

I parametri per la simulazione nel generatore VSFFM vanno inseriti, come già riportato in tabella, nel seguente modo:

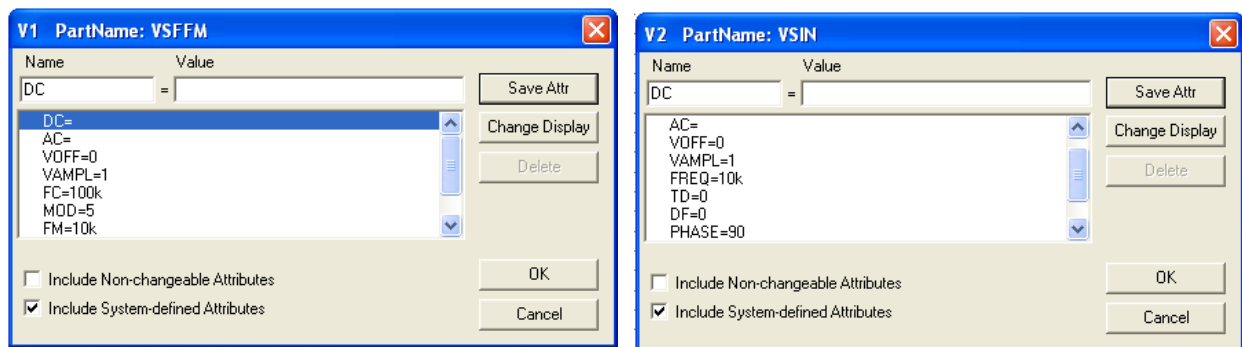


Fig. 2

Attenzione alla fase del segnale modulante. Infatti sovrapponendo il segnale modulante sul segnale modulato, se la fase è corretta, si vede che la frequenza del segnale modulato è maggiore dove il segnale modulante raggiunge l'ampiezza massima positiva, e frequenza minore dove l'ampiezza raggiunge il valore massimo negativo.

La simulazione da settare sarà un'analisi TRANSITORIA con un tempo finale opportuno in modo da visualizzare almeno tre-quattro periodi del segnale modulante, come mostrato dalla figura sotto:

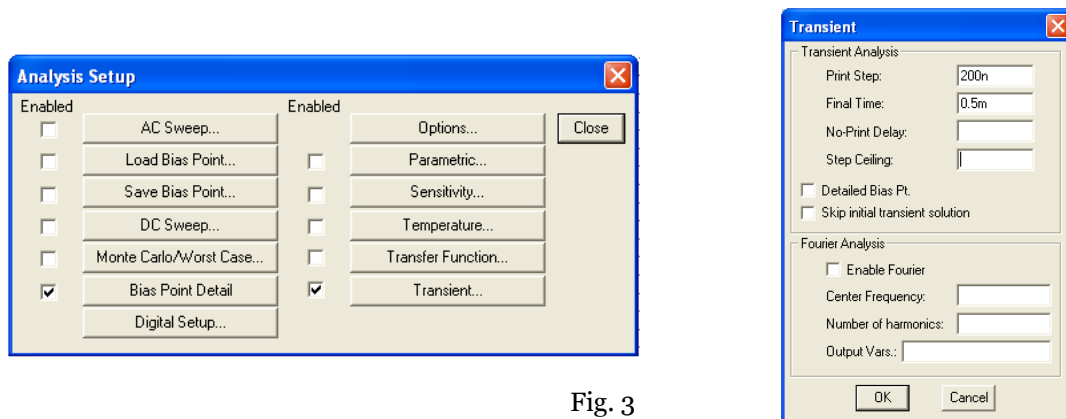


Fig. 3

Se tutto è stato eseguito correttamente il risultato ottenuto è il seguente:

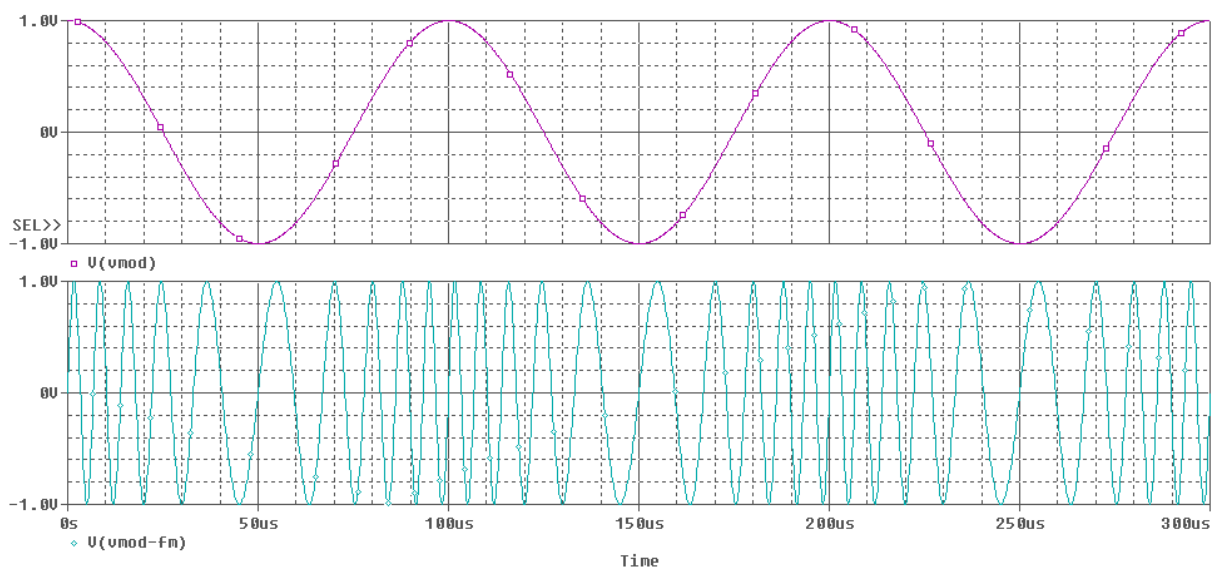


Fig. 4

## DEMODULAZIONE

La seconda fase riguarda la DEMODULAZIONE del segnale.

I demodulatori FM, per distinguerli dai RIVELATORI AM, vengono chiamati DISCRIMINATORI. La funzione dei discriminatori è quella di trasformare una variazione di frequenza in una variazione proporzionale d'ampiezza, tutto ciò può essere sintetizzato nel seguente schema a blocchi.

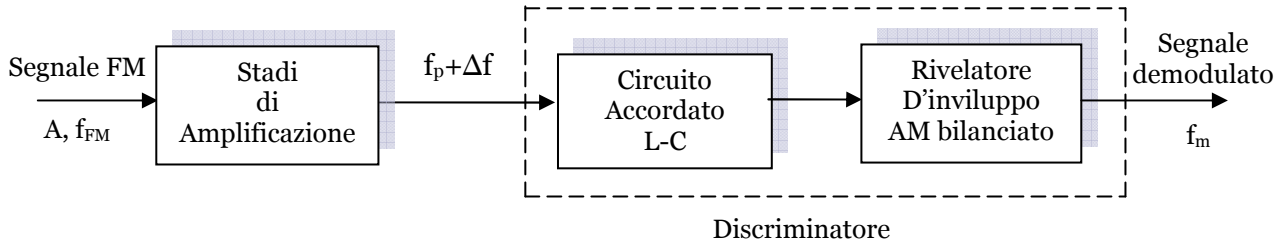


Fig. 5

Nello schema riportato sopra si individuano tre blocchi:

1. Lo stadio di amplificazione
2. Il circuito risonante LC
3. Il rivelatore di involuppo AM

Lo stadio di amplificatore ha la funzione di elevare il segnale ricevuto in antenna, in modo da poterlo manipolare per poter estrarre l'informazione.

L'analisi della demodulazione inizia con lo studio del **Circuito Accordato** che rappresenta il primo stadio del **Discriminatore** ed è costituito da un circuito L-C accordato con la frequenza portante traslata di  $\pm \Delta f$ , ovvero

$$f_{RISONANZA} = f_p \mp \Delta f$$

Variando la frequenza  $f_{FM}$  del segnale d'ingresso varia proporzionalmente anche la tensione in ingresso al circuito risonante, risultando così modulata in ampiezza. Questa variazione di tensione deve essere espressa tramite un segnale d'informazione perciò viene rivelata tramite un demodulatore d'ampiezza (rivelatore d'involuppo).

Iniziamo quindi con lo studio del circuito LC come rappresentato in figura 6

$$f_{RISONANZA} \cong 100\text{KHz} + 10\text{KHz} = 110\text{KHz}$$

Sapendo che la frequenza di risonanza di un circuito parallelo vale

$$f_R = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}}$$

E supponendo di prendere una capacità di valore pari a  $C_1 = 10\text{nF}$  si può trovare il valore dell'induttanza da utilizzare nel circuito.

$$L_1 = \frac{1}{4\pi \cdot C_1 \cdot f^2} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot (110 \cdot 10^3)^2} = 209\mu\text{H}$$

Per eseguire la simulazione si può assumere l'ampiezza del segnale portante come quella indicata sotto

$$V_p = 5V$$

A questo punto il filtro può essere studiato e per fare ciò dovrà essere usato un generatore VAC e la simulazione dovrà essere effettuata in ambiente AC Sweep con i parametri sotto riportati in figura 7.

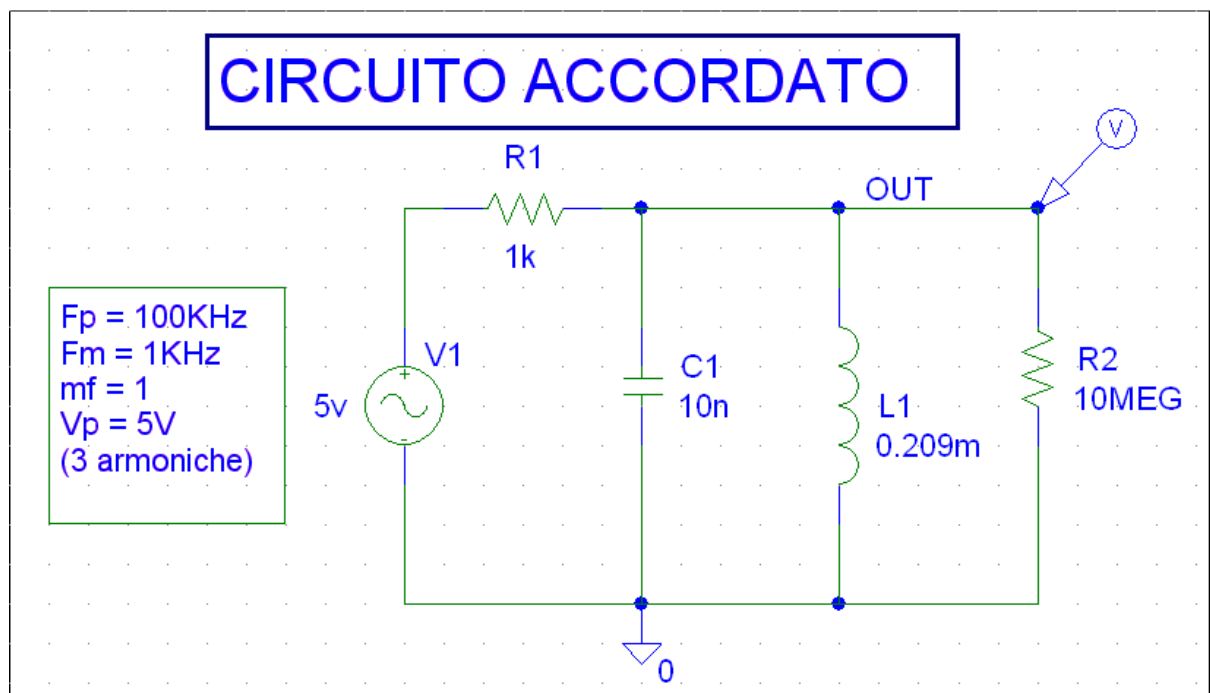


Fig. 6

Come possiamo vedere dallo schema il circuito è composto oltre che da un condensatore C1 e da una induttanza L1 anche dalla resistenza R2. Tale resistenza non ha nessuna influenza ai fini della frequenza di accordo e inoltre non influisce neppure sull'ampiezza del segnale essendo di valore molto elevato,  $R_2 = 10\text{ M}\Omega$ , serve esclusivamente a prelevare il segnale in uscita al circuito risonante.

$F_p = 100\text{KHz}$   
 $F_m = 1\text{KHz}$   
 $mf = 1$   
 $V_p = 5\text{V}$

$V_1$   
 $DC=0$   
 $ACMAG=5\text{V}$

### AC Sweep and Noise Analysis

AC Sweep Type

Linear  
 Octave  
 Decade

Sweep Parameters

Pts/Decade: 1000

Start Freq.: 10KHz

End Freq.: 1Meg

Noise Analysis

Noise Enabled

Output Voltage:

I/W:

Interval:

Fig. 7

Se i valori calcolati di L1 e di C1 sono stati dimensionati correttamente il risultato sarà quello riportato in figura 8

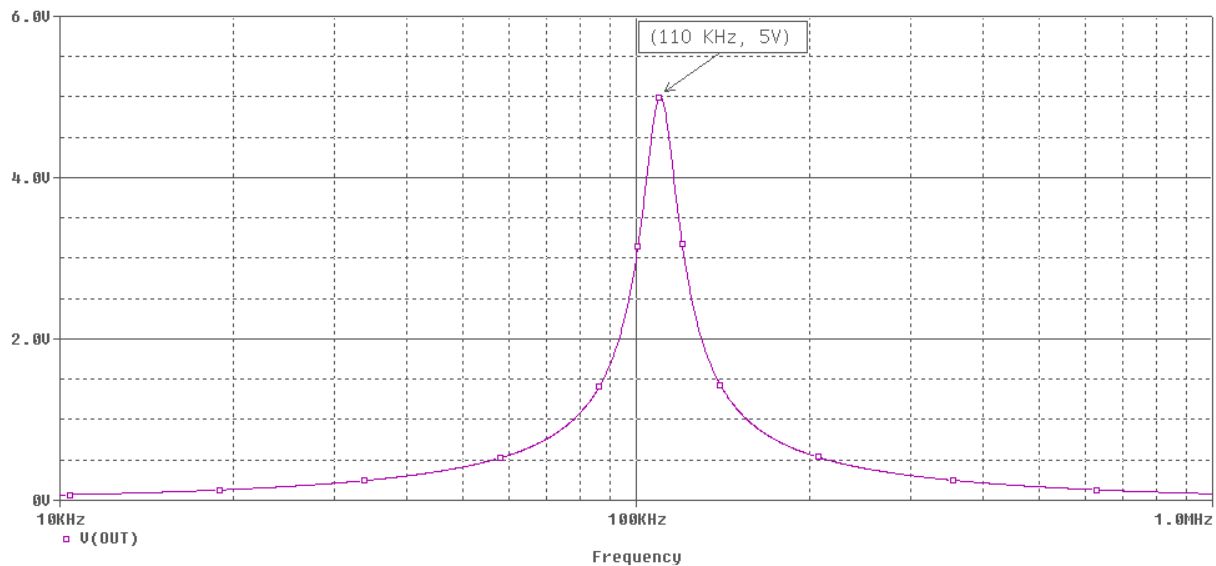


Fig. 8

Come si può vedere dalla curva e dai dati riportati sul grafico la frequenza di risonanza è maggiore della frequenza della portante, nel nostro caso  $\Delta f = 10$  KHz, quindi

$$f_{RISONANZA} = f_P + \Delta f = 100KHz + 10KHz = 110KHz$$

Il circuito appena studiato va inserito a valle del modulatore FM (che può essere costituito dal generatore VSFFM, oppure da 7 generatori centrati sulle frequenze opportune) per potere studiare il segnale demodolato.

#### RIVELATORE

Dopo avere accordato il segnale alla frequenza della portante bisogna estrarre l'informazione dal segnale in uscita dal circuito di accordo. Questa operazione viene fatta con la demodulazione. La demodulazione è un'operazione che consente di estrarre, da un segnale modulato in ampiezza, l'informazione in bassa frequenza. La demodulazione è, solitamente, realizzata utilizzando un dispositivo non lineare, e nella maggior parte dei casi viene utilizzato un diodo, con a valle collegato un filtro passa basso che ricostruisce l'involuppo del segnale AM.

Il rivelatore che abbiamo montato è quello dello schema sotto, che rappresenta esattamente un rivelatore d'involuppo a diodo.

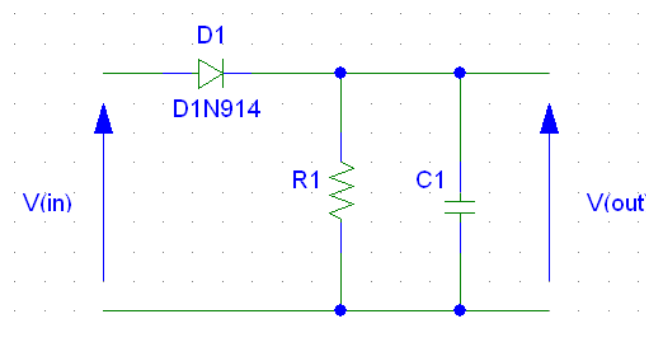


Fig. 8

Questo tipo di rivelatore è chiamato ad involuppo perché ricostruisce i picchi della modulazione. Come si può notare nella figura 8 il rivelatore è costituito da un diodo D1 un condensatore C1 e una resistenza collegata in parallelo al condensatore R1. Nel momento in cui arrivano dei picchi di tensione il diodo è in cortocircuito e il condensatore C1 si carica molto velocemente, mentre quando la tensione

diminuisce il condensatore si scarica sulla resistenza R1 perché il diodo è interdetto e quindi si comporta come un circuito aperto.

A causa del diodo la costante di tempo di carica e di scarica sono diverse:

**Per la carica si ha:**

$$\tau_c = \frac{R_1 \cdot r_d}{R_1 + r_d} \cdot C_1$$

Dove  $r_d$  è la resistenza dinamica del diodo polarizzato direttamente che si può assumere, in pratica, uguale a zero.

**Per la scarica si ha:**

$$\tau_s \cong R_1 \cdot C_1$$

Si dimostra che per un'ottimale demodulazione deve essere:

$$RC \cong \frac{\sqrt{1 - m_f^2}}{2\pi \cdot f_{MAX} \cdot m_f}$$

Dove con  $f_{MAX}$  si indica la massima frequenza contenuta nel segnale modulante e con  $m_a$  la profondità di modulazione.

Supponendo di avere i seguenti dati a disposizione si possono calcolare il valore di R e di C:

$f_{MAX} = 5\text{KHz}$ ,  $m_a = 0,5$

$$RC \leq \frac{\sqrt{1 - m_f^2}}{2\pi \cdot f_{MAX} \cdot m_f} = \frac{\sqrt{1 - 0,5^2}}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 0,5} = 55\mu s$$

A questo punto avendo calcolato il gruppo RC posso scegliere R e calcolare C ovvero

Se  $R = 10\text{K}\Omega$

$$C = \frac{55\mu s}{R} = \frac{55 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^3} = 5,5 \cdot 10^{-9} = 5,5\text{nF}$$

Se  $C = 1\text{nF}$

$$R = \frac{55\mu s}{C} = \frac{55 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-9}} = 55 \cdot 10^3 = 55\text{K}\Omega$$

È preferibile scegliere la seconda soluzione per motivi di componentistica (valori commerciali più facilmente reperibili)

Il gruppo da inserire avrà le caratteristiche del circuito di figura 9

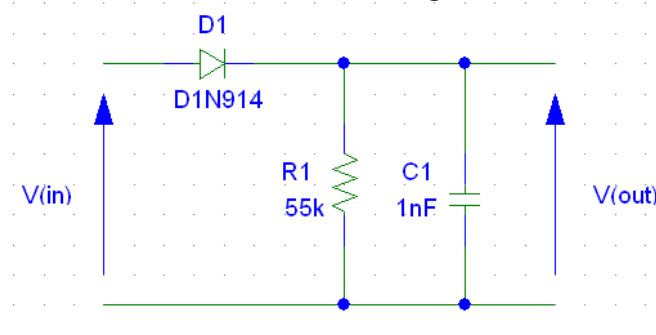


Fig. 9

## FILTRO COMPONENTE CONTINUA

L'informazione a questo punto è stata estratta dal segnale modulato, però non è ancora quella trasmessa, infatti sul segnale rivelato è presente una componente continua che deve essere filtrata. Per fare ciò si inserisce un filtro passa basso come rappresentato in figura 10.

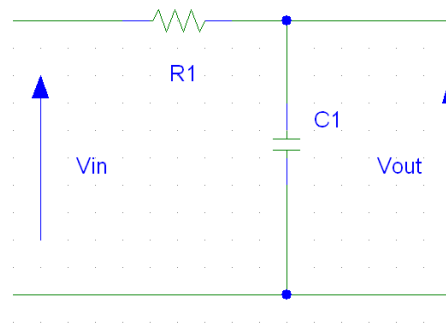


Fig. 10

Il calcolo di C e di R del filtro si fa per una frequenza abbastanza lontana dal valore della modulante massima e dal valore della portante, per cui tenendo conto che le frequenze che abbiamo a disposizione sono:

$$f_p = 100\text{KHz} \text{ e } f_M = 1\text{KHz}$$

risulta ragionevole scegliere come frequenza di taglio  $f_c = 10\text{KHz}$  eseguendo il calcolo si trovano i due valori cercati

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

Supponendo di scegliere il valore della capacità  $C = 10\text{nF}$  e risolvendo per calcolare R si ottiene

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 1592 \Omega$$

Il valore di R calcolato risulta troppo basso, perciò diminuiamo il valore della capacità di 10 volte e ricalcoliamo il valore di R

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9}} = 15920 \Omega$$

I valori così ottenuti possiamo andare a sostituirli nel demodulatore ed eseguire la simulazione. Quindi i valori da inserire nel filtro sono  $C = 1\text{nF}$  e  $R = 16 \text{ K}\Omega$

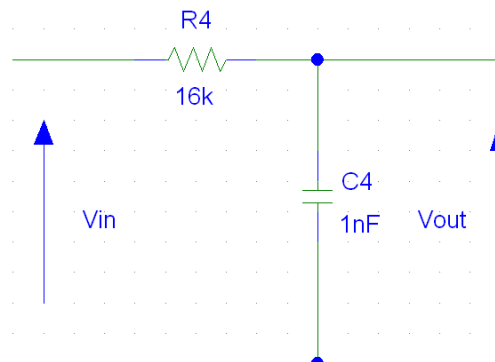


Fig. 11

Infine per potere prelevare il segnale in uscita senza andare ad influire sul funzionamento del filtro si deve mettere una resistenza verso massa di valore elevato sull'ordine del centinaio di M $\Omega$

Dopo le considerazioni fatte sopra il circuito completo per la simulazione è quello di figura 12

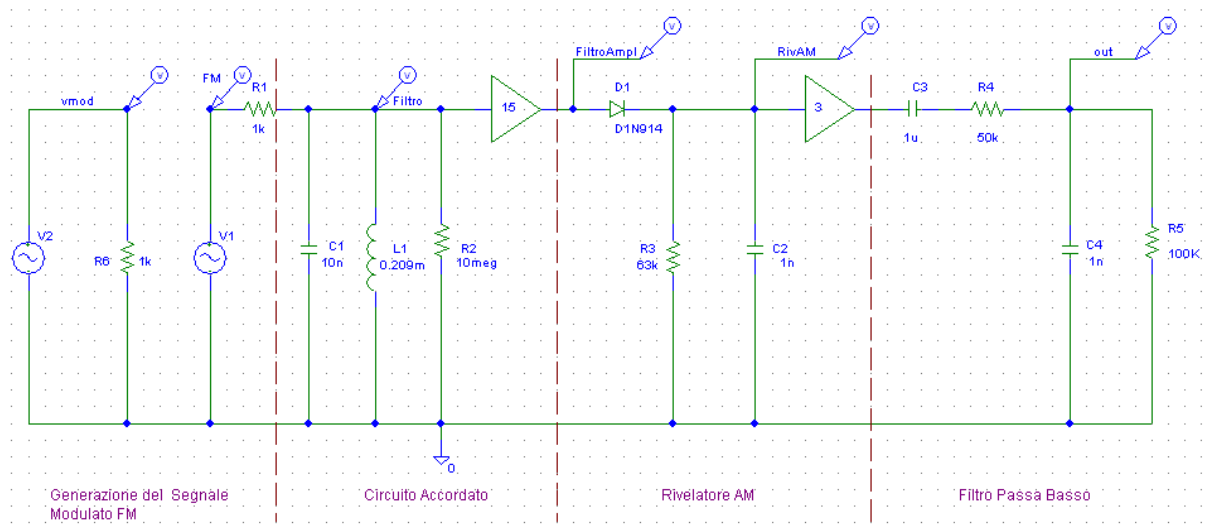


Fig.12

Eseguito la simulazione si possono visualizzare i segnali presenti nei vari punti del circuito.

Segnale MODULANTE e segnale MODULATO FM figura 13

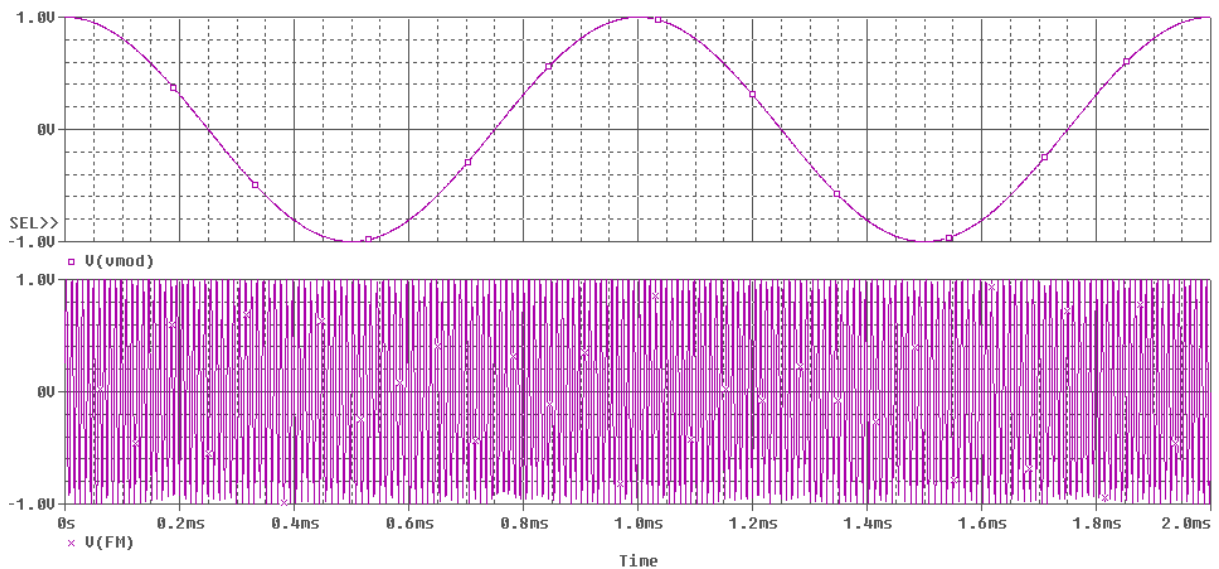


Fig. 13

Segnale ACCORDATO e AMPLIFICATO

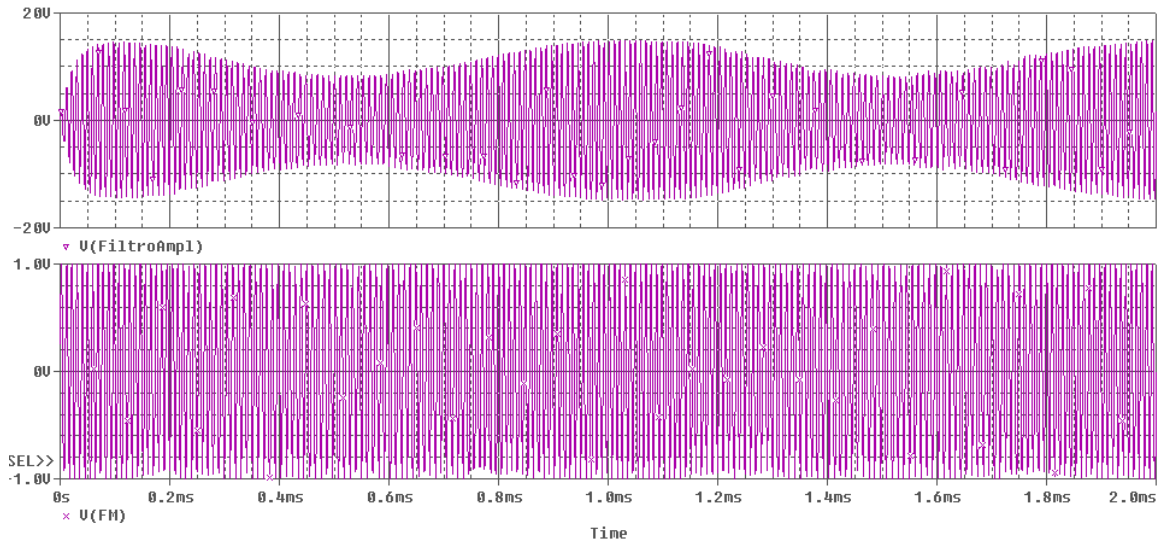


Fig. 14

Segnale RIVELATO

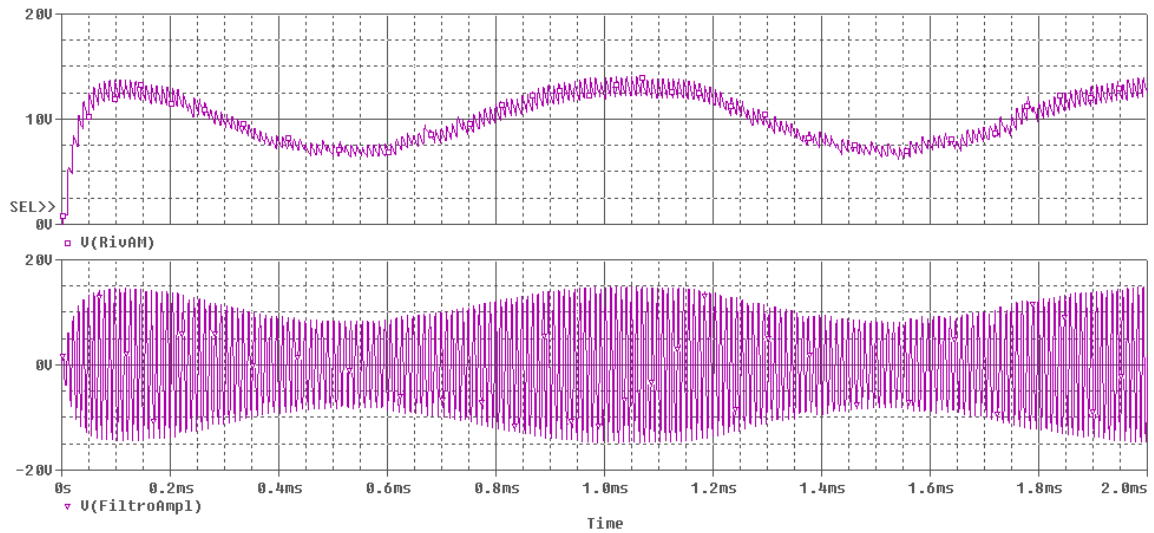


Fig. 15

Segnale in uscita al filtro PASSA BASSO

