VERIFICA

1 Completa:

a) Per **modulazione lineare** si intende la .... dello spettro del .... intorno alla frequenza ....

b) La **modulazione di ampiezza** consiste nel .... del segnale portante .... al .... del segnale modulante.

c) La curva che si ottiene unendo i punti di picco delle oscillazione modulate è .... del segnale .... che coincide ....

2 Le due bande laterali di un **segnale AM** hanno lo stesso contenuto informativo.

◯ Vero ◯ Falso

3 Che cosa si intende per **segnale DSB**?

....

....

4 Completa:

a) Lo spettro di un **segnale SSB** è costituito da ....

b) Un segnale SSB può essere ottenuto .... in una .... mediante un .... centrato su ....

5 La banda di un segnale DSB è la metà di quella di un segnale AM.

◯ Vero ◯ Falso

6 Completa:

a) All'uscita di un **modulatore bilanciato** si ottiene un segnale il cui spettro è costituito solo ....

b) La **demodulazione lineare** è impiegata per demodulare segnali .... aventi ampiezza ....

c) La **demodulazione quadratica** è impiegata per demodulare segnali .... aventi ampiezza ....

7 La tensione di uscita del **rivelatore a inviluppo** ha un andamento che segue l'inviluppo della tensione modulata di ingresso.

◯ Vero ◯ Falso

8 Il **modulatore a sfasamento** è utilizzato per produrre direttamente un segnale di tipo DSB.

◯ Vero ◯ Falso

9 Completa:

a) La demodulazione dei segnali DSB si effettua .... il segnale modulato per .... e filtrando poi il segnale ottenuto con un .... avente larghezza di banda .... a quella del segnale modulante.

b) La **demodulazione DSB** è detta sincrona perché richiede la ricostruzione della ....

VERIFICA

10 Completa:

a) La **modulazione di frequenza** consiste .... la frequenza della .... proporzionalmente al .... del .... lasciandone inalterata l'ampiezza A_M.

b) Lo **spettro di un segnale FM** è costituito da .... disposte simmetricamente rispetto alla .... e distanti da quest'ultima ....

c) Le ampiezze delle componenti che costituiscono lo spettro di un segnale FM sono date dalla .... non modulata per la corrispondente ....

11 La **distorsione** del segnale FM demodulato è trascurabile se almeno il 98 % della potenza del segnale modulato è contenuta nella banda di trasmissione B.

◯ Vero ◯ Falso

12 Completa:

a) La **modulazione di fase** si ottiene variando la .... della portante rispetto al suo valore in assenza .... proporzionalmente .... del segnale modulante.

b) Il **diodo varicap** o ...., quando è polarizzato inversamente equivale a .... il cui valore è proporzionale alla ....

c) I circuiti che eseguono la demodulazione di frequenza sono detti ....

13 Il **PLL** è un circuito in grado di sincronizzare le oscillazioni di due segnali, di cui uno funge da riferimento.

◯ Vero ◯ Falso

14 Descrivi la **trasmissione FDM**.

....

....

....

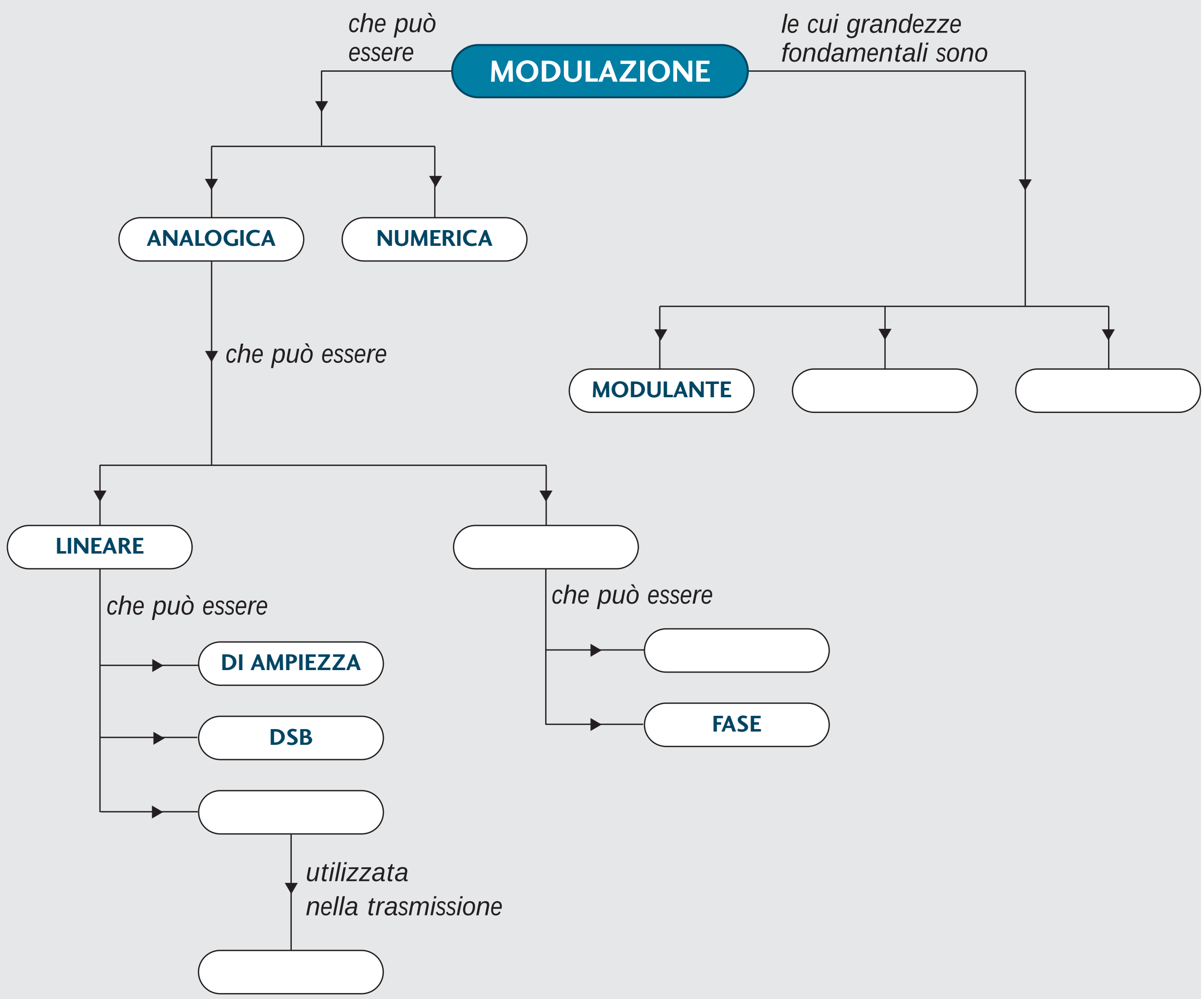
....

COSTRUISCI LE TUE CONOSCENZE

Rispondi alle seguenti domande:

- Quali sono le grandezze che entrano in gioco in un processo di modulazione?
- Come sono classificate le modulazioni analogiche?
- Quali sono le modulazioni lineari?
- Quali sono le modulazione angolari?
- Quale tipologia di modulazione è impiegata nella trasmissione FDM?

Utilizzando come traccia le domande precedenti, completa lo schema seguente che riassume i contenuti dell'Unità.



ESERCIZI RISOLTI

1 **L'inviluppo di un segnale AM, ottenuto modulando una portante a frequenza f_p = 120 kHz con un segnale sinusoidale avente frequenza f_m = 7 kHz, oscilla tra ± 45 V e ± 20 V, come mostrato nella figura 52.**

Svolto in Classe

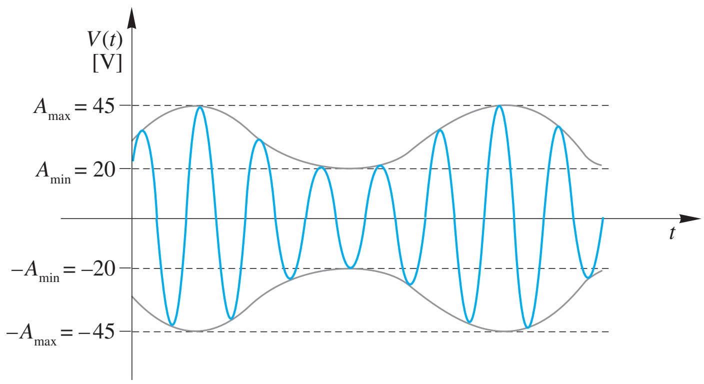


FIGURA 52
Inviluppo del segnale AM.

Considerando un carico di 75 Ω determinare:

a) l'espressione del segnale modulato nel dominio del tempo;

b) la potenza del segnale modulato;

c) la potenza di ciascuna delle bande laterali.

Soluzione

a) L'espressione del segnale modulato nel dominio del tempo è data dall'equazione:

$$v(t) = A_M\,[1 + m\cos(\omega_m t)]\cos(\omega_p t)$$

in cui ω_m e ω_p valgono:

$$\omega_m = 2\pi f_m = 2\pi(7\cdot 10^3) = 43\,982 \text{ rad/s}$$

$$\omega_p = 2\pi f_p = 2\pi(120\cdot 10^3) = 753\,982 \text{ rad/s}$$

Occorre ora determinare l'ampiezza A_M della portante in assenza di modulazione e l'indice di modulazione m.

A tale proposito, dalla figura 52 si può osservare che l'ampiezza del segnale AM oscilla tra i valori:

$$A_{max} = 45 = A_M(1 + m) \qquad \text{per} \qquad \cos(\omega_m t) = 1$$

$$A_{min} = 20 = A_M(1 - m) \qquad \text{per} \qquad \cos(\omega_m t) = -1$$

Le due precedenti equazioni costituiscono un sistema dal quale si possono ricavare i valori di m e di A_M. Si ha infatti:

$$m = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} = \frac{45 - 20}{45 + 20} = 0{,}3846$$

$$A_M = \frac{A_{max}}{1 + m} = \frac{45}{1 + 0{,}3846} = 32{,}5 \text{ V}$$

L'espressione del segnale modulato nel dominio del tempo è allora:

$$v(t) = 32{,}5[1 + 0{,}3846\cos(43\,982\,t)]\cos(753\,982\,t) \text{ V}$$

b) Poiché la potenza P_p della portante vale:

$$P_p = \frac{A_M^2}{2R} = \frac{32{,}5^2}{2\cdot 75} = 7{,}04 \text{ W}$$

la potenza P_m del segnale modulato, in base all'eq. [14], vale:

$$P_m = P_p\left(1 + \frac{m_2}{2}\right) = 7{,}04\left(1 + \frac{0{,}3846^2}{2}\right) = 7{,}56 \text{ W}$$

ESERCIZI RISOLTI

c) La potenza di ciascuna delle bande laterali in base all'eq. [13] risulta:

$$P_l = \frac{A_M^2 m^2}{8R} = \frac{32{,}5^2 \cdot 0{,}3846^2}{8 \cdot 75} = 0{,}26\ \text{W}$$

Osservazione: addizionando la potenza relativa alla portante (P_p) e quelle relative alle bande laterali ($2P_l$) si ottiene la potenza totale del segnale modulante (P_m):

$$P_m = P_p + 2P_p = 7{,}04 + 2 \cdot 0{,}26 = 7{,}56\ \text{W}$$

2 **Si consideri il seguente segnale AM modulato con un segnale sinusoidale:**

$$\boldsymbol{v(t) = 35[1 + 0{,}5 \cos(31\,400\,t)] \cos(690\,800t)\ \text{V}}$$

Se la costante caratteristica del modulatore è K_a = 1,5 determinare:

***a*) lo spettro del segnale AM;**

***b*) l'ampiezza del segnale modulante.**

Soluzione

a) Confrontando il segnale in esame:

$$v(t) = 35[1 + 0{,}5 \cos(31\,400t)] \cos(690\,800t)\ \text{V}$$

con l'espressione del segnale AM (eq. [6]):

$$v(t) = A_M[1 + m \cos(\omega_m t)] \cos(\omega_p t)$$

si ottiene:

$$A_M = 35\ \text{V} \qquad m = 0{,}5$$

$$\omega_m = 31400 \quad \Rightarrow \quad f_m = \frac{31400}{2\pi} = 5\ \text{kHz}$$

$$\omega_p = 690800 \quad \Rightarrow \quad f_p = \frac{690\,800}{2\pi} = 110\ \text{kHz}$$

Le due componenti laterali, indicate con f_{li} (componente laterale inferiore) ed f_{ls} (componente laterale superiore) hanno allora frequenza pari a:

$$f_{li} = f_p - f_m = 110 - 5 = 105\ \text{kHz}$$

$$f_{ls} = f_p + f_m = 110 + 5 = 115\ \text{kHz}$$

e ampiezza pari a:

$$\frac{A_M m}{2} = \frac{35 \cdot 0{,}5}{2} = 8{,}75\ \text{V}$$

Lo spettro che ne deriva è del tipo indicato nella figura 53.

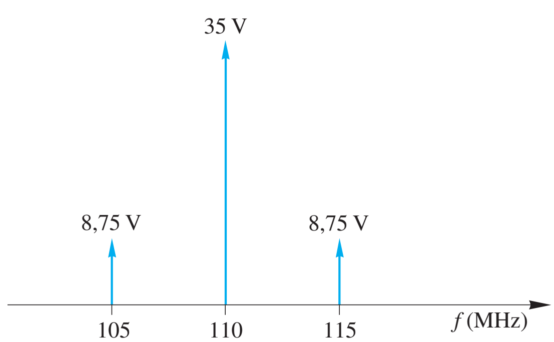


FIGURA 53
Spettro del segnale AM.

ESERCIZI RISOLTI

b) Dall'eq. [7] si può ricavare l'ampiezza del segnale modulante:

$$V_M = \frac{mA_M}{K_a} = \frac{0,5 \cdot 35}{1,5} = 11,67 \text{ V}$$

3 **Un segnale sinusoidale avente frequenza f_m = 4,5 kHz modula in ampiezza una portante la cui ampiezza è A_M = 23 V. Se la potenza del segnale modulato è P_m = 6 W e considerando un carico di 50 Ω, determinare:**

***a*) l'indice di modulazione;**
***b*) la potenza distribuita su ciascuna delle due componenti laterali;**
***c*) la banda del segnale modulato.**

Soluzione *a*) Poiché la potenza della portante, in assenza di modulazione, è:

$$P_p = \frac{A_M^2}{2R} = \frac{23^2}{2 \cdot 50} = 5,29 \text{ W}$$

dalla relazione:

$$P_m = P_p\left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$$

si può determinare l'indice di modulazione m:

$$m = \pm\sqrt{\frac{2(P_m - P_p)}{P_p}} = \pm\sqrt{\frac{2(6 - 5,29)}{5,29}} = \pm 0,518$$

Scartando la soluzione negativa, che non ha alcun significato fisico, si ottiene m = 0,518.

b) La potenza distribuita su ciascuna componente laterale (eq. [13]) vale:

$$P_l = \frac{A_M^2 m^2}{8R} = \frac{23^2 \cdot 0,518^2}{8 \cdot 50} = 0,355 \text{ W}$$

c) La banda del segnale modulato vale:

$$B = 2f_m = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ kHz}$$

4 **Ricavare lo schema a blocchi di un modulatore AM che impiega il dispositivo non lineare della figura 54, supponendo che il segnale modulante sia sinusoidale.**

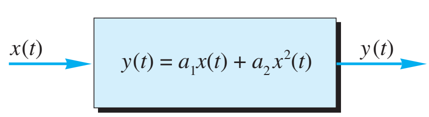


FIGURA 54
Dispositivo non lineare.

Soluzione Applicando all'ingresso del dispositivo non lineare il segnale: $x(t) = V_M \cos(\omega_m t) + A_M \cos(\omega_p t)$ ottenuto sommando la modulante $v_m(t) = V_M \cos(\omega_m t)$ con la portante $v_p(t) = A_M \cos(\omega_p t)$, alla sua uscita si ottiene:

$$y(t) = a_1 V_M \cos(\omega_m t) + a_1 A_M \cos(\omega_p t) + a_2[V_M \cos(\omega_m t) + A_M \cos(\omega_p t)]^2 = a_1 V_M \cos(\omega_m t) + a_1 A_M \cos(\omega_p t) + a_2 V_M^2 \cos^2(\omega_m t) + a_2 A_M^2 \cos^2(\omega_p t) + 2a_2 V_M A_M \cos(\omega_p t) \cos(\omega_m t)$$

ESERCIZI RISOLTI

Ricordando che:

$$\cos^2\alpha = \frac{1}{2}(1+\cos 2\alpha) \qquad \cos\alpha\cos\beta = \frac{1}{2}[\cos(\alpha-\beta)+\cos(\alpha+\beta)]$$

si ha:

$$\begin{aligned} y(t) &= a_1 V_M \cos(\omega_m t) + a_1 A_M \cos(\omega_p t) + \frac{a_2 V_M^2}{2}[1+\cos(2\omega_m t)] + \\ &+ \frac{a_2 A_M^2}{2}[1+\cos(2\omega_p t)] + a_2 V_M A_M [\cos(\omega_p - \omega_m)t + \cos(\omega_p + \omega_m)t] = \\ &= a_1 V_M \cos(\omega_m t) + a_1 A_m \cos(\omega_p t) + \frac{a_2 V_M^2}{2} + \frac{a_2 V_M^2}{2}\cos(2\omega_m t) + \frac{a_2 A_M^2}{2} + \\ &+ \frac{a_2 A_M^2}{2}\cos(2\omega_p t) + a_2 V_M A_M \cos(\omega_p - \omega_m)t + a_2 V_M A_M \cos(\omega_p + \omega_m)t \end{aligned}$$

Lo spettro del segnale d'uscita è dunque quello della figura 55.

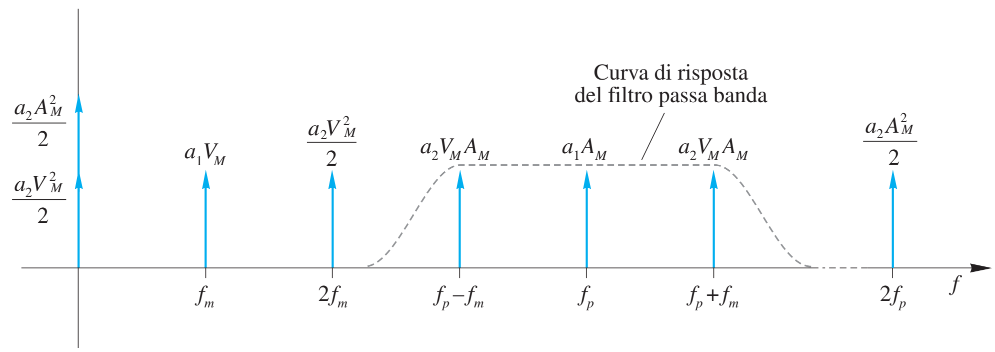


FIGURA 55
Spettro del segnale all'uscita del dispositivo non lineare.

Dalla figura 55 si può osservare che il segnale $y(t)$ contiene componenti a frequenza $f_p - f_m$, f_p ed $f_p + f_m$, cioè lo spettro del segnale AM; inserendo pertando all'uscita del dispositivo non lineare un filtro passa banda centrato su f_p e avente larghezza di banda pari a $2f_m$, si ottiene alla sua uscita il segnale AM.
Lo schema a blocchi del modulatore AM è dunque quello della figura 56.

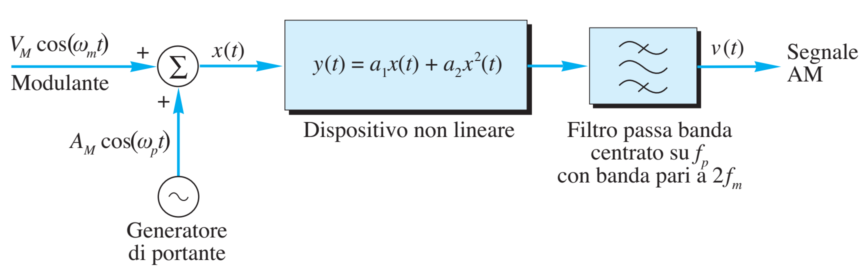


FIGURA 56
Schema a blocchi del modulatore AM.

Analizzando lo spettro della figura 55 si può osservare anche che affinché la componente a frequenza $2f_m$ non risulti contenuta nello spettro del segnale AM è necessario che sia:

$$f_p - f_m > 2f_m$$

cioè:

$$f_p > 3f_m$$

ESERCIZI RISOLTI

5 **Un segnale sinusoidale di ampiezza $V_M = 12$ V e frequenza $f_m = 20$ kHz è impiegato per modulare in frequenza una portante con frequenza, in assenza di modulazione, $f_p = 108$ MHz e ampiezza $A_M = 32$ V. Se la costante di proporzionalità del modulatore è $K_f = 12\,000$ rad/Vs, determinare:**
a) l'espressione del segnale modulato;
b) la potenza del segnale modulato nel caso il carico sia $R = 50\ \Omega$;
c) la deviazione di frequenza.

Soluzione

a) L'espressione del segnale FM con modulante sinusoidale (eq. [53]) è data dall'equazione:

$$v(t) = A_M \cos\left[\omega_p t + m_f \operatorname{sen}(\omega_m t)\right]$$

dove m_f vale (eq. [52]):

$$m_f = \frac{K_f V_M}{\omega_m} = \frac{12\,000 \cdot 12}{2\pi \cdot 20 \cdot 10^3} = 1{,}15$$

Si ottiene perciò:

$$v(t) = 32 \cos\left[2\pi \cdot 108 \cdot 10^6 t + 1{,}15 \operatorname{sen}(2\pi \cdot 20 \cdot 10^3)t\right]$$

b) La potenza del segnale modulato coincide con quella della portante non modulata (l'ampiezza non subisce variazioni) per cui si ha:

$$P_p = P_m = \frac{A_M^2}{2R} = \frac{32^2}{2 \cdot 50} = 10{,}24 \text{ W}$$

c) La deviazione di frequenza, in base all'eq. [52], vale:

$$\Delta F = m_f f_m = 1{,}15 \cdot 20 \cdot 10^3 = 23 \text{ kHz}$$

6 **Un segnale sinusoidale avente frequenza $f_m = 10$ kHz e ampiezza $V_M = 10$ V è impiegato per modulare in frequenza una portante avente frequenza $f_p = 150$ MHz e ampiezza $A_M = 30$ V.**
Se la costante di proporzionalità del modulatore è $K_f = 12\,600$ rad/Vs, determinare:
a) lo spettro del segnale modulato;
b) la deviazione di frequenza;
c) la banda del segnale modulato.

Soluzione

a) Poiché l'indice di modulazione è pari a:

$$m_f = \frac{K_f V_M}{\omega_m} = \frac{12\,600 \cdot 10}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3} = 2$$

il numero di coppie di righe spettrali da prendere in considerazione risulta:

$$k = m_f + 1 = 2 + 1 = 3$$

e pertanto si considerano le seguenti componenti:

$$f_p - f_m = 150 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^3 = 149{,}990 \text{ MHz}$$
$$f_p + f_m = 150 \cdot 10^6 + 10 \cdot 10^3 = 150{,}010 \text{ MHz}$$
$$f_p - 2f_m = 150 \cdot 10^6 - 20 \cdot 10^3 = 149{,}980 \text{ MHz}$$
$$f_p + 2f_m = 150 \cdot 10^6 + 20 \cdot 10^3 = 150{,}020 \text{ MHz}$$
$$f_p - 3f_m = 150 \cdot 10^6 - 30 \cdot 10^3 = 149{,}970 \text{ MHz}$$
$$f_p + 3f_m = 150 \cdot 10^6 + 30 \cdot 10^3 = 150{,}030 \text{ MHz}$$

ESERCIZI RISOLTI

Inoltre, riferendosi alle funzioni di Bessell (fig. 35), per $m = 2$ si ha:

$$J_0(m_f) = J_0(2) \cong 0{,}22$$
$$J_1(m_f) = J_1(2) \cong 0{,}58$$
$$J_2(m_f) = J_2(2) \cong 0{,}35$$
$$J_3(m_f) = J_3(2) \cong 0{,}13$$

e le ampiezze delle componenti costituenti lo spettro risultano:

portante: $A_M\,J_0(2) = 30 \cdot 0{,}22 = 6{,}6\ \text{V}$

componenti $(f_p - f_m)$ e $(f_p + f_m)$: $A_M J_1(2) = 30 \cdot 0{,}58 = 17{,}4\ \text{V}$

componenti $(f_p - 2f_m)$ e $(f_p + 2f_m)$: $A_M J_2(2) = 30 \cdot 0{,}35 = 10{,}5\ \text{V}$

componenti $(f_p - 3f_m)$ e $(f_p + 3f_m)$: $A_M J_3(2) = 30 \cdot 0{,}13 = 3{,}9\ \text{V}$

Lo spettro che ne deriva è pertanto del tipo indicato nella figura 57.

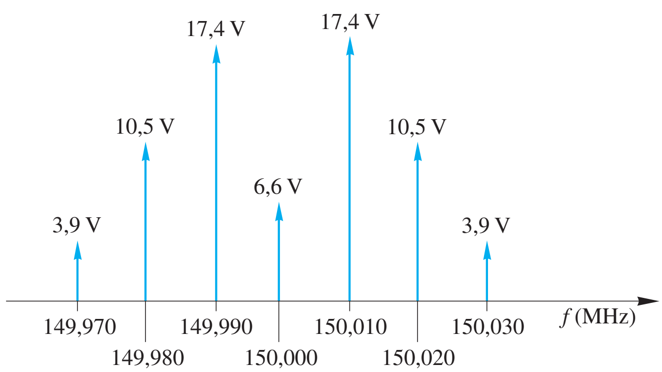


FIGURA 57
Spettro del segnale modulato.

b) In base all'eq. [51] la deviazione di frequenza risulta:

$$\Delta F = \frac{K_f V_M}{2\pi} = \frac{12\,600 \cdot 10}{2\pi} = 20\ \text{kHz}$$

c) Dallo spettro di figura 57, la banda del segnale FM risulta:

$$B = 150\,030 - 149\,970 = 60\ \text{kHz}$$

che coincide con il risultato calcolato mediante la regola di Carson:

$$B = 2(m_f + 1)\,f_m = 2(2 + 1)\ 10 = 60\ \text{kHz}$$

7 La banda di un segnale FM, ottenuto con una modulante sinusoidale avente frequenza $f_m = 15$ kHz e ampiezza $V_M = 7$ V, è $B = 70$ kHz. Determinare:
a) la costante di proporzionalità K_f del modulatore;
b) la deviazione di frequenza;
c) il numero delle coppie di righe costituenti lo spettro del segnale FM.

Soluzione

a) Dopo aver ricavato dall'eq. [61] l'indice di modulazione m_f:

$$m_f = \frac{B - 2f_m}{2f_m} = \frac{70 \cdot 10^3 - 2 \cdot 15 \cdot 10^3}{2 \cdot 15 \cdot 10^3} = 1{,}33$$

Svolto in Classe

ESERCIZI RISOLTI

dall'eq. [52] si può calcolare il valore della costante di proporzionalità K_f:

$$K_f = \frac{m_f \omega_m}{V_M} = \frac{1{,}33 \cdot 2\pi \cdot 15 \cdot 10^3}{7} = 17\,907 \text{ rad/Vs}$$

b) In base all'eq. [52], la deviazione di frequenza ΔF è:

$$\Delta F = m_f f_m = 1{,}33 \cdot 15 = 19{,}95 \text{ kHz}$$

c) Poiché l'indice di modulazione è $m_f = 1{,}33$, dall'eq. [60] si ottiene:

$$k = m_f + 1 = 1{,}33 + 1 = 2{,}33$$

e pertanto il numero delle coppie di righe da considerare è 3, cioè l'intero immediatamente superiore a k.

8 Si consideri il VCO rappresentato nella figura 58, al cui ingresso è applicato il segnale $v_m(t)$.

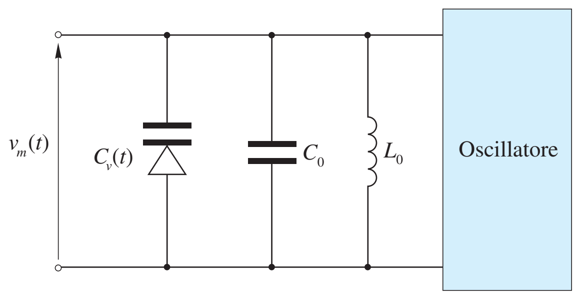


FIGURA 58
VCO con applicato in ingresso il segnale $v_m(t)$.

Determinare:
***a*) la legge di variazione della frequenza del VCO;**
***b*) l'espressione del corrispondente segnale FM.**

Soluzione

a) Applicando all'ingresso del VCO un segnale $v_m(t)$ variabile nel tempo, la capacità del varicap varia con la stessa legge, per cui la capacità $C(t)$ complessiva del circuito risonante dell'oscillatore varia nel seguente modo:

$$C(t) = C_0 + C_v(t) = C_0 + Kv_m(t)$$

dove K è una costante di proporzionalità tipica del VCO.

La frequenza dell'oscillatore risulta allora:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C(t)}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 (C_0 + Kv_m(t))}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0 \left(1 + \frac{K}{C_0} v_m(t)\right)}} =$$

$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{K}{C_0} v_m(t)}} = f_0 \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{K}{C_0} v_m(t)}}$$

avendo indicato con f_0 la frequenza dell'oscillatore in assenza del segnale di ingresso.
Se la costante K è molto minore di 1, risulta:

$$\frac{Kv_m(t)}{C_0} << 1$$

ESERCIZI RISOLTI

per cui, essendo valida la seguente approssimazione:

$$\frac{1}{\sqrt{1+x}} \cong 1+\frac{1}{2}x \qquad \text{per} \qquad x<<1$$

si ha:

$$f(t) = f_0\left(1+\frac{1}{2}\cdot\frac{K}{C_0}v_m(t)\right) = f_0 + \frac{Kf_0 v_m(t)}{2C_0}$$

cioè una modulazione di frequenza.

b) Dalla precedente espressione si deduce che la pulsazione del segnale FM è:

$$\omega(t) = 2\pi f(t) = 2\pi f_0 + \frac{\pi K f_0}{C_0}v_m(t)$$

e quindi la fase $\theta(t)$ vale:

$$\theta(t) = \int \omega(t)\,\mathrm{d}t = \int 2\pi f_0 \mathrm{d}t + \frac{\pi K f_0}{C_0}\int v_m(t)\mathrm{d}t =$$
$$= 2\pi f_0 t + \frac{\pi K f_0}{C_0}\int v_m(t)\mathrm{d}t$$

L'espressione del segnale FM risulta allora:

$$v(t) = A_M \cos\left[2\pi f_0 t + \frac{\pi K f_0}{C_0}\int v_m(t)\,\mathrm{d}t\right]$$

Osservazione
Nel caso di modulante sinusoidale, cioè:

$$v_m(t) = V_M \cos \omega_m t$$

si ottiene:

$$v(t) = A_M \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi K f_0}{C_0}\int V_M \cos(\omega_m t)\,\mathrm{d}t\right) =$$
$$= A_M \cos\left[\omega_0 t + \frac{\pi K f_0 V_M}{\omega_m C_0}\operatorname{sen}(\omega_m t)\right]$$

Confrontando la precedente espressione con l'espressione del segnale FM (eq. [53]):

$$v_m(t) = A_M \cos[\omega_m t + m_f \operatorname{sen}(\omega_m t)]$$

si deduce che l'indice di modulazione vale:

$$m_f = \frac{\pi K f_0 V_M}{\omega_m C_0}$$

ESERCIZI PROPOSTI

9 Dato il seguente segnale AM:

$$v(t) = 25[1 + 0{,}3\cos(100\,480t)]\cos(640560\,t)\ \text{V}$$

determinare:
a) l'indice di modulazione;
b) la frequenza della portante;
c) la frequenza della modulante;
d) l'ampiezza della portante.

(*Suggerimento*: confrontare $v(t)$ con l'espressione $v(t) = A_M\,[1 + m\cos(\omega_m t)]\cos(\omega_p t)$ che rappresenta un segnale AM).

10 Una portante avente ampiezza A_M = 38 V è modulata in ampiezza da un segnale sinusoidale. Se la potenza del segnale modulato è P_m = 11 W, la costante di proporzionalità del modulatore AM è K_a = 2,1 e il carico ha una resistenza R = 75 Ω, determinare l'ampiezza del segnale modulante.

11 Un segnale sinusoidale, avente ampiezza V_M = 12 V e frequenza f_m = 2,45 kHz, è impiegato per modulare in ampiezza una portante di ampiezza A_M = 30 V e frequenza f_p = 123 kHz.
Se la costante di proporzionalità del modulatore è K_a = 1,12 e il carico ha una resistenza R = 50 Ω, determinare:
a) lo spettro del segnale modulato;
b) la potenza del segnale modulato;
c) la potenza di ciascuna componente laterale.

12 Un segnale sinusoidale avente frequenza f_m = 2 kHz è impiegato per modulare in ampiezza una portante avente frequenza f_p = 70 kHz. Se l'indice di modulazione è m = 0,7 e la potenza del segnale modulato su di un carico R = 50 Ω è P_m = 6 Ω, determinare:
a) l'ampiezza della portante;
b) la potenza del segnale SSB ottenuta per filtraggio dal segnale AM.

13 La banda di un segnale AM, ottenuto modulando una portante avente frequenza f_p = 90 kHz con una modulante non sinusoidale, è B = 12 kHz. Sapendo che la minima frequenza contenuta nella banda della modulante è f_{min} = 1,5 kHz, determinare:
a) la banda del segnale modulante;
b) la larghezza di banda teorica e la frequenza centrale (f') del filtro necessario per ottenere un segnale SSB.

(*Suggerimento*: si disegni lo spettro del segnale AM).

14 Un segnale sinusoidale avente frequenza f_m = 15 kHz e ampiezza V_M = 15,7 V è impiegato per modulare in frequenza una portante che ha un'ampiezza A_M = 35 V. Se la costante caratteristica del modulatore è K_f = 12 000 rad/Vs, determinare:
a) l'ampiezza della portante del segnale modulato;
b) la deviazione di frequenza.

(*Suggerimento*: si determini l'indice di modulazione mf e quindi, tramite le funzioni di Bessel, l'ampiezza della portante modulata).

15 Determinare lo spettro e la banda del segnale FM ottenuto modulando una portante, avente ampiezza A_M = 25 V e frequenza f_p = 98 MHz, con una modulante sinusoidale che ha frequenza f_m = 20 kHz, sapendo che la deviazione di frequenza è ΔF = 60 kHz.

ESERCIZI PROPOSTI

16 Un segnale sinusoidale avente frequenza f_m = 14 kHz e ampiezza V_M = 10 V modula in frequenza una portante che ha un'ampiezza A_M = 40 V e frequenza f_p = 140 MHz. Se la costante di proporzionalità del modulatore è K_f = 13 000 rad/Vs, determinare:
a) l'espressione del segnale modulato;
b) l'espressione della frequenza del segnale modulato.

(*Suggerimento*: si ricordi che la pulsazione è la derivata della fase).

17 La banda di un segnale FM, ottenuto con una modulante sinusoidale avente frequenza f_m = 25 kHz, è 100 kHz.
Determinare:
a) la deviazione di frequenza;
b) la costante di proporzionalità K_f del modulatore se l'ampiezza della modulante è V_M = 9 V;
c) l'ampiezza della portante se la potenza del segnale modulato su un carico R = 75 Ω è P_m = 10 W.

(*Suggerimento*: si tenga presente che la potenza di un segnale FM coincide con la potenza della portante non modulata).

18 Un segnale FM è ottenuto modulando una portante sinusoidale di ampiezza A_M = 35 V con un segnale avente ampiezza V_M = 13 V e frequenza f_m = 18 kHz.
Se la banda del segnale FM è B = 150 kHz, determinare:
a) la deviazione di frequenza;
b) la costante K_f del modulatore;
c) la potenza del segnale FM, supponendo un carico R = 50 Ω.

(*Suggerimento*: si determini innanzitutto l'indice di modulazione m_f).