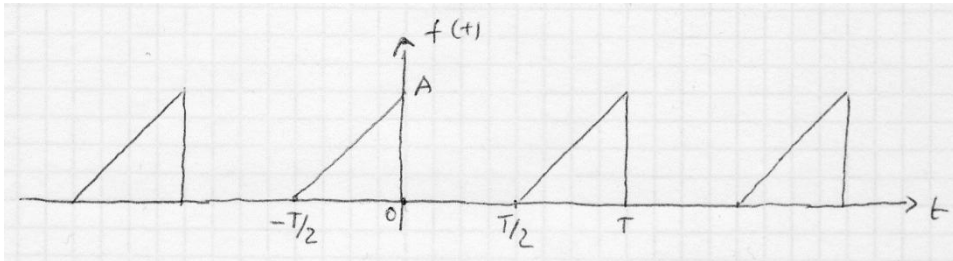


NOME

I quesiti a) e b) relativi ai punti 1), 2) e 3) sono ALTERNATIVI, a scelta del candidato [è possibile, ad es. scegliere il quesito b) del punto 1) e il quesito a) degli altri 2, in qualunque combinazione, ma NON i quesiti a) e b) degli stessi punti]

- 1) Data la seguente funzione periodica



- 1a) È noto che una funzione periodica può essere espressa come somma di infinite armoniche più un eventuale termine costante (se ha valor medio diverso da zero). Lo sviluppo in serie (in forma cartesiana) è il seguente

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega t$$

Scrivi l'espressione analitica della funzione  $f(t)$  nel periodo  $T$  necessario al calcolo dei coefficienti, e le espressioni necessarie al calcolo dei coefficienti (non eseguire il calcolo degli integrali)

- 1b) È noto che lo sviluppo in serie di una funzione periodica può essere determinato come somma degli sviluppi in serie di una funzione pari e di una funzione dispari in cui è scomponibile tale funzione.

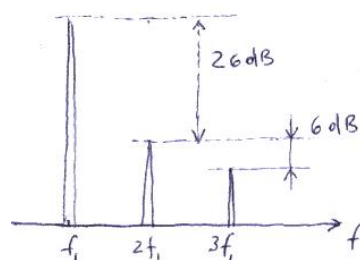
Scomponi la funzione assegnata nella somma di una funzione pari e di una funzione dispari tali che

$$f(t) = f_p(t) + f_d(t)$$

scrivendo le espressioni che consentono di calcolare tali funzioni, e determina graficamente una delle due.

- 2a) Enuncia il teorema del campionamento di Shannon, quindi rappresenta lo spettro delle ampiezze di una sinusoide a 6 kHz campionata alla frequenza di 8 kHz. Cosa si ottiene filtrando il segnale campionato con un filtro passa basso ideale con banda limitata a 4 kHz? Quale accorgimento si adotta per essere certi che non si verifichi il fenomeno di aliasing?
- 2b) Un segnale "sinusoidale" di frequenza  $f_1$ , osservato all'analizzatore di spettro, evidenzia distorsioni di 2a e 3a armonica come in figura.

Determina la distorsione armonica complessiva.



- 3a) Rappresenta lo schema a blocchi di un modulatore SSB (segnale modulato in ampiezza a banda laterale unica) e spiega la funzione dei vari blocchi specificando cosa si ottiene all'uscita di ogni blocco.
- 3b) Descrivi le tecniche di demodulazione di un segnale modulato in ampiezza a doppia banda laterale (portante soppressa) e a banda laterale unica.

Cosa comporta un errore di fase nella portante di demodulazione nel caso di segnali DSB e SSB destinati ad essere uditi? Quale tra questi tipi di modulazione risulta vantaggiosa se il segnale modulante è del tipo destinato ad essere udito?

$$1 a) \quad f(t) = \begin{cases} f_1(t) & \text{per } -\frac{T}{2} < t < 0 \\ 0 & \text{per } 0 < t < \frac{T}{2} \end{cases} \quad \text{oppure} \quad \begin{cases} 0 & \text{per } 0 < t < \frac{T}{2} \\ f_2(t) & \text{per } \frac{T}{2} < t < T \end{cases}$$

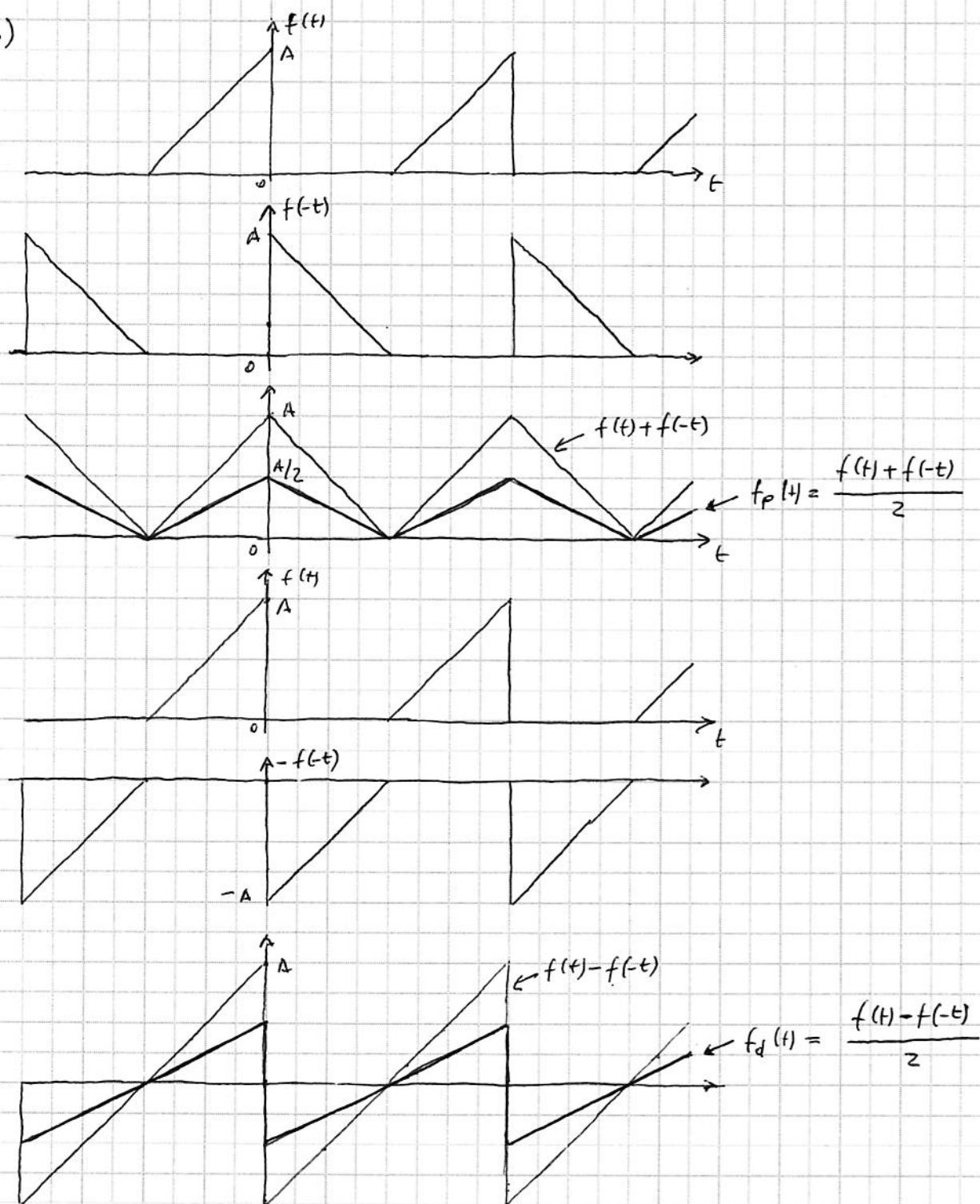
$$\text{con } f_1(t) = \frac{A}{T/2} t + A = \frac{2A}{T} t + A \quad \text{e} \quad f_2(t) = \frac{2A}{T} (t - \frac{T}{2}) = \frac{2A}{T} t - A$$

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_T f(t) dt = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^0 \left( \frac{2A}{T} t + A \right) dt$$

$$a_m = \frac{2}{T} \int_T f(t) \cos m\omega t dt = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^0 \left( \frac{2A}{T} t + A \right) \cos m\omega t dt$$

$$b_m = \frac{2}{T} \int_T f(t) \sin m\omega t dt = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^0 \left( \frac{2A}{T} t + A \right) \sin m\omega t dt$$

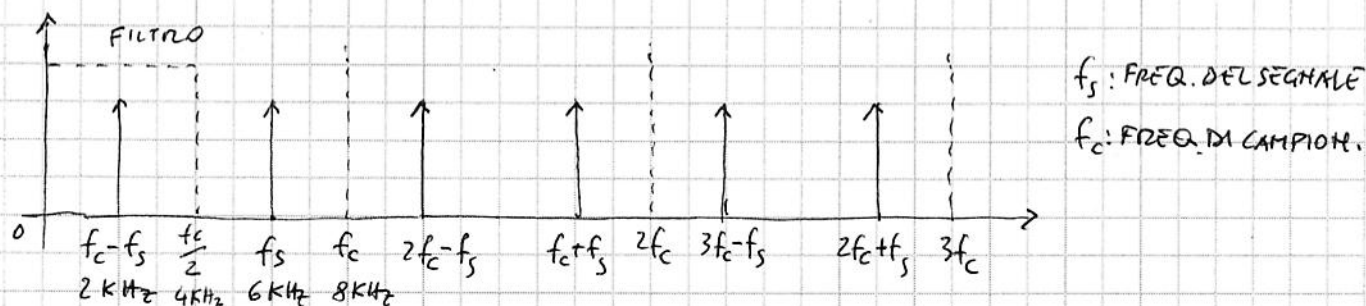
1 b)



2a) LA MINIMA FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO PER NON PERDERE INFORMAZIONE E CONSENTIRE LA CORRETTA RICOSTRUZIONE DEL SEGNALE ORIGINARIO, È PARI A DUE VOLTE LA MASSIMA FREQUENZA DI TALE SEGNALE (CIOÈ ALMENO DUE CAMPIONI PER PERIODO PER OGNI COMPONENTE SPETTRALE DI TALE SEGNALE).

LO SPETTRO DEL SEGNALE CAMPIONATO È UGUALE ALLO SPETTRO DEL SEGNALE ORIGINALE RIPETUTO PERIODICAMENTE CON PERIODO UGUALE ALLA FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO (PRATICAMENTE È COSTITUITO DALL'LO SPETTRO DEL SEGNALE ORIGINALE PIÙ QUELLE OTTENUTE DA UNA SERIE DI MODULAZIONI DI AMPIEZZA A DOPPIA BANDA LATERALE CON PORTANTE SOPPRESSE CENTRATE ALLA FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO E ALLE SUE ARMONICHE).

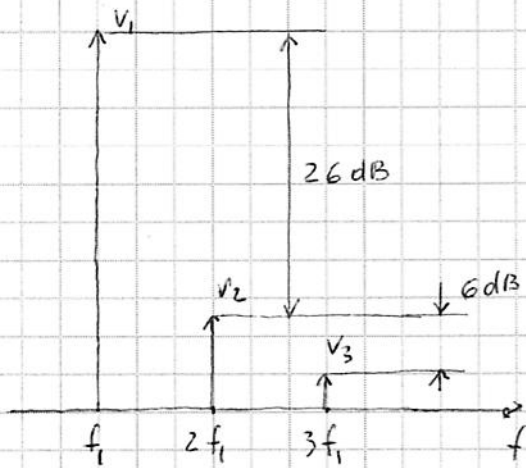
IN QUESTO CASO LA FREQUENZA DEL SEGNALE DA CAMPIONARE SUPERA  $f_c/2$  E LE RIPETIZIONI NELLO SPETTRO CAMPIONATO SI SOVRAPPONGONO -  
(IN PARTICOLARE  $f_c - f_s$  VIENE A TROVARSI A FREQUENZA INFERIORE A  $f_s$ )



FILTRANDO IL SEGNALE CAMPIONATO CON FILTRO PASSA BASSO IDEALE CON BANDA LIMITATA A 4 kHz ( $f_c/2$ ) SI RICOSTRUISCE IL SEGNALE A FREQUENZA IMMAGINE  $f_c - f_s$  POSTO A 2 kHz (GENERATO DALL'LO SPETTRO DELLA REPLICA ADIACENTE CENTRATA ALLA FREQ.  $f_c$ ).

PER EVITARE IL FENOMENO DI ALIASING, PRIMA DI EFFETTUARE IL CAMPIONAMENTO SI FILTRA IL SEGNALE PER ECIMINARE LE COMPONENTI A FREQUENZE PIÙ ELEVATE CON UN PASSA BASSO LIMITATO A  $f_r \leq \frac{f_c}{2}$ .

2b)



$$20 \lg_{10} V_1 - 20 \lg_{10} V_2 = 20 \lg_{10} \frac{V_1}{V_2} = 26 \text{ dB} \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = 20 \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{20}$$

$$20 \lg_{10} V_2 - 20 \lg_{10} V_3 = 20 \lg_{10} \frac{V_2}{V_3} = 6 \text{ dB} \rightarrow \frac{V_2}{V_3} = 2 \rightarrow \frac{V_3}{V_2} = \frac{1}{2} \rightarrow \frac{V_3}{V_1} = \frac{V_3}{V_2} \cdot \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{40}$$

$$D_2 = \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{20} = \frac{5}{100} = 5\% \quad \text{DISTORSIONE DI 2^a ARMONICA}$$

$$D_3 = \frac{V_3}{V_1} = \frac{1}{40} = \frac{2,5}{100} = 2,5\% \quad \text{DISTORSIONE DI 3^a ARMONICA}$$

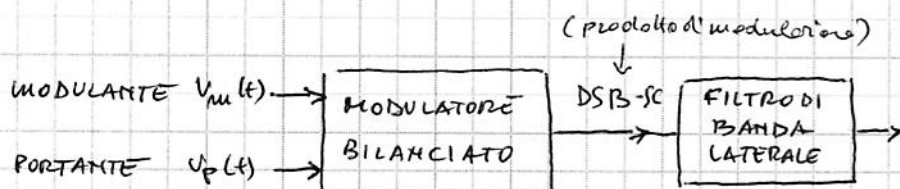
DISTORSIONE ARMONICA TOTALE

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2}}{V_1} = \sqrt{\frac{V_2^2 + V_3^2}{V_1^2}} = \sqrt{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 + \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^2} = \sqrt{D_2^2 + D_3^2}$$

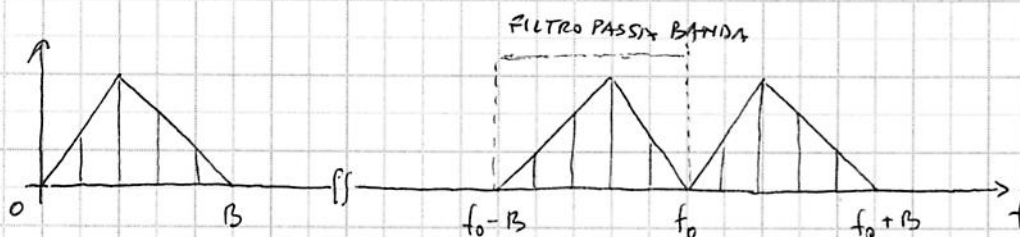
$$THD\% = 100 \sqrt{D_2^2 + D_3^2} \% = \sqrt{(D_2\%)^2 + (D_3\%)^2} = \sqrt{5^2 + 2,5^2} = 5,59\%$$



### 3a) I MODULATORE SSB (METODO DEL FILTRAGGIO)



IL MODULATORE BILANCIATO RICEVE IN INGRESSO I SEGNALE PORTANTE E MODULANTE E GENERA IN USCITA UN SEGNALE MODULATO IN AMPIEZZA A DOPPIA BANDA LATERALE CON PORTANTE SOPPRESSA - CON IL FILTRO DI BANDA SI SELEZIONA UNA DELLE DUE BANDE LATERALI SOPPRIMENDO L'ALTRA -

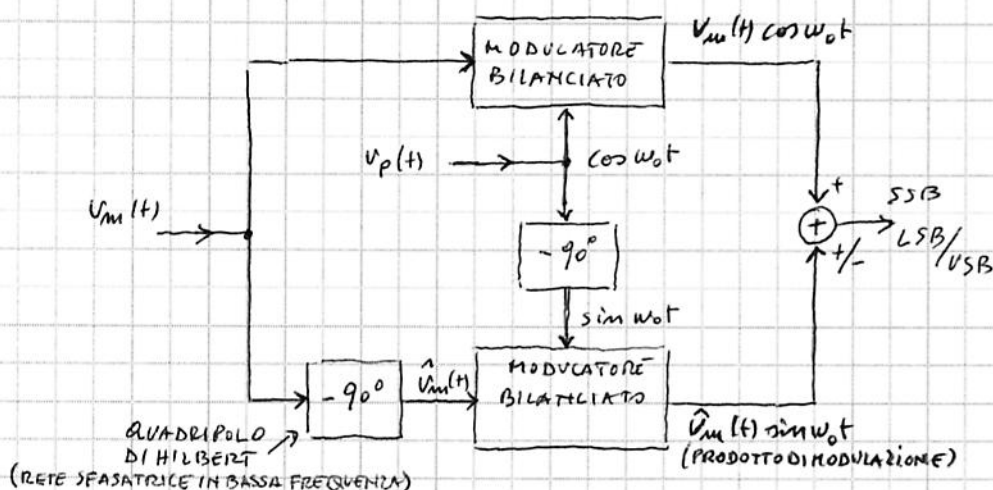


### II MODULATORE SSB (METODO DELLO SFASAMENTO)

DAU'ESPRESSIONE DEL SEGNALE SSB  $V_{SSB}(t) = V_m(t) \cos \omega_0 t \pm \hat{V}_m(t) \sin \omega_0 t$

(CON SEGNO + O - A SECONDA SE SI CONSIDERA IL SEGNALE LSB O USB)

[  $V_m(t)$  MODULANTE,  $\hat{V}_m(t)$  SEGNALE DI HILBERT ASSOCIATO, CON OGNI COMPONENTE SPETTRALE SFASATA DI  $-90^\circ$  ]

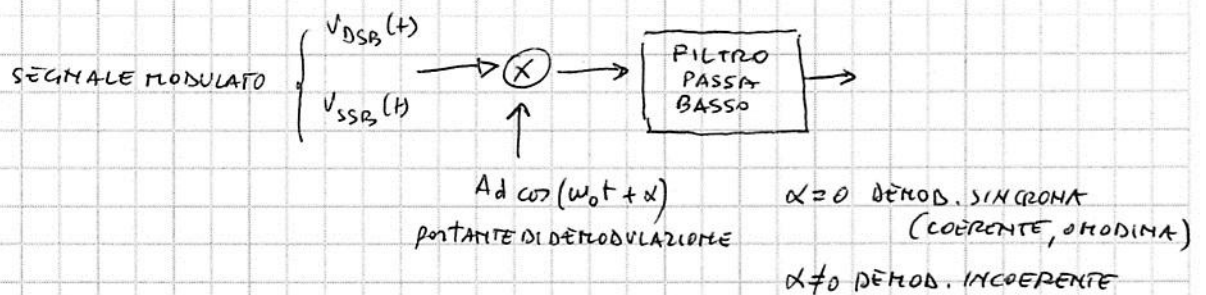


LE RETI SFASATRICI SFASANO PORTANTE E MODULANTE DI  $-90^\circ$  (IN PARTICOLARE DEVONO ESSERE SFASATE TUTTE LE COMPONENTI SPETTRALI DEL SEGNALE MODULANTE)

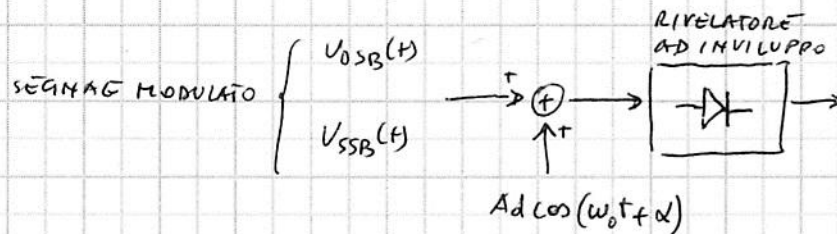
I MODULATORI SONO BILANCIATI NEI CONFRONTI DELLE PORTANTI CHE VENGONO SOPPRESSE. IL SOMMATORE FINALE CONSENTE DI OTTENERE IL SEGNALE A BANDA LATERALE UNICA (SSB), CIOE' A BANDA LATERALE SUPERIORE (USB) O INFERIORE (LSB) -

### 3 b) LE TECNICHE DI DEMODULAZIONE X SEGNALI DSB E SSB SONO

#### a) DEMODULAZIONE A PRODOTTO



#### b) DEMODULAZIONE AD INVILUPPO



#### CASO a) DEMODULAZ. A PRODOTTO

IL SEGNALE MODULATO (PRIVO DI PORTANTE) VIENE MOLTIPLICATO PER UNA PORTANTE DI DEMODULAZIONE GENERATA LOCALMENTE (IN RICEZIONE): SE QUESTA È IN FASE CON LA PORTANTE IMPIEGATA NELLA MODULAZIONE SI HA LA DEMODULAZIONE SINCRONA: DAL PRODOTTO SI OTTIENE CORRETTAMENTE IL SEGNALE MODULANTE ORIGINARIO  $V_m(t)$  IN ENTRAMBI I CASI (SIA X SEGNALE DSB CHE SSB) PIÙ COMPONENTI A FREQUENZA DOPPIA DI QUELLA DELLA PORTANTE, CHE VENGONO ELIMINATE DAL FILTRO PASSA BASSO -

SE LA PORTANTE DI DEMODULAZIONE È SFASATA DI UN ANGOLO  $\alpha$  RISPETTO ALLA FASE DELLA PORTANTE DI MODULAZIONE, NEL CASO DI SEGNALE DSB, UNA VOLTA FILTRATO DAUE COMPONENTI DI ALTA FREQUENZA ( $2f_0$ ), SI OTTIENE IL SEGNALE  $V_m(t) \cos \alpha$ , CIOÈ IL SEGNALE MODULANTE MOLTIPLICATO PER  $\cos \alpha$  (SEGNALE NON DISTORTO, MA ATTENUATO DAL FATTORE  $\cos \alpha$ : SE  $\alpha \rightarrow 90^\circ$  L'AMPIEZZA DEL SEGNALE DEMODULATO TENDE A ZERO, CIOÈ SCOMPARE) -

IL SEGNALE SSB INVECE, FILTRATO DAUE COMPONENTI A FREQ.  $2f_0$ ,

RISULTA DEL TIPO  $V_m(t) \cos \alpha + \hat{V}_m(t) \sin \alpha$ , CIOÈ COMPARE IL

SECONDO TERMINE (TERMINE DI DISTORSIONE LINEARE) AL VARIARE DELLO SFASAMENTO  $\alpha$ , MENTRE UN TERMINE AUMENTA, L'ALTRO DIMINUISCE E LA POTENZA COMPLESSIVA NON CAMBIA -

( $\hat{V}_m(t)$  È IL SEGNALE DI HILBERT ASSOCIATO ALLA MODULANTE  $V_m(t)$ , CON TUTTE LE COMPONENTI SPETTRALI SFASATE DI  $-90^\circ$  RISPETTO A QUELLE DELLA MODULANTE)

CASO b) CON LA DEMODULAZIONE AD INVILUPPO, LA PORTANTE DI DEMODULAZIONE GENERATA LOCALMENTE VIENE PRIMA SOMMATA AL SEGNALE MODULATO (DI TIPO DSB O SSB) E POI SI EFFETTUA LA RIVELAZIONE AD INVILUPPO.

LA PORTANTE DI DEMODULAZIONE GENERATA (IN ASSENZA DI RIFERIMENTO) PRESENTERÀ UNO SFASAMENTO  $\alpha$  RISPETTO A QUELLO DELLA PORTANTE DI MODULAZIONE.

LA SOMMA DEL SEGNALE MODULATO PIÙ LA PORTANTE DI DEMODULAZIONE PRESENTERÀ UNA MODULAZIONE SIA DI AMPIEZZA CHE DI FASE:

CON CENTRANDOCI SULLA MODULAZIONE DI AMPIEZZA, SIA NEL CASO DI SEGNALE DSB CHE NEL CASO DI SEGNALE SSB, L'AMPIEZZA PRESENTERÀ TERMINI DI DISTORSIONE NON LINEARE CHE POSSONO ESSERE RIDOTTI SEMPRE PIÙ AUMENTANDO L'AMPIEZZA DELLA PORTANTE DI DEMODULAZIONE.

TRASCURANDO TALI TERMINI (CHE POSSONO ESSERE RIDOTTI SEMPRE PIÙ) L'INVILUPPO DELLA PORTANTE DIVENTA PRATICAMENTE UGUALE A QUELLO OTTENUTO CON DEMODULAZIONE A PRODOTTO (CASO a) NON COERENTE] SIA NEL CASO DEL SEGNALE DSB CHE NEL CASO DI SEGNALE SSB.

PER IL SEGNALE DSB  $\rightarrow v_m(t) \cos \alpha$  (SEGNALE MODULANTE ATTENUATO)

PER IL SEGNALE SSB  $\rightarrow v_m(t) \cos \alpha + \hat{v}_m(t) \sin \alpha$  (SEGNALE MODULANTE CON TERMINI DI DISTORSIONE LINEARE)

AL VARIARE DELLO SFASAMENTO  $\alpha$ , IL SEGNALE OTTENUTO DALLA DSB SI ATTENUA; QUELLO OTTENUTO DALLA SSB INVECE, MENTRE UN TERMINE AUMENTA, L'ALTRO DIMINUISCE E LA POTENZA COMPLESSIVA NON CAMBIA.

SE IL SEGNALE È DESTINATO AD ESSERE UDITO, LA DISTORSIONE LINEARE OTTENUTA DALLA DEMODULAZIONE DI UN SEGNALE SSB NON È AVVERTITA DALL'ORECCHIO È IL SEGNALE DEMODULATO, SEPPURE SFASATO E DISTORTO MANTIENE LA STESSA POTENZA, MENTRE QUELLO OTTENUTO DALLA DEMODULAZIONE DI UN SEGNALE DSB NON PRESENTA DISTORSIONE, MA RISULTA ATTENUATO DAL FATTORE  $\cos \alpha$  E SPARISCE COMPLETAMENTE PER  $\alpha = 90^\circ$  (PORTANTE DI DEMODULAZIONE IN QUADRATURA RISPETTO ALLA PORTANTE DI MODULAZIONE).

PERCIÒ, SE IL SEGNALE È DESTINATO AD ESSERE UDITO, LA MODULAZIONE SSB RISULTA VANTAGGIOSA RISPETTO ALLA MODULAZIONE DSB.