di segnale è interessato perennemente dal rumore. Basta connettere un LED al pin 15 per vedere che lo stesso lampeggia continuamente. Entra quindi in gioco il circuito integratore che mitiga questo comportamento inopportuno. Purtroppo però non lo annulla completamente. Se si ripete la prova del LED si osserva comunque un lampeggio ogni 5-6 secondi circa. Quando successivamente sono pilotati circuiti di commutazione RX/TX convenzionali non vi sono controindicazioni. Nel caso del nostro ripetitore R1 alfa, la presenza del segnale è elaborata da un microcontrollore che reagisce in pochi microsecondi attivando conseguentemente il trasmettitore con tanto di coda. Per aggirare tale fastidio si possono seguire **almeno** tre soluzioni: modificare il software, integrare ulteriormente, legare il segnale alla presenza dello squelch radio. Ognuna ha pro e contro: i primi due casi introducono ulteriore ritardo, il terzo, se lavora in parallelo, non penalizza oltre. Il tempo d'intervento di un buon squelch è **almeno** due ordini di grandezza inferiore ad un subtono (quindi pochi millisecondi). Solo in presenza contemporanea di tono subaudio e segnale di squelch vi è attivazione, basta una porta AND o NAND in conformità del livello logico che si desidera in uscita. Con tale artificio si rende anche più veloce lo sgancio alla fine della comunicazione. Sottolineo comunque che questi comportamenti avvengono prevalentemente con sistemi veloci d'elaborazione del segnale di "tono decodificato". E' necessario però saperlo in fase di progettazione al fine di non ritrovarsi con tutto il sistema instabile.

Con questa configurazione, in certi frangenti, vi può essere anche un rapidissimo impulso di

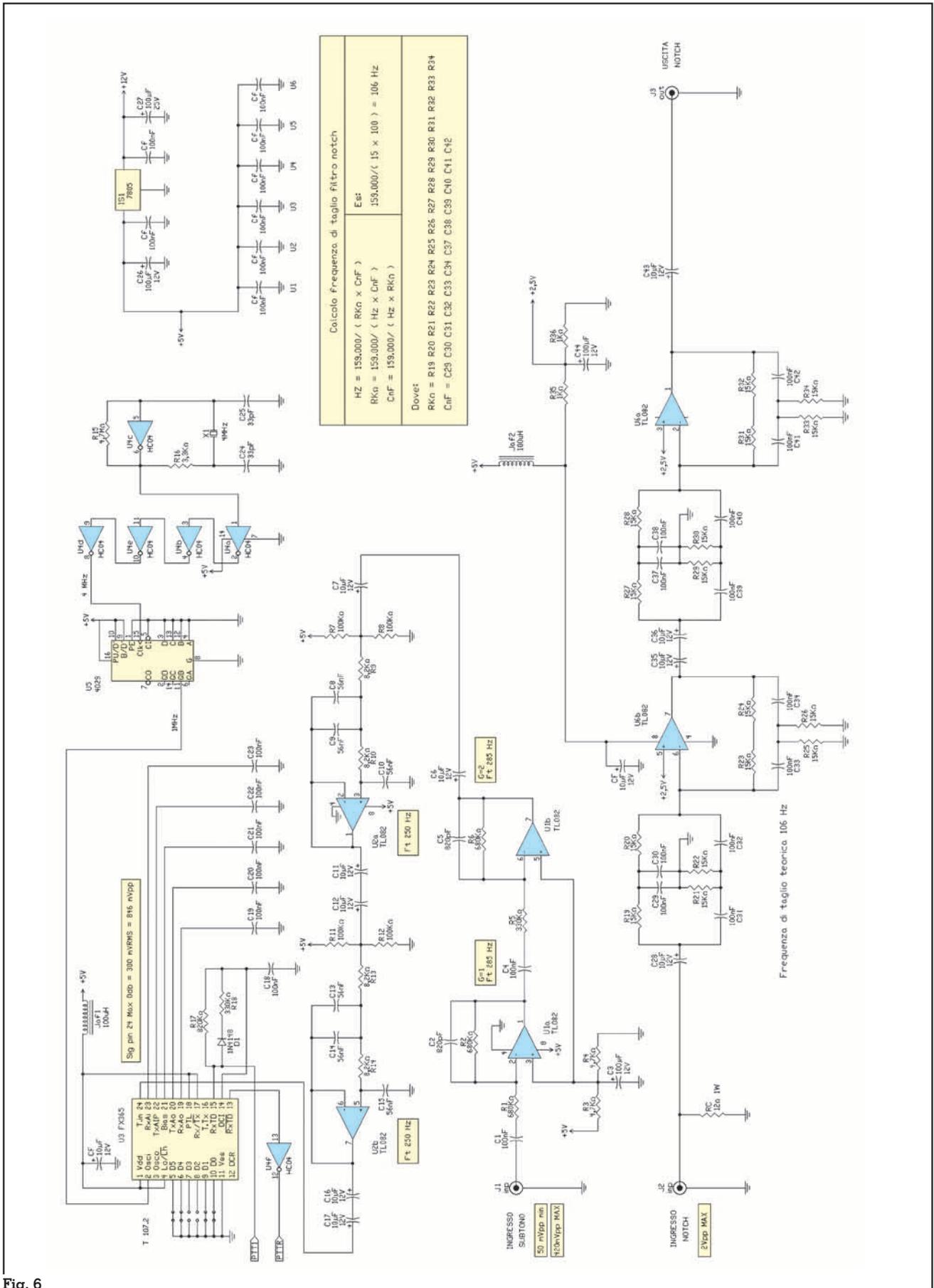


Fig. 6

conferma ricezione quando si trasmette con un subtono adiacente. In questo caso un semplice filtraggio del segnale digitale elimina egregiamente l'inconveniente. Per quanto concerne lo stato logico sul pin 13 al riconoscimento del tono subaudio avviene una transizione dal livello logico "uno" a "zero". La porta U4f inverte tale stato, a seguito delle mie necessità. Se v'interessa il livello originario basta prelevare il segnale direttamente dall'FX365. Sul pin 15, invece, la transizione è dal basso verso l'alto.

Per coloro che non possono appoggiarsi a schede commerciali e vogliono proteggere la loro rete VoIP, ma anche per chi intende solo divertirsi a fare delle prove, riporto l'hardware della scheda da me progettata e costruita per il ripetitore. In fig.7 è visibile il PCB lato rame (dim. 10,2 x 7,4 cm), nella fig.8 la disposizione fisica dei componenti. Il circuito è di semplicità elementare per questo la descrizione sarà veloce e succinta. In alto a sinistra vi è la parte di riconoscimento toni subaudio vera e propria (nel mio caso 107,2 Hz), sotto ad essa il filtro passa basso, scendendo ancora il notch. Non è presente il circuito d'asservimento allo squelch perché potrebbe anche non servire per applicazioni diverse dalla mia (commutazioni lente).

Sulla destra, in alto, il solito circuitino per i 5 volt d'alimentazione partendo dalla 12 volt. La BF contenente il **segnale ed il subtono** entra da **J1**, passa ad U1a con funzione di separatore, successivamente ad U1b che amplifica per due. Tale guadagno può essere variato a piacimento agendo su R5 in caso di differenti ampiezza del segnale d'ingresso (guadagno =  $R6/R5$ ). Entrambi gli operazionali hanno la banda limitata superiormente a 285 Hz (circa). Non modificate R6 qualora intendiate riformulare il guadagno, si modificherebbe il valore di questa frequenza. Agire solo sulla resistenza citata. Successivamente vi è il filtro **passa basso** di 4° ordine VCVS da

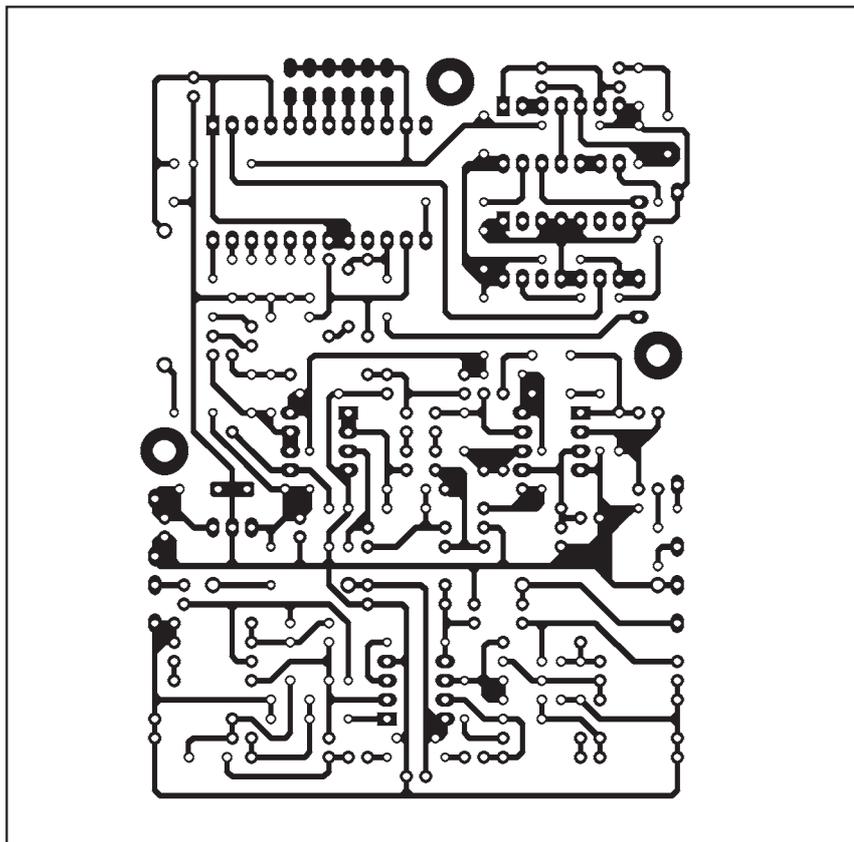


Fig. 7

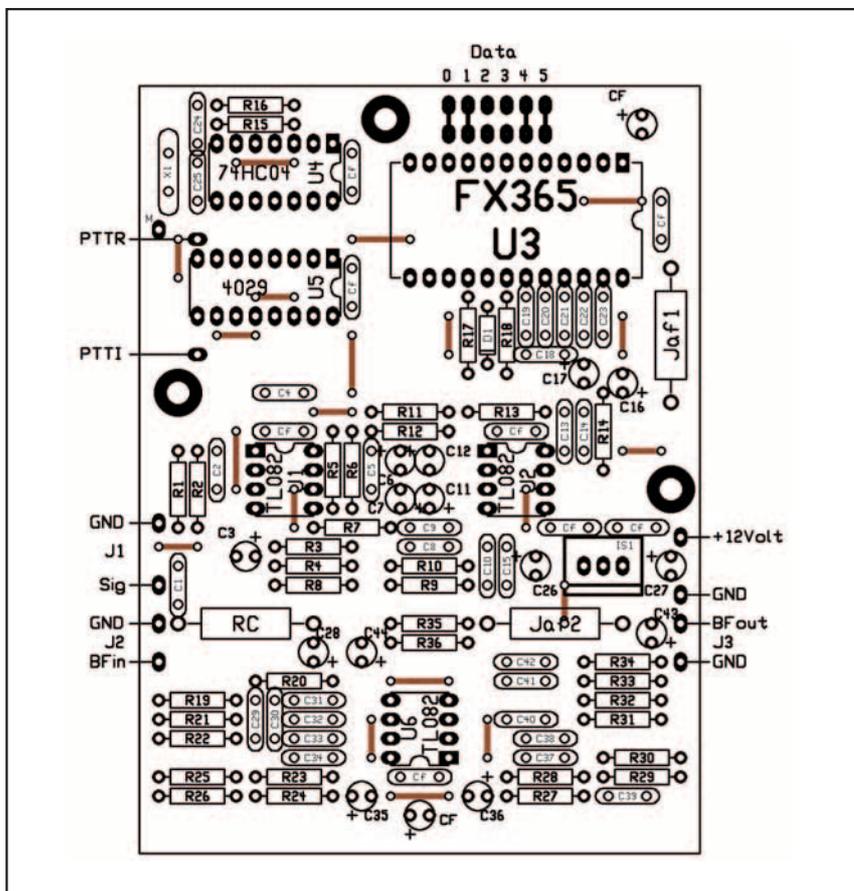


Fig. 8

24dB/ottava, con U2a e U2b. La frequenza di taglio è 250 Hz circa. In realtà nel mio circuito ho ricalcolato queste due frequenze poiché lavorando con il subtono 107,2 era inutile e controproducente lasciare valori così vicini alla banda audio. Gli operazionali d'ingresso sono stati portati a 233 Hz, il filtro passa basso a 165 Hz. Iniettando un segnale di prova ho verificato che a 300 Hz l'attenuazione vale -23 dB, a 1 kHz -52 dB. Le capacità elettrolitiche sul transito del segnale (es. C6-C7) collegate in tal modo servono per consentire il completo transito delle frequenze basse senza una specifica polarizzazione.

Continuando l'analisi dello schema si entra quindi con il segnale nell'integrato U3 (pin 24). Sulla destra vi è il circuito integratore, dall'altro lato la selezione del tono subaudio. Sotto di esso le uscite: immediata (PTTI) o integrata (PTTR, quella di normale uso). Sulla destra del circuito vi è la generazione del clock a 4 MHz (U4c), subito dopo il divisore U5. Le altre porte d'U4 (a-b-e-d) sono collegate solo al fine di non essere lasciate fluttuanti. Tranne l'FX365, gli altri sono tutti integrati che avevo in laboratorio e in tale senso è stato progettato il circuito.

E' chiaro che con le dovute modifiche, ove necessario, possono essere implementati altri componenti che esplicano funzioni analoghe. Da **J2** entra invece la BF dal quale **va rimosso** il subtono prima che il ponte la ritrasmetta. La resistenza di carico RC si rende necessaria solo se si preleva il segnale da un finale di potenza altrimenti va omessa. Successivamente si accede ad un doppio circuito di notch, nel mio caso con taglio a 107,2 Hz (in realtà, in base ai componenti di valore standard, 106 Hz teorici). Il "Q" di questa configurazione è uguale ad uno quindi coincide con il valore della frequenza da sopprimere (frequenze di taglio teoriche:  $F \times 0,62$  e  $F/0,62$  ovvero 66 e 172 Hz con  $F = 107,2$  Hz). In pratica l'eliminazione netta avviene fra 100 e 107 Hz

		Toni Gruppo Alto Hz			
		1209	1336	1477	1633
Toni Gruppo Basso Hz	697	1	2	3	A
	770	4	5	6	B
	852	7	8	9	C
	941	*	0	#	D

Fig. 9

con oltre 40dB d'attenuazione perciò il tutto è utilizzabile senza modifiche anche per il tono subaudio 103,5 Hz. A 180Hz l'attenuazione è ormai irrisoria (-6dB), confermando che il filtro non intacca la banda audio. Mentre per tutto il resto del circuito non servono variazioni è chiaro che per il notch i valori vanno riveduti in base al subtono impostato (sullo schema vi sono le formule semplificate). Per questo motivo ho preferito non svolgere direttamente le serie o i parallelo dei componenti perché, ricalcolandoli, si potrebbero poi avere problemi trovandosi con valori non standard, e quindi inesistenti in commercio. Va da sé che se qualche serie o parallelo fornisce un valore contemplato (o veramente molto prossimo) si può effettuare la semplificazione. Il segnale **ripulito** esce da **J3**. Il PCB è monofaccia, presenta alcuni ponticelli da effettuarsi manualmente ma non vi è alcuna difficoltà d'esecuzione né tarature da eseguire. Per il montaggio basarsi sulle figure.

La foto vale solo com'esempio per la disposizione fisica e non per i colori delle resistenze che sono in base ai valori dei filtri da me personalizzati (per questo differiscono dallo schema). A maggior ragione non coincidono se qualcuno modifica la frequenza d'azione del filtro notch. Sul PCB quest'ultimo circuito trova locazione fisica nella parte bassa, nettamente separato dal resto. Se non interessa (o viceversa interessa solo questo),

basta ritagliare tale porzione dall'insieme. Gli operazionali usati in tutto il complesso sono TL082 o compatibili. La scheda funziona ininterrottamente da febbraio 2005 in condizioni estreme di temperatura senza evidenziare alcun problema. Nei sistemi VoIP si fa anche massiccio uso delle note DTMF cioè "Dual Tone Multi Frequency". Esse sono nate come applicazione telefonica nei primi anni '60 dai laboratori "Bell" e poi esportate anche nel mondo radio. Sono composte essenzialmente da una combinazione di due toni, un gruppo di frequenze basse ed uno di alte, come da fig.9.

Le frequenze del gruppo basso hanno un'ampiezza inferiore di due dB rispetto alle altre e sono state scelte in modo che la prima armonica non coincida con frequenze del gruppo alto. Il programma VoIP Echolink dispone di un decoder software per detti bitoni. I risultati sono mediocri nel caso di ricezione diretta (p.e. un link), pessimi qualora il segnale giunga da un doppio passaggio (ponte e trasferimento). Alcune radio commerciali spesso utilizzate per assemblare ripetitori, trasferimenti o link, hanno dei circuiti che modificano l'inviluppo della BF per svariati motivi. Questo crea delle notevoli difficoltà sulla corretta decodifica rendendo avventuroso l'invio manuale e disastroso quello di sequenze memorizzate. La soluzione maggiormente auspicabile sarebbe saltare tali circuiti oppure un trasferimento opportunamente progettato ma, se ci si accontenta, si può arrivare ad un ragionevole compromesso. Al fine di mitigare i problemi esposti è necessario installare un'interfaccia hardware che decodifichi la DTMF e invii il risultato di tale operazione al programma. In questo modo non si eliminano totalmente gli errori ma si riducono in modo significativo.

Di tali interfacce ve ne sono molte di tipo commerciale<sup>(5)</sup>. Chi ha la voglia e capacità di costruirselo può scaricarsi da Internet gratuitamente (anche per-

ché non produco né vendo schede) lo schema e le istruzioni di quella che ho progettato io e che uso da quasi due anni.

Il relativo pdf è sul sito del ripetitore riportato a fine articolo. Tale interfaccia libera il programma da un grosso lavoro software. Essa si basa sul classico decoder MT8870 (e compatibili) ed effettua anche la separazione tra PC e parte radio, fatto molto importante se non si vogliono avere seri guai. Per la generazione dei bitoni DTMF nei tempi passati si usavano integrati dedicati ora quasi introvabili. Questo perché anche a livello d'apparati radio commerciali essi sono generati con microcontrollori. Addirittura nel caso del PIC esiste nello specifico compilatore Basic un'istruzione per generarli (DTMFOUT).

E' bene saperlo poiché in caso di necessità eviterete di fare inutilmente il giro dei negozi. Molte perplessità hanno suscitato anche le istruzioni d'Echolink nel

punto dove si afferma che per certe applicazioni è necessaria la tastiera DTMF "estesa".

Quella ritenuta standard è infatti il tipo telefonico. Per estesa s'intende semplicemente il modello disponibile su tutti gli apparati radio, in altre parole con l'aggiunta dei tasti "A-B-C-D". Spero che quanto scritto in precedenza possa essere d'aiuto a gestori ed utenti per una corretta comprensione d'eventi, apparentemente strani, legati a subtoni e note DTMF. Inoltre mi auguro che una maggiore conoscenza di certi fenomeni indirizzi tutti ad un migliore utilizzo delle **risorse comuni**. Per ultimo, non mi stancherò mai di ripeterlo, mettete una selettiva a vostra scelta (subtono o DCS) ai sistemi radio (ponti o link) collegati ai circuiti VoIP per evitare il collasso della rete in caso di disturbi. Lo stesso consiglio vale anche per gli altri impianti senza tale opportunità informatica pensando finalmente la vecchia e

ampiamente inadeguata nota 1750 Hz. La sua giusta collocazione era nel vecchio millennio, facciamo in modo che rimanga solo un piacevole ricordo.

<http://www.r1avalsusa.cjb.net>

- (1) "Le selettive radio DCS" Mauro, IK1IMG - Radiokit n.11 novembre 2005
- (2) Per info sui sistemi VoIP riferirsi al libro "VoIP: il progetto di interconnessione radio via Internet" d'Armando, IK2XYP Edizioni C&C s.r.l.
- (3) <http://www.wiscointl.com/CSpecialists/ctcss.htm>
- (4) <http://www.alldatasheet.com>
- (5) <http://www.echolink.org/interfaces.htm>

