# Ricevitore Supereterodina

**By http://www.oasitech.it**

E' un dispositivo in grado di rivelare il segnale inviato da un trasmettitore, caso tipico quello in cui il segnale è la diffusione Broadcast di una stazione trasmittente, ad esempio radiodiffusiva. Nella pratica il segnale radiodiffusivo può essere AM oppure FM. Prendiamo in considerazione la radiodiffusione AM, il segnale ricevuto sarà facendo riferimento agli inviluppi complessi:

$$r(t)=\Re[\tilde{r}(t)e^{(j\omega_0 t)}]=A[1+m_A a(t)]\cos(\omega_0 t)$$

in cui l'inviluppo di r(t) si chiama inviluppo complesso e ha in generale una componente reale e immaginaria, nella radiodiffusione AM esso è puramente reale come si vede dall'espressione di cui sopra in cui:

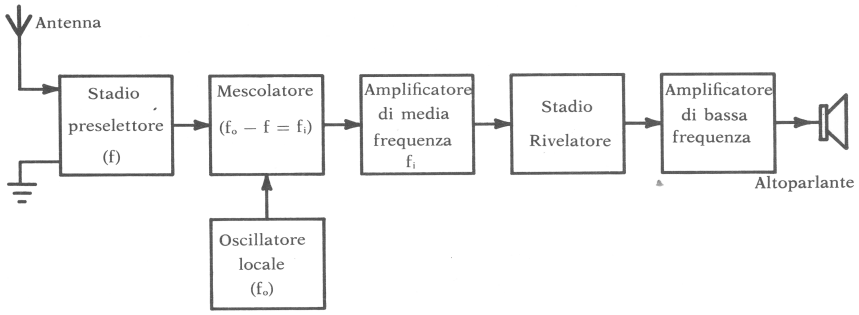
A: è l'ampiezza del segnale ricevuto

$m_A=\frac{a_M}{A}\leqslant 1$ : è il cosiddetto indice di modulazione, in cui al denominatore abbiamo l'ampiezza massima di:

a(t): segnale modulante

Nella pratica a(t) è il segnale voce inviato dalla stazione trasmittente; l'indice di modulazione al massimo raggiunge il valore unitario altrimenti si avrebbe rotazione di fase del segnale modulato r(t) con conseguente aggravio di costi nella costruzione del ricevitore. Il ricevitore supereterodina è un ricevitore a conversione in frequenza che si prefigge di estrarre il segnale modulante dal segnale in arrivo, agendo su due frequenze distinte, a radiofrequenza vera e propria,e a frequenza intermedia. Questo perchè a differenza dei primi ricevitori(omodina) è più facile in tal modo realizzare filtri sufficientemente selettivi; la selettività comunque non è il solo problema di tali ricevitori come vedremo. Vediamo ora lo schema del ricevitore superteterodina analizzandone i vari blocchi:

- **Schema del Ricevitore Supereterodina**




Preselettore: è un filtro usato per attenuare l'eventuale disturbo presente alla frequenza immagine, che è il segnale eventualmente presente a frequenza intermedia ma indesiderato. Insieme al preselettore anche se non indicato in figura è presente anche un Amplificatore a radiofrequenza non particolarmente selettivo, accordato insieme all'oscillatore locale per prelevare la frequenza desiderata.

Oscillatore locale: un oscillatore che genera un segnale sinusoidale che oscilla con frequenza $f_{OL}$
Mixer: un circuito in grado di effettuare il prodotto(battimento) tra il segnale filtrato dall'amplificatore a radiofrequenza e quello generato dall'oscillatore locale.

Amplificatore a frequenza intermedia: un amplificatore centrato sulla frequenza intermedia ottenuta dal battimento tra i due segnali prima citati. Deve essere molto selettivo.

Stadio Rivelatore: può essere un altro circuito a conversione come quello appena visto, con un altra frequenza intermedia o in banda base, oppure anche un semplice rivelatore di inviluppo che estragga l'inviluppo proprio dal segnale a frequenza intermedia; l'inviluppo nel caso di radiodiffusione AM è proprio il segnale desiderato a parte una componente continua che può essere eliminata.

Amplificatore di bassa frequenza: un amplificatore in grado di amplificare il segnale modulante rivelato.

Il segnale r(t) quindi effettua il battimento col segnale prodotto dall'oscillatore locale; si ha:

$$r_{OL}(t)=\Re[e^{(j\omega_{OL}t)}] \quad \tilde{r_{OL}}(t)=1$$

quindi:

$$r(t)r_{OL}(t)=\Re[\tilde{r}(t)e^{(j\omega_0 t)}]\Re[e^{(j\omega_0)}]=(\frac{1}{2})\Re[\tilde{r}(t)e^{(j(\omega_0 t+\omega_{OL}t))}]+(\frac{1}{2})\Re[\tilde{r}(t)e^{(j(\omega_0 t-\omega_{OL}t))}]$$

sfruttando le proprietà dei numeri complessi. Come si vede abbiamo un segnale con frequenza somma delle due frequenze e un altro con frequenza differenza. Posto:

$f_{FI}=f_{OL}-f_0$ chiamata frequenza intermedia, il segnale all'uscita dell'amplificatore a frequenza intermedia sarà quindi:

$$r_{FI}(t)=A_u[1+m_A a(t)]\cos(\omega_{FI}t)$$

cioè è un segnale simile a quello di partenza, ma centrato attorno alla frequenza intermedia. Ricordiamo che nella modulazione AM abbiamo una riga spettrale attorno a questa frequenza più uno spettro di banda 2B attorno a questa se il segnale a(t) ha banda B. Nella pratica rispetto al segnale di partenza il segnale ricevuto sarà leggermente distorto rispetto a quello trasmesso, vi possono essere diversi fenomeni di attenuazione o di distorsione. L'attenuazione riguarda l'attenuazione in spazio libero, o l'assorbimento dovuto a diversi fenomeni tra cui la pioggia. La distorsione riguarda invece il fatto che il segnale subisce riflessioni e rifrazioni tra trasmettitore e ricevitore. Vediamo ora il problema della scelta dell'amplificatore a frequenza intermedia e dell'amplificatore a radiofrequenza RF.

- **Scelta dell'amplificatore a frequenza intermedia e dell'amplificatore RF**

Abbiamo visto che l'amplificatore a frequenza intermedia insieme al preselettore, deve essere in grado di attenuare fortemente la frequenza immagine. Purtroppo ad elevate frequenze questo non può essere fatto, infatti consideriamo il coefficiente di qualità di un generico filtro; esso è regolato dalla seguente equazione:

$$Q=\frac{f_0}{B}$$

dove B è la banda e -3db dello stesso ed f0 è la frequenza centrale; osserviamo che se B è molto piccolo questo deve essere elevatissimo, ecco il motivo per cui è necessario ricorrere alla conversione in frequenza, traslando lo spettro del segnale ricevuto su una frequenza più bassa. Il problema è che questo comunque deve essere in grado di attenuare la frequenza immagine, in parte questo si fa come è stato detto accoppiandolo ad un filtro preselettore. Questo insieme all'amplificatore RF deve attenuare almeno 40 db l'eventuale spettro della frequenza immagine. La frequenza immagine è la frequenza alla quale un eventuale segnale presente nello spettro del segnale ricevuto, rumore o segnale spurio, può essere presente all'uscita del Mixer. Questo perchè nel battimento possiamo ottenere:

$$f_{FI}=f_{OL}-f_0$$

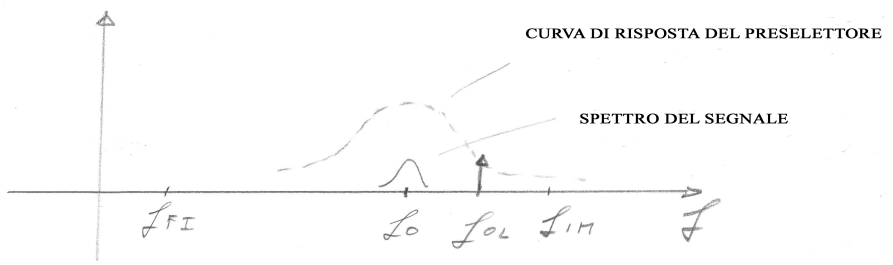
ma anche:

$$f_{FI}=f_I-f_{OL}$$

il filtro a radiofrequenza non riesce ad eliminare tale componente perchè si presenta al suo ingresso con una frequenza pari proprio alla frequenza intermedia. Sommando membro a membro otteniamo:

$$f_I-f_0=2f_{FI}$$

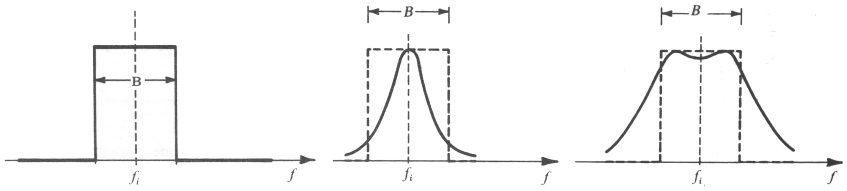
la frequenza immagine dista quindi di due volte la frequenza intermedia dalla frequenza del segnale desiderato. Abbiamo quindi la seguente situazione:




Essa quindi deve essere attenuata dal preselettore, tuttavia ci troviamo davanti a due esigenze contrastanti:

- $f_{FI}$ deve essere elevata per ridurre l'interferenza creata dalla frequenza immagine.
- $f_{FI}$ deve essere piccola per avere una grande selettività dell'amplificatore a frequenza intermedia.

La scelta di questa frequenza intermedia scaturisce quindi da un compromesso tra queste due esigenze contrastanti.
Un altro problema nasce dalla scelta della curva di risposta in frequenza dell'amplificatore a frequenza intermedia. Lo possiamo vedere dalla seguente figura:




Il primo caso è quello di risposta in frequenza lineare. Il secondo e il terzo caso sono invece esempi di risposte reali. Nel secondo caso abbiamo una curva di risposta selettiva, mentre nel terzo caso fedele. Nel secondo caso cioè abbiamo una curva di risposta che è selettiva ma può distorcere il canale desiderato, attenuando fortemente i canali adiacenti. Nel terzo caso invece abbiamo una curva di risposta che lascia sostanzialmente inalterato il canale desiderato mentre non è in grado di attenuare fortemente i canali adiacenti, e questo può dar luogo quindi a dei disturbi dei canali adiacenti. Non è raro nei radioricevitori commerciali avere forte interferenze da canale adiacente, questo perchè in tali ricevitori è difficiele ottenere curve di risposta selettive. Nella pratica l'amplificatore a frequenza intermedia manca ed è sostituito da un circuito accordato del seguente tipo:

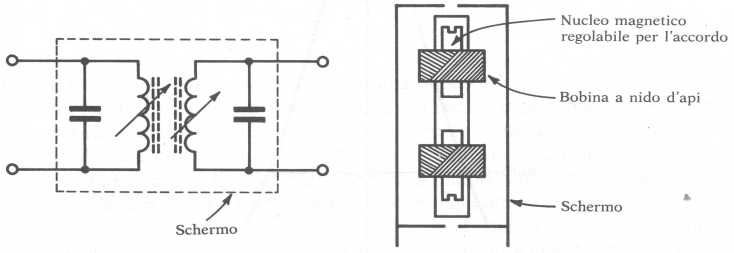
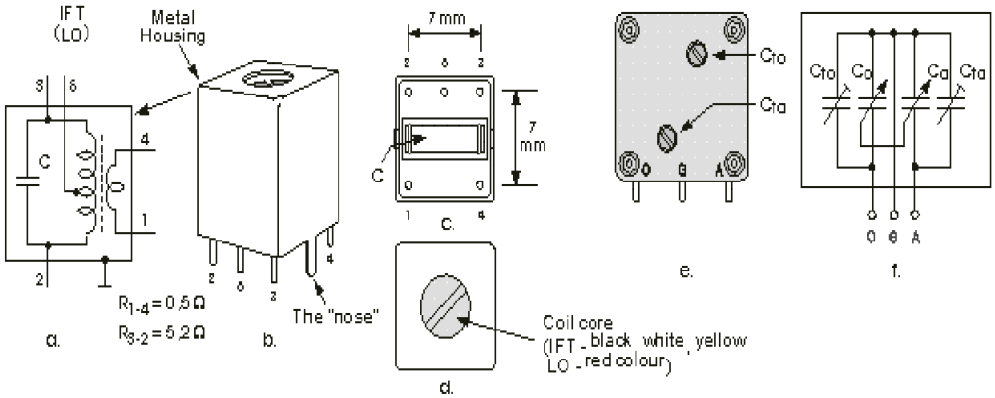



**Fig. 12.** - Trasformatore a frequenza intermedia; schema e costituzione.

Nella pratica è un blocchetto con alcuni puntali, su cui abbiamo una vite.




La vite accoppiata col nucleo magnetico del circuito risonante può essere girata, in tal modo si varia l'accoppiamento tra i due circuito. Se Kc viene detto accoppiamento critico tra le due bobine si ha che:

- per k<kc si ha una curva di risposta selettiva
- per k>kc si ha una curva di risposta fedele

Anche qui la scelta di k deve essere fatta facendo un compromesso tra le due esigenze contrastanti.

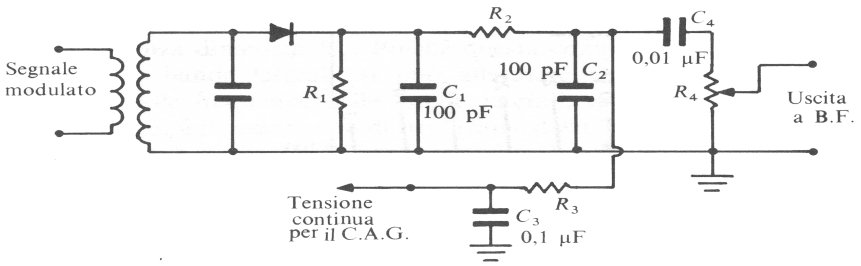
Nella pratica conviene anche fornire il seguente parametro:

$\frac{B_{60}}{B_6}$ è il rapposrto tra la banda a -60db e quella a -6db, tanto più questa sarà vicina ad 1 tanto migliore sarà il nostro amplificatore a frequenza intermedia, in genera si arriva a valori di 3,5 fino a 6.

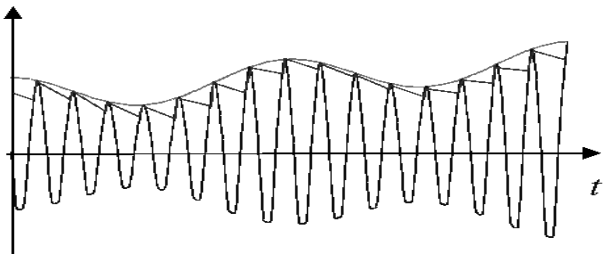
Parliamo infine dello stadio rivelatore.

- **Stadio rivelatore**

Come abbiamo detto lo stadio rivelatore può essere un circuito mixer che porta in banda base il segnale ricevuto, oppure come nei ricevitori general purpose un rivelatore di inviluppo. Il rivelatore di inviluppo è sostanzialmente un circuito diodo capacità in grado di inseguire le variazioni del segnale modulante. Nella seguente figura possiamo vedere uno schema completo di un tale stadio rivelatore:




Il segnale modulato(a frequenza intermedia) entra all'ingresso di un trasformatore che lo porta a tensione più elevata. Entra poi all'ingresso di un rivelatore di inviluppo costituito dal diodo e dai componenti R1 e C1. All'uscita la tensione si presenterà nel seguente modo:




E' un segnale che insegue il segnale modulante ma si presenta in maniera abbastanza seghettata. Esso quindi va all'ingresso di un filtro passa basso costituito dai componenti R2 e C2 che ne smussa le componenti dannose seghettate. A questo punto tale tensione è prelevata da un potenziometro che regolato dall'utente va su uno stadio di bassa frequenza e poi su un trasduttore tipicamente un altoparlante, che riproduce il segnale voce; tale ultimo stadio è quindi quello che comunemente viene chiamato regolazione del volume. In figura il segnale in uscita dal rivelatore di inviluppo viene anche riportato su uno stadio CAG; CAG significa controllo automatico del guadagno, è uno stadio che serve a regolare l'ampiezza del segnale di uscita, questo perchè se il segnale fosse troppo forte l'amplificatore in bassa frequenza darebbe delle distorsioni, andando subito in saturazione, mentre se debole non sentiremmo nulla, quindi fa in modo di superare tali inconvenienti.

**Ricevitore Supereterodina FM**

Fino ad ora abbiamo parlato del ricevitore supereterodina nel caso di segnali AM, il caso più generale è il caso AM/FM ed FM in modo particolare; FM sta per Frequency Modulation ed è usata comunemente nella radiodiffusione commerciale con frequenze comprese tra 88 - 108 MHZ. Nel caso generale i blocchi di ingresso saranno gli stessi in ambedue i casi AM/FM cioè amplificatore a radiofrequenza Mixer-Oscillatore locale e amplificatore a frequenza intermedia ciò che cambia sono gli stati a valle. Iniziamo a vederli riepilogando per chi non la conoscesse la teoria sui segnali modulati in fase PM e in frequenza FM, la FM ricade nel caso più generale della modulazione di fase. Il segnale FM può essere scritto facendo ancora riferimento agli inviluppi complessi nel seguente modo:

$$r(t)=\Re[\tilde{r}(t)e^{(j\phi(t))}e^{(j\omega_0 t)}]=A\cos(\omega_0 t+\phi(t))$$

a differenza del caso AM aabbiamo due componenti, cosiddette in fase ed in inquadratura essendo sfasate di $\pi/2$ tra loro. Quello che interessa in realtà non sono tanto le due componenti suddette ma il termine di fase $\phi(t)$ che contiene al suo interno il segnale modulante, nella fattispecie il segnale voce inviato dalla stazione trasmittente. Nel caso FM abbiamo un termine di fase che dipende dal segnale modulante che chiamiamo m(t) nel seguente modo:

$$\phi(t)=2\pi k_F\int_{-\infty}^{t} m(\tau)d\tau$$

ove $k_F$ è una costante legata all'indice di modulazione cosiddetto del modulatore di cui parleremo a breve. Nella modulazione di frequenza, la frequenza istantanea è legata proprio a tale indice, si ha:

$$f_i=f_0+k_F m(t)$$

derivando la fase del segnale FM, a parte un fattore $2\pi$, l'indice di modulazione è dato dalla massima deviazione di frequenza diviso la banda del segnale, tale indice dipendi quindi dal massimo valore in modulo del segnale modulante per la costante $k_F$ di cui abbiamo parlato. Nella modulazione FM commerciale: $k_F=5$ e la banda del segnale modulante $B=20\,khz$.
Se vogliamo demodulare il segnale dobbiamo capire qual'è lo spettro dello stesso cioè la sua trasformata di Fourier. A differenza del caso AM il caso FM è tutt'altro che semplice tranne che per casi di particolari segnali vedi ad esempio segnali periodici.
Prediamo l'inviluppo complesso del segnale FM e supponiamo che la fase sia molto piccola rispetto a zero, debole modulazione, in modo da sfruttare lo sviluppo in serie di Taylor:

$$\tilde{r}(t)=e^{(j\phi(t))}\sim 1+j\phi(t)-(\phi(t))^2$$

la cui trasformata darebbe luogo a una convoluzione in frequenza già per il terzo termine dello sviluppo in serie.
Per demodulare un segnale FM allora ci viene incontro lo studio già effettuato da taluni che hanno fornito la cosiddetta banda di Carson per identificare la banda del segnale FM:

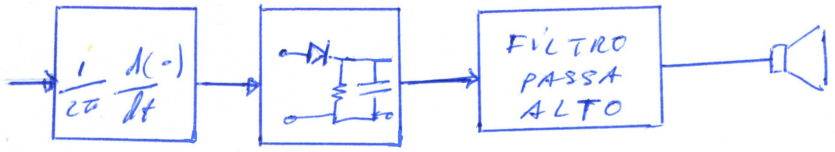
$$B_c=2(B+1)$$

ove B è la banda del segnale modulante m(t).
Vediamo allora come demodulare il segnale FM, poiché m(t) è contenuto nella fase del segnale ricevuto possiamo tirare fuori tale termine operando banalmente una derivazione del segnale stesso:

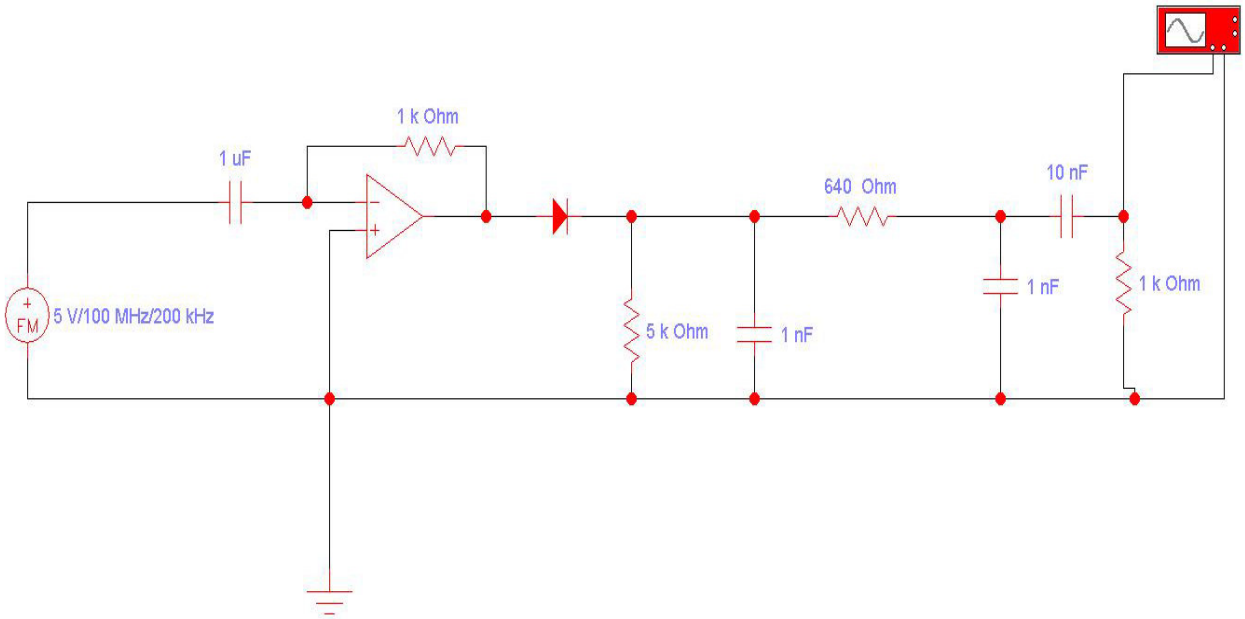
$$(1/2\pi)d(r(t))/dt=-(m(t)+f_0)A\,sen(\omega_0 t+\phi(t))$$

a meno di una inversione di fase del termine sinusoidale e della costante A e della frequenza che si somma f0 abbiamo ottenuto il segnale modulante m(t); dopo la derivazione è quindi necessario

eliminare tali termini. Il termine cosinusoidale come abbiamo visto può essere eliminato facendo ricorso ad un rivelatorte di inviluppo, il termine $f_0$ può essere eliminato tramite un filtro passa alto che elimini tale componente continua che si sovrappone al segnale utile, l'inversione di fase può essere eliminata tramite un semplice circuito di inversione con amplificatore operazionale. Otteniamo quindi uno schema a blocchi di principio facente riferimento a tali ipotesi teoriche:




passiamo quindi a uno scema vero e proprio, il seguente è stato realizzato con simulatore Electronics Workbench da cui deriva anche Multisim (12 attuale versione) liberamente scaricabile dalla rete:




Il segnale FM in uscita dall'amplificatore a frequenza intermedia è stato simulato con un generatore apposito presente sul workbench; il primo stadio è un derivatore realizzato con un amplificatore operazionale invertente, segue il blocco rivelatore di inviluppo che elimina la componente sinusoidale, oltre ai blocchi appena visti nello schema a blocchi si è inserito anche un filtro passa basso per smorzare ulteriormente la componente a radiofrequenza dopo la derivazione, dopo questo segue il blocco che elimina la componente continua rappresentata dal termine $f_0$. Tale termine non deve confondere, questo rappresenta una componente continua il cui valore è pari al valore della frequenza portante ma in realtà come detto è una componente continua. Con i dati presi dalla figura procedente potete provare che il segnale che si vede sull'oscilloscopio è effettivamente molto simile al segnale modulante, in questo caso sul simulatore questo è soltanto un segnale sinusoidale di bassa frequenza, nella realtà questo dovrà essere necessariamente un segnale aleatorio di bassa frequenza.

Un demodulatore FM può essere realizzato in diversi modi, in questo tutorial si è voluto usare uno schema intuitivo che prende spunto dalla caratterizzazione matematica del segnale FM stesso ma che in realtà come si vede dalla simulazione è abbastanza concreto.

Riferimenti

[1] http://www.oasitech.it/Tlc.htm
il nostro sito di Tlc
[2] http://www.oasitech.it/appttlc.asp
sempre il nostro sito, con una sezione piena di ottimi appunti di Tlc
[3] http://www.mikroe.com/old/books/rrbook/rrbook.htm
Un sito con il libro da cui sono stati tratti alcuni schemi per questa ed altre trattazioni di Oasitech
[4] http://www.educypedia.be/electronics/radiotuning.htm
sito educypedia con tantissimi links sui circuiti RF