

RAI STEREO

la ricezione in auto



RAI STEREO

la ricezione in auto

RAI

SUPPORTO COMMERCIALE
ABBONAMENTI

CELESTIAN
QUESTA È STORIA DI

RAI STEREO
la ricezione in auto

a cura di
ing. Mario Cannizzo

testo
ing. Italo Ghidini

note sulla stereofonia
ing. Franco Alberico



Per la realizzazione televisiva

coordinamento grafico

Dino Di Santo

riprese in truck

Riccardo Scotti

collaboratore alla sceneggiatura

Edoardo Sala

regia

Romano Costamagna

Nel presente volume si prende in esame la problematica della ricezione in auto dei programmi emessi in modulazione di frequenza stereo.

In quest'ottica vengono esaminati i principali aspetti connessi con la manipolazione del segnale stereo, con la sua emissione e con la ricezione.

In particolare si affrontano i problemi relativi alla scelta ed alla collocazione dell'antenna e si evidenziano le principali caratteristiche del ricevitore per auto.

Infine si illustrano le procedure d'installazione e gli interventi da eseguire sull'auto, al fine di garantire una ricezione nelle migliori condizioni.

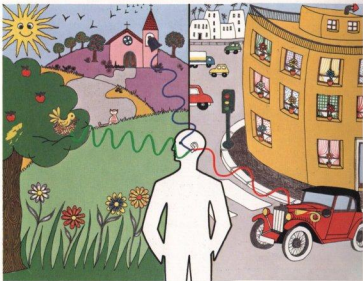
NOTE SULLA STEREOFONIA

Nel novembre del 1982 la RAI ha dato inizio al servizio radio in stereofonia rinnovando, nel contempo, l'impostazione dei programmi al fine di renderli rispondenti alle nuove esigenze.

Questo tipo di emissione consente di riprodurre le condizioni di ascolto che si possono avere in una sala dal vivo.

Per meglio comprendere il problema dell'ascolto, nei suoi principi e nelle sue realizzazioni, riteniamo opportuno premettere alcune considerazioni sul fenomeno suono.

Nell'ambiente in cui viviamo vengono generati vari tipi di vibrazioni acustiche che, captate dall'orecchio, sono a loro volta trasformate in sensazioni sonore dal cervello. Questo elabora gli stimoli percepiti,



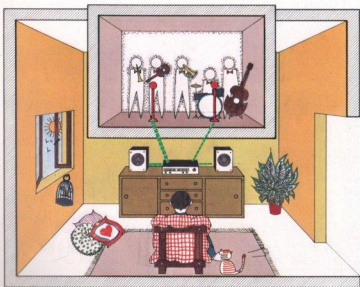
Captazione di vibrazioni acustiche.

individuando la direzione di provenienza, l'altezza, l'intensità ed il timbro dei diversi suoni e valutando la distanza dalla sorgente che li genera e, perfino, le dimensioni e la natura dell'ambiente in cui si producono.

Se si considera, in particolare, il meccanismo d'individuazione della direzione di provenienza di un suono, si deve dire che in esso intervengono vari fattori, tra i quali, soprattutto, la differenza di tempo e la differenza d'intensità con la quale l'onda sonora investe le due orecchie.

La prima conseguenza è che se l'ascolto viene fatto con un solo orecchio, non è possibile individuare la provenienza del suono.

Nei casi in cui predomina il fattore della differenza di tempo, la ricerca avviene orientando la testa finché non si sente l'onda sonora giungere nello stesso istante ad entrambe le orecchie. Se invece il suono giunge alle orecchie con intensità diverse, la percezione della direzione della sorgente sonora si sposta dalla parte che riceve l'intensità maggiore,



Ripresa e riproduzione in stereofonia.

tanto più quanto maggiore è la differenza d'intensità: questo è, ad esempio il caso di ascolto in cuffia.

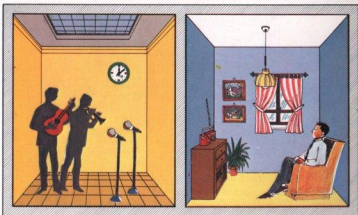
In sostanza, si può dire che il nostro cervello, attribuendo una direzione alle sensazioni sonore, ricostruisce un'immagine in rilievo, prospettica, dello spazio sonoro in cui siamo immersi.

Orbene, quando si tratti di ascoltare dei suoni, non direttamente, ma attraverso una riproduzione (disco, cassetta, radio), il problema tecnico che si pone è proprio quello di prendere come riferimento lo spazio sonoro originale e di riuscire a ricostruirlo nell'ambiente di ascolto con la massima fedeltà possibile.

Delle soluzioni tecniche che si sono finora affermate commercialmente, è solo la stereofonia che realizza, in buona misura, questo obiettivo che è, invece, assente nella monofonia.

La prima tecnica di ripresa e di riproduzione sonora è stata quella monofonica.

Questa prevede l'uso di uno o più microfoni che vengono disposti nell'ambiente dove avviene la ripresa, per captare nel migliore modo possibile i suoni che interessano.

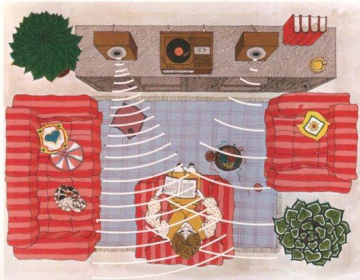


Ripresa e riproduzione in monofonia.

I segnali elettrici ottenuti raccogliendo le vibrazioni sonore mediante microfoni vengono combinati e poi inviati ad un unico canale di trasmissione. Questo, nell'ambiente di ascolto, alimenta un unico diffusore: così tutti i suoni giungono all'ascoltatore da una sola sorgente, venendosi a perdere, di conseguenza, la sensazione del rilievo sonoro.

Un decisivo passo in avanti nell'obiettivo di ricostruire lo spazio originale è stato compiuto successivamente con l'introduzione della tecnica stereofonica.

L'audizione stereofonica è caratterizzata dalla facoltà dell'uomo di poter riconoscere la direzione di provenienza dei suoni. Per quanto riguarda invece la possibilità di riconoscere la distanza di provenienza ovvero la spazialità in termini di profondità, questa è molto correlata ad una valutazione soggettiva dell'intensità del segnale, anche se questo parametro non sempre consente un'esatta valutazione.



Ascolto in stereofonia.

Una serie di prove eseguite su molti osservatori ha permesso di affermare che l'effetto di profondità del campo sonoro è essenzialmente una funzione soggettiva, ovvero psicologica, connessa con percezioni acustiche che il soggetto condiziona alle esperienze accumulate in precedenza. C'è quindi la possibilità di sensazioni errate nella percezione della profondità sonora, mentre è da ritenersi aderente al vero la facoltà di discernere la direzione di provenienza dei segnali sonori.

La tecnica stereofonica prevede che i segnali elettrici ottenuti nella ripresa dai vari microfoni vengano raggruppati in due canali, mantenuti completamente distinti per tutto il percorso di trasmissione, fino all'ambiente di ascolto, in cui la riproduzione avviene per mezzo di due diffusori posti ad un'opportuna distanza tra loro.

Per convenzione viene indicato come canale A quello che proviene dal diffusore sinistro e come canale B quello che proviene dal diffusore destro.

Supponiamo che stia emettendo suoni la sola sorgente 1 che si trova a distanze diverse dai due microfoni A e B, i quali raccoglieranno in tali condizioni due segnali d'intensità diverse. Questi, attraverso la rete di trasmissione, alimenteranno i due diffusori A e B che, perciò, entreranno in vibrazione con ampiezze diverse.

Tali vibrazioni sonore emesse dai diffusori, propagandosi nell'aria fino al punto C dove è posto l'ascoltatore, si combineranno in un'unica vibrazione che avrà una direzione spostata dalla parte di quella delle due componenti che era la più forte, cioè verso la direzione B nel caso esaminato.

Così l'ascoltatore nel punto C non percepisce due suoni distinti provenienti dai due diffusori, ma ha la sensazione di un'unica sorgente sonora posta nella direzione 1'.

Con ragionamento analogo si può notare che per le sorgenti 2, 3, 4 e 5 la sensazione dell'ascoltatore sarà come se queste si trovassero nelle posizioni 1', 2', 3' 4' e 5' disposte nello spazio compreso tra i due diffusori A e B, cioè nel cosiddetto fronte sonoro A-B.

Questo fronte sonoro è, in generale, più ristretto di quello originario, ma lungo la sua estensione le varie sorgenti sonore risultano pur sempre ben spaziate ed individuabili come direzione di provenienza.

Ecco quanto avviene nella ripresa stereofonica di un complesso musicale e nel corrispondente impianto di ascolto.

I suoni emessi dal clarinetto sono raccolti dal microfono di sinistra (A) e vengono riprodotti prevalentemente dal diffusore di sinistra (A');

l'ascoltatore percepisce i suoni emessi dal clarinetto come provenienti da sinistra.

I suoni emessi dal contrabbasso sono raccolti prevalentemente dal microfono di destra (B) e vengono, di conseguenza, riprodotti in prevalenza, dal diffusore di destra (B); l'ascoltatore percepisce i suoni emessi dal contrabbasso come provenienti da destra.

I suoni emessi dalla tromba sono raccolti in uguale misura da entrambi i microfoni e vengono riprodotti, pertanto, allo stesso modo da entrambi i diffusori; l'ascoltatore percepisce i suoni emessi dalla tromba come provenienti dal centro, tra i due diffusori.

I suoni emessi dal violino e dalla batteria, per ragioni analoghe, sono percepiti dall'ascoltatore come provenienti rispettivamente dal centro-sinistra e dal centro-destra dello spazio compreso tra i due diffusori.

CAPITOLO I

LA RADIODIFFUSIONE IN STEREOFONIA

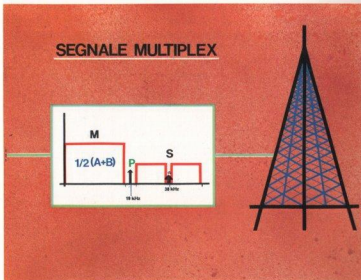
1. La codifica del segnale stereofonico

Nel periodo 1959-1966 in molti paesi sono stati fatti diversi studi di radiodiffusione stereofonica. Negli Stati Uniti, tra sei sistemi esaminati, l'FCC (Federal Communication Commission) ha adottato, nel 1962, il sistema proposto dalla Zenith con l'apporto finanziario della General Electric.

In Europa gli studi coordinati dal gruppo S e, successivamente, dal gruppo K4 della EBU (European Broadcasting Union) sono stati sviluppati da cinque organismi di radiodiffusione e da sette laboratori dell'industria privata.

Il sistema cosiddetto a tono pilota, riconosciuto migliore, è stato largamente adottato in Europa ed è divenuto oggetto di studio in seno al CCIR (International Radio Consultative Committee) come questione 46/10.

In Italia il servizio pubblico radiotelevisivo ha iniziato le trasmis-



Segnale multiplex

sioni sperimentali sin dall'ottobre del 1964 con i quattro impianti di Milano, Napoli, Roma e Torino, irradianti su frequenze della banda $100 \div 104$ MHz ed interessanti un bacino di non meno di dieci milioni di persone.

Caratteristica del sistema è la compatibilità diretta ed inversa: un'emissione stereofonica può essere riprodotta in monofonia da un ricevitore monofonico; un'emissione monofonica può essere riprodotta in monofonia da un ricevitore stereofonico.

Il segnale stereofonico, denominato anche multiplex, è costituito da tre segnali traslati in frequenza, indicati nell'ordine come:

- segnale monofonico M
- tono pilota P
- segnale stereo S

I segnali M ed S rappresentano, rispettivamente, la semisomma e la semidifferenza dei segnali relativi al canale sinistro ed al canale destro; essi sono limitati in banda tra 40 Hz e 15 kHz mediante opportuni filtri.

Il tono pilota è costituito da un'oscillazione a 19 kHz ottenuta mediante un apposito generatore di forma d'onda sinusoidale; dal tono pilota mediante duplicazione della frequenza si ricava un'oscillazione a 38 kHz che, a sua volta, viene impiegata per traslare in frequenza il segnale S affinché questo possa coesistere col segnale mono M e con il tono pilota P. Questo processo di traslazione viene realizzato modulando la portante a 38 kHz in ampiezza con il segnale $S = (A - B)/2$, cioè facendo variare l'ampiezza del tono a 38 kHz in funzione dell'ampiezza del segnale S. Questo processo di modulazione viene completato provvedendo a sopprimere, entro un limite dell'1% la portante stessa (modulazione di ampiezza a portante soppressa).

Con questo processo di modulazione, indicato anche con la sigla DSB-SC, l'informazione relativa alla semidifferenza dei due canali, cioè il segnale S, che originariamente occupa la banda di frequenza compresa tra 40 Hz e 15 kHz, viene traslata su una banda di frequenza compresa tra 23 e 53 kHz: in tal modo è possibile mescolare le due informazioni M ed S senza peraltro che sia perduta la loro identità.

In ricezione, con un processo inverso, è possibile ottenere separatamente nelle loro bande di origine i due segnali M ed S.

2. Trasmissione del segnale stereo

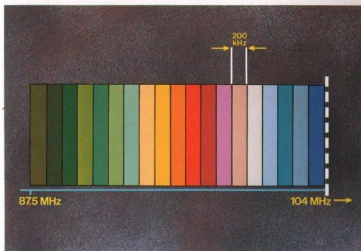
Per trasmettere un'informazione occorre affidare il messaggio contenuto nel segnale ad un'oscillazione sinusoidale, denominata portante, utilizzando le variazioni di uno dei parametri caratteristici dell'oscillazione che, come è noto, sono l'ampiezza, la frequenza e la fase. Questo processo viene denominato modulazione.

Per la trasmissione del segnale stereofonico si utilizza la modulazione di frequenza, cioè si fa variare, rispetto ad un valore centrale, la frequenza dell'oscillazione dell'onda portante in funzione dell'ampiezza istantanea del segnale multiplex $M + P + S$, che rappresenta il segnale modulante.

La massima elongazione della frequenza dell'onda portante, corrispondente alla massima ampiezza del segnale modulante, nel sistema adottato, è di ± 75 kHz.

Per diffondere il segnale si utilizza la banda di frequenza tra 87.5 e 108 MHz (banda 8 VHF).

La larghezza del canale di trasmissione è di 200 kHz, di poco supe-



Canali di diffusione f.m.

riore alla cosiddetta banda di Carson, determinata dalla relazione:

$$B_C = 2 (\Delta f_{\max} + f_m)$$

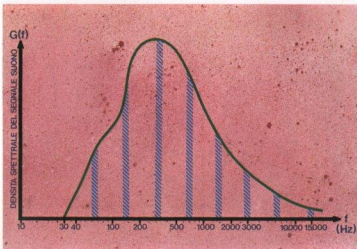
in cui Δf_{\max} è la massima deviazione di frequenza e f_m è la massima frequenza del segnale modulante.

Nel caso della monofonia, cioè con una frequenza massima del segnale modulante di 15 kHz, la banda di Carson assume un valore di 180 kHz.

Nel caso della stereofonia, pur essendo la frequenza massima del segnale modulante maggiore (53 kHz), si ha un valore della banda di Carson poco diverso, perché la deviazione di frequenza impressa dalla componente S è inferiore, essendo inferiore l'ampiezza della componente S.

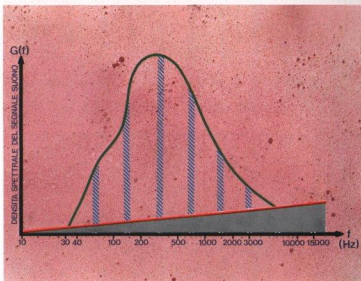
3. L'enfasi

In un sistema di radiodiffusione sonora il materiale del programma è generalmente tale che la maggior parte della potenza delle componenti del segnale modulante, cioè $(A + B)/2$ e $(A - B)/2$, occupa la parte inferiore dello spettro audio al di sotto dei 3 kHz.



Distribuzione della densità spettrale di un segnale sonoro.

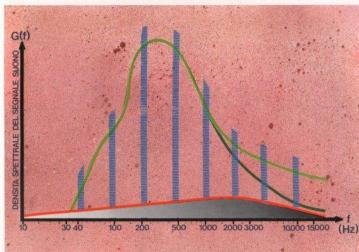
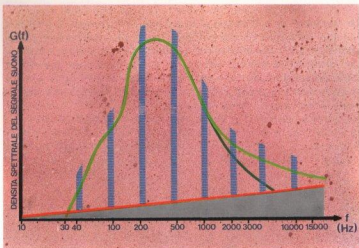
Al di sopra di questa frequenza la potenza modulante diminuisce progressivamente e, di conseguenza, diminuisce l'escursione di frequenza impressa dal segnale all'onda portante. Poiché per una precisa caratteristica, il sistema a modulazione di frequenza dopo la demodulazione ha una distribuzione spettrale del rumore di tipo parabolico in funzione della frequenza, si ha il risultato poco soddisfacente che la potenza audio è minore in quella parte dello spettro nella quale, al contrario, la potenza del rumore risulta maggiore.



Confronto tra densità spettrale del segnale sonoro e densità spettrale del rumore dopo la demodulazione.

Ne consegue che il rapporto segnale/rumore, cioè la qualità, risulta peggiore sulle frequenze più elevate.

Questo, per così dire, «handicap» del sistema può essere, in parte, ridotto ricorrendo alla cosiddetta enfasi, vale a dire, elevando il livello del segnale audio verso le alte frequenze, cioè là dove il rumore presenta un contributo maggiore.



(In alto) Confronto tra densità spettrale del segnale sonoro e densità spettrale del rumore con l'introduzione dell'enfasi.

(In basso) Andamento della densità spettrale del rumore dopo la deenfasi.

È evidente che, per non alterare il segnale, in ricezione sarà necessario correggere l'alterazione imposta al segnale con un'operazione consistente nell'attenuare il livello del segnale demodulato alle alte frequenze con una legge complementare a quella utilizzata in trasmissione. Questo processo è denominato deenfasi.

Sia l'enfasi, sia la deenfasi sono realizzate mediante circuiti a resistenza e capacità, caratterizzati da una costante di tempo che, nel sistema adottato in Italia, è di 50 μ s.

Il segnale M è enfattizzato nella stessa maniera della diffusione monofonica.

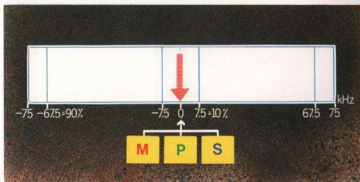
Il segnale S viene enfattizzato nella stessa maniera del segnale M.

In alternativa si possono enfattizzare, separatamente, il segnale A ed il segnale B.

4. Il livello del segnale modulante

In un ricevitore monofonico viene utilizzato soltanto il segnale M di un'emissione stereofonica.

Orbene, affinché il ricevitore monofonico possa disporre di un segnale il più possibile libero da rumore, è necessario che il segnale M che modula la portante sia il più ampio possibile, purché non raggiunga un livello superiore a quello necessario a produrre un'escursione massima della frequenza portante di ± 75 kHz.

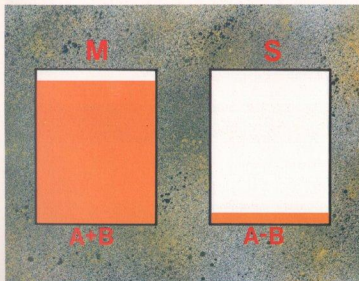


Campi di deviazione dei segnali M, P e S.

Allorquando viene irradiato un segnale stereofonico, poiché oltre al segnale M sono presenti il tono pilota P e la componente stereo S, è necessario che l'ampiezza complessiva del segnale $M + P + S$ non sia superiore al livello cui corrisponde la deviazione massima della frequenza portante di ± 75 kHz.

Per garantire questa condizione potrebbe sembrare che si debba ridurre l'ampiezza massima del segnale monofonico per avere la deviazione massima di frequenza in corrispondenza del massimo del segnale complessivo. Se ciò fosse, sarebbe fortemente penalizzata la ricezione in monofonia di un'emissione stereofonica.

In realtà non è necessario operare questa riduzione perché allorquando il segnale M è massimo, il segnale S risulta minimo e viceversa. Si può, cioè, dire che vi è una sorta di interlacciamento tra i segnali relativi al canale sinistro A ed al canale destro B.



Relazione tra livello del segnale M e livello del segnale S.

In effetti i segnali A e B non differiscono molto tra loro, perché se in fase di ripresa si vuole conseguire, per così dire, un suono «naturale», occorre disporre i microfoni in modo tale da rappresentare le orecchie dell'ascoltatore.



Equivalenza microfoni-orecchie.

In questa condizioni c'è da attendersi che i segnali dei due microfoni (o gruppi di microfoni) siano confrontabili tra loro, nel senso che la massima escursione del segnale del canale sinistro e la massima escursione del segnale del canale destro siano pressoché identiche.

Si può accettare che entrambi i segnali A e B raggiungano il livello massimo «circa» nello stesso istante. Pertanto si può asserire che il massimo livello del segnale mono sia uguale a due volte il livello massimo del canale A o del canale B.

Trascurando il valore del tono pilota, si può, di conseguenza, affermare che il livello del segnale multiplex oscilla tra i valori $2A$ e $2B$, cioè coincide col massimo valore del segnale M.

Posto uguale a 100 il livello complessivo del segnale multiplex, si attribuisce:

- un livello del 90% al segnale $(A + B)/2$;
- un livello compreso tra l'8 e il 10% al tono pilota;
- un livello del 90% al segnale $(A - B)/2$.

5. La diffusione del segnale: canale RF e canalizzazione

La diffusione al pubblico dei programmi in modulazione di frequenza viene effettuata mediante una rete di trasmettitori e di ripetitori circolari. I trasmettitori circolari ricevono i programmi attraverso ponti radio a microonde. I ripetitori circolari ricevono i programmi per via hertziana (ricezione a rimbalzo) dai trasmettitori suddetti.



Rete di diffusione in modulazione di frequenza.

L'insieme dei trasmettitori e dei ripetitori circolari e dei collegamenti in ponte radio che li alimentano costituisce la rete radiofonica a modulazione di frequenza.

Il servizio pubblico dispone di tre reti in modulazione di frequenza che realizzano una copertura del 98% del territorio nazionale.

Le reti radiofoniche dei diversi paesi possono essere interconnesse con le reti del servizio pubblico per l'irradiazione o il transito dei programmi sonori. Tale attività è coordinata per i paesi dell'Europa Occidentale dall'EBU.

Reti analoghe esistono per i paesi dell'Europa dell'Est.

Ogni trasmettitore circolare irradia il segnale su un proprio canale di trasmissione e secondo una data polarizzazione. Un'opportuna assegnazione del canale ed un'appropriata determinazione della potenza d'irradiazione consentono che i segnali irradiati dai diversi impianti non interferiscano nella ricezione presso l'utente.

In seno all'UIT (Internazional Telecommunication Union) ed al CCIR è stato predisposto un piano per l'assegnazione delle bande destinate alla radiodiffusione sonora in modulazione di frequenza sin dal 1961 (Piano di Stoccolma).

Per tali trasmissioni sono state messe a disposizione, in Italia, le frequenze della banda 8 VHF, comprese tra 87,5 e 104 MHz.

L'assegnazione dei canali è fatta in maniera che i valori delle frequenze portanti che definiscono l'allocazione nominale del canale nella banda siano multipli interi di 100 kHz.

La spaziatura tra i diversi canali è di 100 kHz o multipli interi di 100 kHz, allorché non è possibile realizzare la spaziatura a 100 kHz.

Il canale assegnato alla singola emissione ha una larghezza di banda di 200 kHz.

La canalizzazione maggiormente diffusa in Europa è quella a canali contigui di 200 kHz, con una spaziatura, quindi, delle portanti di 200 kHz.

6. Limitazioni sull'impiego delle frequenze per la diffusione in f.m.

Per assicurare un'efficace pianificazione del servizio di radiodiffusione nella banda 87,5 ÷ 104 MHz, è necessario considerare certe limi-

tazioni sull'uso delle frequenze al fine di evitare interferenze con le altre stazioni in modulazione di frequenza operanti in questa banda e al fine di assicurare la compatibilità con la radiodiffusione televisiva delle bande $47 \div 68$ MHz e $174 \div 230$ MHz.

Le interferenze sono dovute, da un verso, a limitazioni di carattere tecnico dei ricevitori f.m. e, dall'altro verso, alla presenza di diverse stazioni operanti sulla stessa area di servizio.

Le interferenze che possono determinarsi sui ricevitori sono imputabili a:

- irradiazione dell'oscillatore locale del ricevitore e della sua seconda armonica;
- combinazione della seconda armonica dell'oscillatore locale con le portanti visione e suono di una stazione televisiva operante nella banda $174 \div 230$ MHz;
- irradiazione delle armoniche della frequenza intermedia, determinate dalla non linearità degli stadi d'uscita a frequenza intermedia;
- armoniche e prodotti d'intermodulazione generati in condizioni di sovraccarico dei ricevitori, allorquando sono presenti in area di servizio stazioni con elevati valori di campo.

Tra le limitazioni elencate sono da considerare prioritarie, e quindi più vincolanti, l'impiego nella stessa area di servizio di frequenze che differiscono di 10.7 ± 0.2 MHz e la presenza in area di servizio di stazioni con elevati livelli di segnale.

Nella pianificazione del servizio di radiodiffusione viene definito campo minimo quel valore del campo che, tenuto conto della caratteristica di qualità media del ricevitore, del guadagno tipico dell'antenna ricevente, dell'attenuazione della linea di collegamento ricevitore-antenna, consente d'ottenere all'ingresso del ricevitore un livello di segnale sufficiente a garantire una qualità accettabile.

In assenza di interferenze provenienti da dispositivi industriali e domestici, un'intensità di campo, misurata a 10 metri sul livello del terreno di almeno 34 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) o di 48 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) può considerarsi sufficiente a garantire un servizio accettabile rispettivamente per la monofonia o la stereofonia, qualora s'impieghi un'antenna esterna con un guadagno apprezzabile, nel caso della ricezione stereofonica. In presenza di interferenze provenienti da dispositivi industriali e domestici, un servi-

zio soddisfacente richiede un campo mediano, a 10 metri dal suolo, di almeno:

48 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)	in aree rurali	} in monofonia
60 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)	in aree urbane	
70 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)	in grandi città	
54 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)	in aree rurali	} in stereofonia
66 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)	in aree urbane	
74 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)	in grandi città	

7. Rapporti di protezione

Per una ricezione stereo soddisfacente, nel caso in cui si è in presenza d'interferenza di tipo troposferico (protezione per il 99% del tempo) o nel caso in cui si è in presenza d'interferenza di tipo continuo, occorrono determinati rapporti di protezione.

Questi rapporti presuppongono l'impiego nel ricevitore di un circuito inserito a valle del demodulatore (filtro passa basso) progettato per ridurre l'interferenza ed il rumore derivante dalle frequenze superiori a 53 kHz.

Nella tabella si riportano alcuni significativi valori dei rapporti di protezione. Come si può notare, allorché la differenza tra la frequenza del segnale disturbante e la frequenza del segnale desiderato è superiore a 300 kHz, si può tollerare addirittura che il livello del segnale interferente sia maggiore del livello del segnale interferito, purché tale differenza non sia superiore a 7 dB.

TABELLA

Distanza della frequenza disturbante dalla frequenza desiderata kHz	Interferenza	
	continua dB	troposferica dB
0	45	37
25	51	43
50	51	43
75	45	37
100	33	25
150	18	14
200	7	7
250	2	2
300	-7	-7
350	-15	-15
400	-20	-20

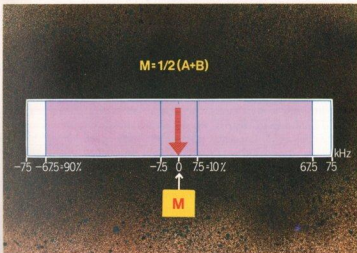
8. Le caratteristiche di trasmissione

Le ampiezze delle varie componenti del segnale multiplex stereo riferite alla massima ampiezza di questo segnale, che corrisponde alla massima deviazione di frequenza sono:

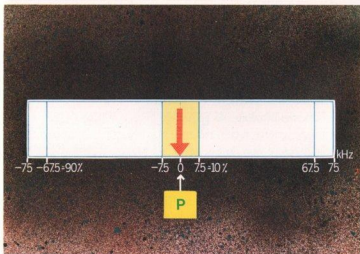
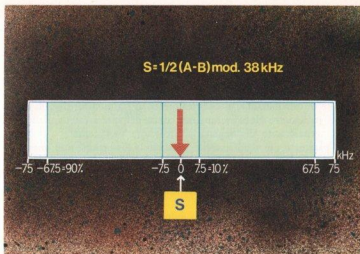
- il segnale M col valore del 90%
- il segnale S col valore del 90%
- il segnale P col valore del 8-10%
- la sottoportante a 38 kHz con un residuo non superiore all'1%

La fase relativa del segnale della pilota e della sottoportante è tale che, quando il trasmettitore è modulato dal segnale multiplex per il quale $A > B$ e $B = -A$, il segnale incrocia l'asse del tempo con una pendenza positiva ogni volta che il segnale pilota ha un valore istantaneo nullo.

La tolleranza della fase del segnale pilota non deve superare $\pm 3^\circ$. Un valore positivo del segnale multiplex corrisponde ad una deviazione positiva della frequenza della portante.



Deviazione di frequenza impressa alla portante dal segnale M.



(In alto) Deviazione impressa dal segnale S.
(In basso) Deviazione impressa dal segnale P.

9. La qualità del segnale stereo

Nel quadro del programma di studi del CCIR, da parte di vari organismi sono state effettuate delle valutazioni per fissare i limiti tollerabili dei parametri che caratterizzano la qualità di un'emissione stereofonica.

È da osservare che mentre i valori riguardanti il segnale emesso tengono conto delle tolleranze relative alla somma dei contributi dovuti alla rete di distribuzione, al codificatore ed al trasmettitore, quelli denominati «tolleranze globali» tengono conto dell'intera catena, dallo studio di generazione dei segnali al ricevitore dell'utente.

I parametri più significativi riguardano la distorsione non lineare, la conseguente diafonia non lineare tra i canali A e B ed il rapporto segnale/disturbo.

10. Requisiti del sistema a tono pilota

I requisiti del sistema stereo a tono pilota sono riportati nel rapporto 300-5 del CCIR.

Questi requisiti riguardano la compatibilità, la qualità, l'economicità del ricevitore, il mantenimento dell'area di servizio della diffusione in monofonia, la protezione dalle interferenze, il mantenimento del piano di assegnazione delle frequenze.

Per quanto riguarda la compatibilità, si considera:

- la risposta in frequenza;
- la diafonia lineare;
- l'intermodulazione di S su M;
- la distorsione totale armonica;
- la diafonia non lineare di S su M;
- il rapporto segnale/rumore pesato;
- l'interferenza da battimento;
- gli effetti dovuti al cammino multiplo;
- la sensibilità al rumore impulsivo.

I requisiti per la ricezione f.m. stereo con un ricevitore tipico, riguardano:

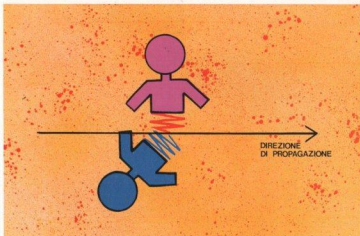
- la risposta in frequenza;
- la diafonia lineare tra A e B;

- l'intermodulazione tra A e B;
- la distorsione totale armonica;
- la diafonia non lineare tra A e B;
- il rapporto segnale/rumore pesato;
- l'interferenza da battimento;
- il rapporto di protezione a radiofrequenza in funzione della separazione tra le portanti;
- gli effetti dovuti al cammino multiplo;
- la sensibilità al rumore impulsivo.

11. La polarizzazione delle emissioni in modulazioni di frequenza

Un'onda elettromagnetica si propaga attraverso un mezzo, per esempio il vuoto, mediante il campo elettrico ed il campo magnetico.

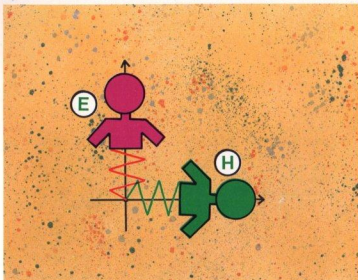
Questi due campi giacciono in piani tra loro perpendicolari e, a loro volta, perpendicolari alla direzione di propagazione.



Posizione del campo elettrico e del campo magnetico rispetto alla direzione di propagazione.

Polarizzazione è il fenomeno per cui le oscillazioni dell'onda e.m. avvengono totalmente o prevalentemente in uno solo dei due piani passanti per la direzione di propagazione.

Se la direzione del campo elettrico E è verticale, si dice che l'onda è polarizzata verticalmente.

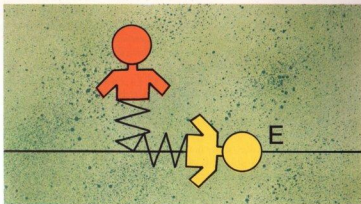


Onda polarizzata verticalmente.

Se la direzione del campo elettrico E è orizzontale, si dice che l'onda è polarizzata orizzontalmente.

A volte il campo elettrico ruota circolarmente descrivendo in senso orario (o antiorario) un'ellisse: in tal modo si dice che l'onda è a polarizzazione ellittica destrorsa (o diretta) ovvero a polarizzazione ellittica sinistrosa (o indiretta).

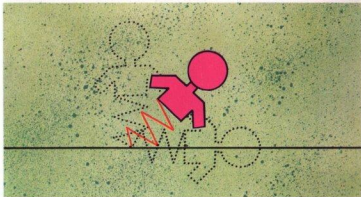
La polarizzazione ellittica può essere considerata come il risultato di componenti che differiscono in fase e/o in ampiezza, polarizzate verticalmente ed orizzontalmente.



Onda polarizzata orizzontalmente.

La polarizzazione circolare può essere considerata come un caso particolare della polarizzazione ellittica: infatti se le componenti verticale ed orizzontale hanno uguale ampiezza e se vengono combinate in quadratura di fase, nasce un'onda a polarizzazione circolare.

Spesso viene adottata la cosiddetta polarizzazione inclinata, caratterizzata dal presentare il campo elettrico E inclinato di 45° sull'asse orizzontale.



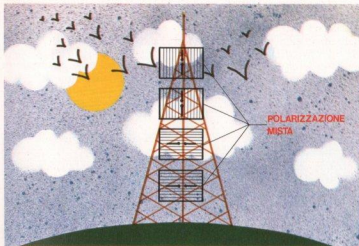
Polarizzazione inclinata.

Questo tipo di polarizzazione può ritenersi derivante dalla combinazione in fase delle due componenti a polarizzazione verticale ed a polarizzazione orizzontale di uguale ampiezza.

È da osservare che con i sistemi direzionali di antenna si ottiene una data forma di polarizzazione soltanto entro il fascio principale del diagramma d'irradiazione.

È ancora da osservare che una buona protezione si può ottenere soltanto con la polarizzazione circolare dal momento che il senso di rotazione di un segnale proveniente dal di dietro di un'antenna è opposto a quello del segnale proveniente dal davanti.

Dopo una serie di sperimentazioni sul campo, si è ritenuto opportuno introdurre negli impianti di diffusione in modulazione di frequenza, inizialmente a polarizzazione orizzontale, la polarizzazione mista (PM).



Sistema irradante in polarizzazione mista.

Il problema dell'introduzione della polarizzazione mista è stato ampiamente esaminato da inglesi ed americani.

Da diverse misure effettuate, è emerso che all'esterno, passando dalla polarizzazione orizzontale alla polarizzazione mista, a parità di potenza globale, il segnale ricevuto in polarizzazione orizzontale (PH)

ed in polarizzazione verticale (PV) dal campo e.m. a polarizzazione mista, a grande altezza dal suolo e con antenne efficienti, è inferiore di 3 dB rispetto al campo irradiato in polarizzazione orizzontale (PH/H).

A parità di potenza, cioè con PM/H uguale a PH/H, non si ha alcuna differenza tra le due polarizzazioni.

Tuttavia in città questa situazione si mantiene soltanto al di sopra dei tetti delle case, mentre avvicinandosi al terreno, sia la PM/H, sia la PM/V aumentano rispetto al caso di trasmissione in polarizzazione orizzontale. Ciò è dovuto alla depolarizzazione che si ha allorché si è in presenza di ostacoli di vario tipo; la depolarizzazione è maggiore per la componente verticale quando si è in presenza del suolo.

Particolarmente, sono stati rilevati incrementi medi dai 3 ai 13 dB con l'utilizzazione di ricevitori portatili all'aperto, relativamente al tipo di terreno (strada, spiaggia, mare).

Si è, inoltre, notato, che la differenza tra la componente verticale di una polarizzazione orizzontale e la componente orizzontale di una polarizzazione orizzontale, cioè tra PH/V e PH/H, forte a grande distanza dal terreno, diminuisce avvicinandosi al suolo per effetto della depolarizzazione che converte, in verticale, parte della potenza emessa in polarizzazione orizzontale.

All'interno delle abitazioni, passando dalla polarizzazione orizzontale alla polarizzazione mista, in modo che la potenza della componente orizzontale del campo a polarizzazione mista sia la metà della potenza della componente orizzontale del campo a polarizzazione orizzontale, cioè $PM/H = 1/2PH/H$, non si nota alcuna differenza orientando l'antenna del ricevitore per il massimo segnale.

In vicinanza del suolo è più vantaggiosa la polarizzazione mista.

Se si aumenta la potenza in polarizzazione mista, in maniera che risulti $PM = PH/H$, si hanno campi più elevati rispetto alla polarizzazione orizzontale, sia per la componente orizzontale, sia per la componente verticale a causa del sensibile fenomeno di depolarizzazione.

Su un mezzo mobile, trasmettendo con una potenza in polarizzazione mista tale che PM/H sia uguale a PH/H , si sono registrati incrementi di campo elettromagnetico da 7 a 13 dB in funzione della maggiore o minore presenza di ostacoli.

L'incremento in città è più modesto a causa del fenomeno di depolarizzazione.

Occorre aggiungere che in polarizzazione mista si nota un segnale più stabile che non in polarizzazione orizzontale.



CAPITOLO II

LA RICEZIONE IN MODULAZIONE DI FREQUENZA

1. IL RICEVITORE IN MODULAZIONE DI FREQUENZA

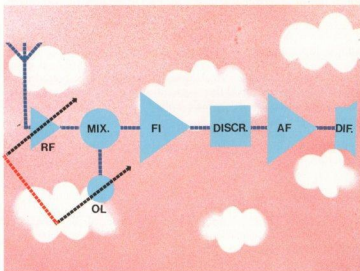
Il ricevitore f.m. è un dispositivo che accetta e demodula segnali a radiofrequenza al fine di rendere disponibile l'informazione contenuta nel segnale.

Poiché le ampiezze dei segnali all'ingresso del ricevitore sono generalmente molto piccole, il ricevitore deve poter amplificare i segnali ricevuti anche alcuni milioni di volte, affinché questi possano essere applicati all'elemento trasduttore (diffusore) a mezzo di un opportuno sistema di pilotaggio.

Tra i diversi tipi di ricevitori, i più diffusi sono quelli cosiddetti eterodina e supereterodina.

Mentre i primi convertono direttamente il segnale ricevuto in una frequenza intermedia, i secondi amplificano selettivamente il segnale ricevuto a radiofrequenza e, successivamente, operano la conversione in frequenza intermedia.

I ricevitori supereterodina sono caratterizzati da una buona sensibilità ed una buona selettività, sia al canale adiacente, sia al canale immagine.



Schema a blocchi del ricevitore f.m.

In un ricevitore supereterodina vi sono tre tipi di amplificatori:

- l'amplificatore a radiofrequenza RF che viene accordato di volta in volta sulla frequenza del canale desiderato;
- l'amplificatore a frequenza intermedia FI, accordato su una frequenza fissa: questo fornisce la parte maggiore dell'amplificazione complessiva e determina la selettività del ricevitore ai canali contigui;
- l'amplificatore ad audiofrequenza AF che posto dopo il cosiddetto discriminatore di frequenza fornisce la potenza ed il livello necessari a pilotare i dispositivi di trasduzione, cioè i diffusori sonori.

Tra l'amplificatore RF e l'amplificatore FI sono inseriti due dispositivi denominati, rispettivamente, convertitore ed oscillatore locale.

Il convertitore di frequenza trasferisce il segnale d'ingresso a radiofrequenza in frequenza intermedia mediante battimento con una frequenza generata dall'oscillatore locale OL.

L'oscillatore locale OL fornisce la frequenza di mescolazione in funzione della frequenza del segnale ricevuto; pertanto questo viene accordato, di volta in volta, parallelamente allo stadio a radiofrequenza RF, al fine di convertire il segnale d'ingresso in frequenza intermedia FI.

Il valore adottato per la frequenza intermedia è 10.7 MHz.

2. LE CARATTERISTICHE DEL RICEVITORE FM.

Il ricevitore radio a modulazione di frequenza deve possedere un certo numero di requisiti al fine di garantire una buona ricezione ed una corretta riproduzione del segnale voluto, nonché l'eliminazione dei segnali non voluti.

Tra le caratteristiche che qualificano un ricevitore f.m. si ritiene opportuno evidenziare quelle che, generalmente, sono riportate dai costruttori.

2.1. Sensibilità

La sensibilità, in relazione alla pianificazione di un servizio di radiodiffusione in modulazione di frequenza, viene intesa come «sensibilità limitata dal rumore».

In breve, si può dire che la sensibilità è la tensione del segnale ai morsetti d'ingresso del ricevitore necessaria a produrre, dopo la demodulazione, una uscita stabilita.

È molto importante definire la condizione sotto cui si effettua la misura della sensibilità.

L'IEC (International Electrotechnical Commission) nel rapporto 315-4 suggerisce per il riferimento un rapporto segnale/rumore audio di 30 dB ed una potenza di uscita di 2×50 mW.

Secondo l'IHF (Institute of High Fidelity) e secondo l'EIA (Electronic Industries Association) la sensibilità è intesa come intensità del segnale richiesta per ridurre il rumore e la distorsione di 30 dB rispetto all'uscita audio. In tal caso la sensibilità è intesa come «sensibilità al silenziamento».

Nelle misure EIA e IHF l'intensità del segnale viene misurata in μV su un'impedenza di 300 ohm oppure in dBf, cioè decibel riferiti ad 1 femtowatt.

È opportuno sottolineare che si può passare dall'indicazione in μV a quella in dBf mediante le seguente formula di conversione:

$$\text{dBf} = 20 \log (\mu\text{V}/0.55)$$

assumendo l'impedenza d'ingresso dell'antenna uguale a 300 ohm.

Può ritenersi un valore tipico quello di -75 dB riferiti ad 1 mW, relativamente ad un rapporto segnale/rumore di 30 dB e ad una potenza di 50 mW. Questo valore è corrispondente a 45 dBf.

Alcuni costruttori adottano la notazione «sensibilità utilizzabile» per il funzionamento stereo del ricevitore.

Questa notazione trova la sua giustificazione nel fatto che la maggior parte dei ricevitori f.m. stereo ha un dispositivo automatico di commutazione mono-stereo che interviene quando l'intensità del segnale supera un livello stabilito, cui corrisponde un rapporto segnale/rumore di 30 dB.

Questo livello, fissato in fabbrica dal costruttore, determina la cosiddetta sensibilità utilizzabile.

Esempio:

Sensibilità mono = $1.6 \mu\text{V}$ ovvero 9.2 dBf.

sensibilità stereo = $5.0 \mu\text{V}$ ovvero 19.2 dBf.

2.2. Selettività

La selettività viene definita nel rapporto 315-3 dell'IEC come la banda passante B_s a radiofrequenza o alla frequenza intermedia, limitata

da due frequenze in corrispondenza delle quali l'attenuazione è superiore di X dB rispetto alla frequenza più favorevole.

Il CCIR suggerisce per X un valore di 6 dB.

La cosiddetta pendenza di attenuazione su ciascun fianco della banda passante è il rapporto della differenza tra le attenuazioni corrispondenti a due diverse frequenze oltre la banda passante e le differenze tra le frequenze stesse.

La pendenza viene espressa in dB/Hz o dB/kHz.

Qualitativamente si può definire la selettività di un ricevitore come la capacità dello stesso a rigettare un segnale non voluto presente sui canali vicini.

Si fa spesso riferimento alla selettività al canale adiacente ed al cosiddetto secondo canale, nonché al cosiddetto canale immagine.

È da sottolineare che mentre la selettività al canale immagine viene garantita dal filtro passa-banda posto all'ingresso del ricevitore, la selettività al canale adiacente ed al secondo canale viene garantita dallo stadio a frequenza intermedia del ricevitore.

2.3 Rapporto segnale/rumore

Il rumore termico, che non contiene informazione, è sempre presente, anche se in diversa entità, nel segnale elettrico in cui è contenuta l'informazione; la presenza del rumore condiziona la qualità del segnale.

Il degrado di qualità si ha allorquando il livello del rumore, pur inferiore al livello del segnale, è confrontabile con questo. Si definisce segnale/rumore il rapporto tra la potenza del segnale e la potenza del rumore misurato nella banda del segnale.

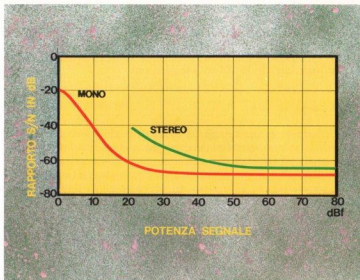
Il rapporto, indicato con S/N, viene generalmente espresso in dB, come differenza tra la potenza del segnale e la potenza del rumore, entrambe espresse in dB riferiti alla potenza di 1 mW, cioè:

$$S/N \text{ (dB)} = S \text{ (dBm)} - N \text{ (dBm)}$$

Tra le specifiche date dai costruttori v'è il cosiddetto silenziamento a 50 dB, cioè l'intensità del segnale richiesto perché si abbia un rapporto S/N di 50 dB in corrispondenza di una modulazione al 100% con un segnale modulante costituito da un tono alla frequenza di 1 kHz.

Se, in una rappresentazione cartesiana, si riporta in ascisse la potenza del segnale all'ingresso del ricevitore espressa in dBf ed in ordi-

nate il rapporto S/N espresso in dB, si nota che, all'aumentare della potenza del segnale d'ingresso, la differenza tra i valori del rapporto S/N al mono ed allo stereo converge verso un valore di $2 \div 5$ dB.



Andamento del rapporto S/N per un segnale mono e per un segnale stereo.

Dall'esame delle curve, si può notare che, per un silenziamento di 50 dB, occorre per la ricezione stereo una potenza di segnale superiore di 20 dB rispetto a quella richiesta per la ricezione mono perché, con l'enfasi di 50 μ s, il rapporto S/N sul canale stereo è peggiore di circa 20 dB rispetto al rapporto S/N sul canale mono.

Generalmente i costruttori indicano il rapporto segnale/rumore in mono perché, con l'intensità dei segnali disponibili ai morsetti d'antenna, si realizzano condizioni di funzionamento del ricevitore senz'altro superiori ai 50 dB in stereo.

Infatti, con riferimento ai valori di campo previsti dal CCIR per un

servizio f.m. stereo, si hanno ai morsetti d'ingresso del ricevitore e su un'impedenza di 300 ohm le seguenti potenze di segnale:

area rurale:	campo di 54 dB μ	potenza: 58.8 dBf
area urbana:	campo di 66 dB μ	potenza: 70.8 dBf
grande città:	campo di 74 dB μ	potenza: 78.8 dBf

Prendendo il valore più basso, cioè quello relativo all'area rurale, e riportando tale valore sulla curva di silenziamento stereo, si può notare che, in corrispondenza di detto valore, si ha un rapporto S/N di 65 dB, e cioè superiore di 15 dB al silenziamento.

2.4. Rapporto di cattura

Uno dei maggiori vantaggi del sistema a modulazione di frequenza rispetto al sistema a modulazione di ampiezza consiste nel migliore rapporto segnale/rumore che si può conseguire in ricezione.

Se si riporta in una rappresentazione cartesiana, in ascisse il rapporto segnale/rumore all'ingresso del ricevitore ed in ordinate il rapporto segnale/rumore all'uscita dello stesso (entrambi riferiti alla banda base del rumore ed espressi in decibel) per un assegnato valore dell'indice di modulazione, si ottiene una curva che presenta un ginocchio per un dato valore del rapporto (S/N)_i.

Quest'andamento mostra che il sistema in modulazione di frequenza presenta una cosiddetta soglia in corrispondenza della quale il rapporto (S/N)_o decade molto più nettamente rispetto al rapporto (S/N)_i.

Allorquando il sistema opera in vicinanza della soglia, si ha che piccole variazioni del rapporto segnale/rumore d'ingresso determinano grandi variazioni del rapporto segnale/rumore di uscita: in un certo istante c'è il segnale voluto, un istante dopo il segnale può essere estinto dal rumore.

Un fenomeno simile si ha allorquando si è in presenza di un'interferenza co-canale tra segnali che hanno circa la stessa ampiezza all'ingresso del ricevitore, cioè quando si è in presenza di un segnale voluto ed un segnale non voluto.

In questo caso, piccole variazioni dell'ampiezza relativa fanno sì che il segnale più forte «catturi» l'altro e lo elimini dall'uscita del ricevitore.

Il rapporto di cattura dà una misura della capacità del ricevitore a respingere segnali che cadono vicino alla frequenza voluta: ci dice, cioè,

quanto efficacemente esso riesca a catturare un segnale. Questa capacità viene influenzata dal progetto del demodulatore, dall'azione limitatrice degli stadi a frequenza intermedia, e dall'azione dei vari controlli automatici di guadagno e dei controlli automatici di frequenza.

La misura del rapporto di cattura consiste nel rapporto tra segnali voluti e non voluti necessario per sopprimere di 30 dB il segnale non voluto, quando i due segnali hanno la stessa frequenza, ma uno solo è modulato al 100%

Un valore tipico, generalmente presentato dai costruttori, è 1.5 dB.

2.5. Risposta in frequenza

La risposta in frequenza di un ricevitore f.m. rappresenta la variazione espressa in decibel dell'ampiezza del segnale d'uscita rispetto all'andamento cosiddetto piatto, entro un assegnato campo di frequenze.

L'IEC nel rapporto 315-2 fissa le frequenze cui effettuare la misura della risposta in frequenza.

La serie di frequenze è:

0.4 - 1.0 - 2.0 - 3.15 - 4.0 - 5.0 - 6.3 - 7.1 - 8.0 - 9.0 - 10.0 - 12.5 (kHz)

Nel curare la risposta in frequenza il progettista si trova di fronte a due fattori per così dire conflittuali: garantire l'attenuazione opportuna alla frequenza di 19 kHz e realizzare una risposta coerente con la curva di deenfasi del ricevitore.

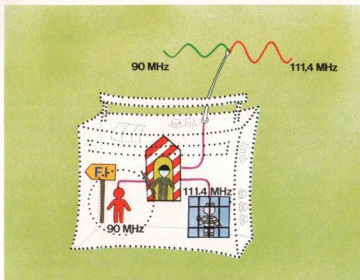
La risposta ideale in frequenza di un ricevitore f.m. stereo dovrebbe presentare un minimo alla frequenza del tono pilota per poter sopprimere ogni segnale a tale frequenza che darebbe effetti indesiderati se il programma ricevuto fosse registrato su cassetta munita di circuito Dolby.

Infatti un tono a 19 kHz eventualmente presente in uscita sarebbe accettato come facente parte del programma e, come tale, sarebbe sottoposto al processo Dolby con possibilità di danno ai diffusori adibiti alla riproduzione degli «alti».

Inoltre la presenza di un tono a 19 kHz potrebbe determinare un fastidioso battimento udibile, allorquando s'effettua la registrazione su nastro magnetico.

2.6. Reiezione della frequenza immagine

Questa caratteristica dà la misura della capacità del ricevitore di restare immune dai segnali con frequenza diversa da quella ricevuta. In particolare dà la misura della capacità del ricevitore ad attenuare i segnali la cui frequenza differisce da quella del segnale voluto di un valore pari al doppio della frequenza intermedia.



Reiezione della frequenza immagine.

Poiché per i ricevitori f.m la frequenza intermedia ha il valore di 10.7 MHz, la frequenza immagine è quella che differisce di 21.4 MHz dalla frequenza del segnale voluto.

2.7. Reiezione della frequenza intermedia

La reiezione della frequenza intermedia sta a rappresentare la capacità del ricevitore a rigettare segnali esterni la cui frequenza coincide col valore della frequenza intermedia.

2.8. Distorsione totale armonica ed intermodulazione

Per distorsione s'intende, qualitativamente, ogni non voluta deformazione nella forma d'onda del segnale trasmesso.

Si possono avere distorsioni lineari e distorsioni non lineari.

La distorsione armonica è una distorsione non lineare.

Questa viene valutata in base all'entità della deformazioni subita da un segnale sinusoidale, tenendo conto che il segnale deformato può essere scomposto nella somma di tante oscillazioni sinusoidali, di cui la fondamentale ha la frequenza del segnale di entrata, mentre le altre, cosiddette armoniche, hanno frequenza multipla della frequenza fondamentale.

La distorsione totale armonica, spesso indicata dai costruttori con la sigla THD (total harmonic distortion), viene valutata rapportando i valori efficaci delle diverse armoniche al valore della fondamentale.

La distorsione totale armonica viene espressa percentualmente e viene indicata sia per il mono, sia per lo stereo prendendo come riferimento la frequenza di 1 kHz.

Spesso i costruttori indicano la sensibilità di un ricevitore in corrispondenza della quale la distorsione totale armonica presenta un valore non superiore allo 0,3% (corrispondente a - 50 dB).

Allorquando si applicano ad un ricevitore due segnali sinusoidali, la distorsione si presenta sotto forma di componenti a frequenze che sono somma e differenza dei multipli delle frequenze dei segnali d'ingresso.

In tal caso si parla di distorsione da intermodulazione. Si può ritenere che questa sia per l'orecchio più fastidiosa della distorsione totale armonica.

La distorsione da intermodulazione viene espressa in valori percentuali ovvero in decibel.

2.9. Separazione tra i canali

Questa caratteristica sta ad indicare l'ammontare di segnale stereo di un canale che viene a sovrapporsi sull'altro canale.

La separazione viene espressa come rapporto, espresso in decibel, tra il segnale non voluto presente su un canale ed il segnale voluto del canale.

Valori tipici della separazione tra i canali sono dell'ordine dei 30-40 dB alla frequenza di 1 kHz.

2.10. Soppressione della modulazione d'ampiezza

Questa caratteristica indica la proprietà del ricevitore f.m. a rigettare segnali modulati in ampiezza presenti ai morsetti d'ingresso.



Soppressione della modulazione d'ampiezza.

Il grado di soppressione della modulazione d'ampiezza può essere definito come rapporto, espresso in decibel, tra il livello del segnale in uscita dovuto alla modulazione d'ampiezza ed il livello del segnale in uscita dovuto alla modulazione di frequenza.

Un valore tipico di questa caratteristica è rappresentato da un rapporto di $-50/-60$ dB.

2.11. Evoluzione del ricevitore

La progettazione dei ricevitori f.m. ha subito, in quest'ultimi anni, dei notevoli cambiamenti con l'introduzione sul mercato dell'elettronica

civile di dispositivi integrati, analogici e numerici, e di diodi al silicio a capacità variabile (varicap) con un alto rapporto C_{\min}/C_{\max} , a basso costo.

La parte del ricevitore maggiormente interessata dall'innovazione tecnologica è il cosiddetto front-end, cioè l'amplificatore a radiofrequenza e l'oscillatore per la conversione a frequenza intermedia dei canali selezionati.

Notevole evoluzione ha subito anche l'amplificatore IF con l'impiego di circuiti integrati atti a trattare segnali a 10.7 MHz e di filtri ceramici che hanno semplificato il problema dei circuiti accordati a frequenza intermedia, in termini di prestazioni e costi.

Il risultato più immediato è rappresentato dall'introduzione sul mercato di sintonizzatori cosiddetti a sintesi di frequenza, in cui è possibile impostare da tastiera il valore della frequenza della stazione che si desidera ricevere.

Il sintonizzatore a sintesi di frequenza funziona sul principio dei cosiddetti circuiti a fase chiusa (PLL = phase locked loop), concetto già noto nel 1930, anche se impiegato molto limitatamente.

Il principio di funzionamento si basa su un confronto tra la frequenza del segnale entrante e la frequenza generata da un oscillatore a tensione controllata.

Dal confronto nasce una tensione proporzionale alla differenza di fase dei due segnali. Il segnale di errore viene amplificato, filtrato ed applicato all'oscillatore controllato in tensione. Allorquando il segnale d'errore è minimo, si ha l'uguaglianza tra la frequenza dell'oscillatore locale controllato e la frequenza del segnale presente all'ingresso del ricevitore.

Il sistema PLL consente la sintonia con molta precisione e stabilità.

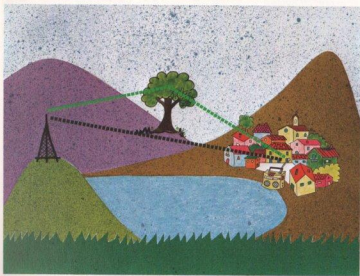
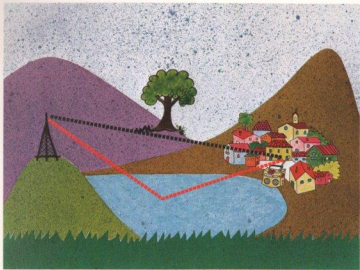
3. I DISTURBI SULLA RICEZIONE

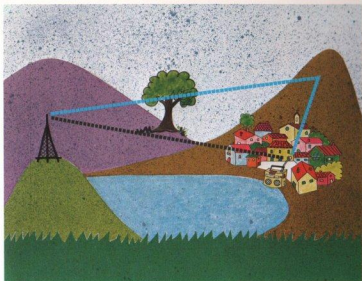
La propagazione dal trasmettitore al ricevitore, oltre che col raggio diretto o diffratto, avviene anche col raggio riflesso.

La riflessione si ha allorquando il fronte d'onda viene intercettato da un ostacolo di ampia superficie, ampia rispetto alla lunghezza d'onda del segnale.

La riflessione può essere di tre tipi:

- riflessione radente, da parte del terreno posto di fronte al punto ricevente;
- riflessione laterale rispetto al tragitto, causata da alberi, colline, montagne o strutture;





Esempi di riflessione.

- riflessione da parte di superfici verticali (come edifici, alberi o montagne) poste dietro al punto di ricezione.

L'interferenza derivante dal sommarsi, in ricezione, del segnale diretto e dei segnali riflessi è denominata «interferenza per cammino multiplo».

Poiché l'onda riflessa percorre un tragitto maggiore di quello percorso dall'onda diretta, a parità di velocità di propagazione, l'onda riflessa arriva con un certo ritardo al ricevitore rispetto all'onda diretta.

Per effetto di questa interferenza, in ricezione, la portante, oltre all'originaria modulazione di frequenza, subisce una modulazione di ampiezza ed una modulazione di fase le cui entità sono tanto maggiori, quanto maggiori sono il ritardo e l'ampiezza del segnale ritardato.

È da osservare che, mentre la modulazione d'ampiezza può essere soppressa dagli stadi di limitazione del ricevitore e dal tipo di demodulatore di frequenza impiegato, la modulazione di fase viene, invece, rivelata, dando luogo ad una distorsione di tipo non lineare.

La propagazione per cammino multiplo può aversi in presenza di uno specchio d'acqua o del suolo, con punti trasmittente e ricevente posti in quota; in tal caso, pur essendo i punti trasmittente e ricevente bene in vista, si può avere un segnale ricevuto distorto.

I punti ricevuti soggetti a questi fenomeni presentano, generalmente, una distribuzione stratificata dell'intensità del campo elettrico.

L'interferenza per cammino multiplo è tanto più disturbante, quanto maggiore è il ritardo del segnale riflesso; inoltre, il segnale stereo è più esposto a questo tipo d'interferenza rispetto al segnale mono.

Nella tabella sono riportati i rapporti di protezione richiesti per la ricezione mono e stereo, in funzione dei ritardi del segnale riflesso rispetto al segnale diretto.

TABELLA

Tempo di ritardo (μ s)	Rapporto segnale riflesso/segnale diretto (dB)	
	Stereo	Mono
1	-5	-5
3	-16	-7
10	-18	-9
30	-21	-13
100	-20	-13

Indagini abbastanza estese hanno posto in evidenza che:

- per una buona ricezione stereo, anche in prossimità dell'impianto trasmittente, è conveniente l'impiego di un'antenna esterna;

- in una grande area urbana, per evitare le distorsioni dovute alla propagazione per cammino multiplo, è conveniente l'uso di un'antenna direttiva;

- un'efficace limitazione di ampiezza nel ricevitore riduce notevolmente la distorsione non lineare (anche a valori inferiori al 3%).

4. INTERFERENZA DA PARTE DI ALTRE STAZIONI F.M.

Come si è detto in precedenza, uno dei maggiori vantaggi del sistema a modulazione di frequenza consiste nel miglioramento del rapporto segnale/disturbo nei confronti del sistema in modulazione di ampiezza.

Questo comportamento può spiegarsi, qualitativamente, considerando che le tensioni di disturbo che si vengono a sovrapporre in ricezione al segnale modulato in frequenza producono sia un'alterazione dell'ampiezza del segnale ricevuto, sia un'alterazione della deviazione di frequenza del segnale stesso: cioè si sovrappone al segnale ricevuto una modulazione di frequenza disturbante.

Il primo effetto, cioè la modulazione di ampiezza prodotta dal segnale disturbante, può essere eliminato impiegando un ricevitore che sia insensibile alle variazioni di ampiezza: i limitatori presenti negli stadi a frequenza intermedia dei ricevitori ed i tipi di demodulatori utilizzati consentono ciò.

L'alterazione della deviazione di frequenza rimane e può soltanto essere ridotta adottando in trasmissione una deviazione di frequenza tale da rendere trascurabile, o per lo meno minore, la deviazione di frequenza imposta dal disturbo alla portante del segnale desiderato.

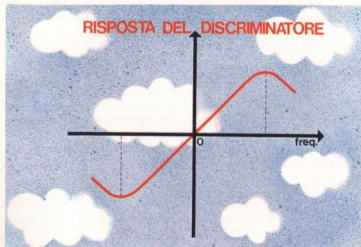
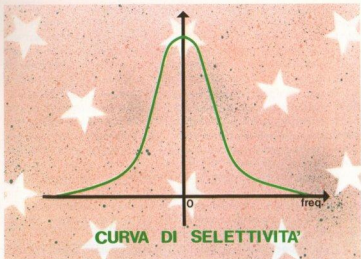
La modalità della soppressione del disturbo e l'entità del miglioramento introdotto dipendono dal rapporto segnale/disturbo, dall'indice di modulazione e dal tipo di disturbo (statistico o impulsivo).

Per un buon funzionamento e per la massima riduzione del disturbo, è opportuno che la curva di selettività della sezione di testa del ricevitore sia simmetrica; inoltre è anche opportuno che il demodulatore sia accuratamente centrato nel mezzo della curva di risposta.

Se due stazioni a modulazione di frequenza sulla stessa portante sono presenti all'ingresso di un ricevitore a modulazione di frequenza, il segnale più intenso tende a sopprimere il segnale più debole.

La soppressione è pressoché totale se l'ampiezza del segnale più intenso è almeno il doppio di quella del segnale più debole; tale soppressione è ancora notevole per rapporti tra le ampiezze dei segnali vicini all'unità.

Come si è già detto, il rapporto di cattura dà un'indicazione abbastanza significativa della capacità del ricevitore a sopprimere il segnale non voluto.



(In alto) Andamento della curva di selettività.
(In basso) Curva di risposta del discriminatore.

L'interferenza si manifesta, in principio, con un fenomeno di diafonia, cioè la modulazione del segnale più debole si presenta anche in assenza di modulazione del segnale voluto, che si suppone più forte.

Questa interferenza è piuttosto piccola, purché il segnale voluto abbia un'ampiezza leggermente maggiore.

L'interferenza si può manifestare anche con una nota di battimento tra i due segnali; questa nota varia di frequenza a seconda della differenza tra le deviazioni di frequenza istantanee dei due segnali; per grandi deviazioni di frequenza, la nota è ultrasonica per una parte del tempo.

L'interferenza di questo tipo si manifesta con un suono di friggio ed è massima quando i due segnali hanno la stessa ampiezza.

5. L'ANTENNA RICEVENTE

Come è noto, l'energia elettromagnetica viene captata per mezzo delle antenne che assumono forma e dimensioni diverse in funzione dell'impiego specifico.

Le antenne usate per le frequenze molto basse sono di notevole lunghezza o altezza; le antenne usate per frequenze molto alte sono di dimensioni alquanto ridotte.

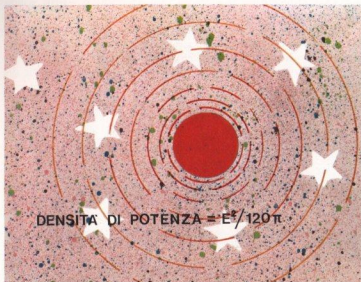
Anche se la trasmissione e la ricezione sono processi inversi, per cui un'antenna trasmittente può funzionare come antenna ricevente, tuttavia le antenne riceventi differiscono da quelle trasmittenti perché, al contrario di queste, sono impiegate con livelli di potenza molto bassi.

Perché si abbia la captazione è necessario che l'antenna sia sede di cariche elettriche e che queste subiscano un'accelerazione che non sia controbilanciata dall'accelerazione di altre cariche molto vicine alle prime.

Normalmente le cariche accelerate sono costituite dagli elettroni di conduzione presenti nelle parti metalliche delle antenne; tuttavia anche le cariche di polarizzazione di un dielettrico, qualora siano sottoposte ad accelerazione, producono lo stesso effetto, cioè danno luogo alla trasmissione o alla ricezione; in questo caso si parla di antenne dielettriche.

Nel caso della ricezione, l'antenna capta energia perché le cariche elettriche dell'antenna sono sollecitate dal campo elettrico variabile dell'onda elettromagnetica che si propaga nello spazio e danno luogo a correnti che circolano nel ricevitore cui è collegata l'antenna per mezzo di un'opportuna linea di trasmissione.

Un'antenna che irradia ugualmente in tutte le direzioni la potenza con cui viene alimentata, è detta «radiatore isotropico».



Radiatore isotropico.

Un radiatore isotropico emette onde elettromagnetiche secondo superfici sferiche concentriche che si allontanano, nel vuoto, con la velocità della luce.

La potenza viene ad essere distribuita uniformemente sulla superficie sferica.

La densità di potenza in un punto Q dello spazio è data dal rapporto tra la potenza P che alimenta il radiatore isotropico e la superficie della sfera di raggio d , uguale alla distanza del punto Q dal radiatore isotropico:

Cioè: densità di potenza = $P/4\pi d^2$.

Questa grandezza viene misurata in W/m^2 .

Allontanandosi dal radiatore isotropico, le sfere diventano sempre più grandi, dal momento che il loro raggio coincide con la distanza dal radiatore isotropico.

All'aumentare della distanza d , aumenta la superficie delle sfere ($4\pi d^2$) e, di conseguenza, diminuisce la densità di potenza.

Se diminuisce la densità di potenza, diminuisce anche l'intensità del campo elettrico E , perché vale la relazione:

$$\text{densità di potenza} = E^2/120\pi$$

dove E , cioè l'intensità del campo elettrico, viene misurata in V/m .

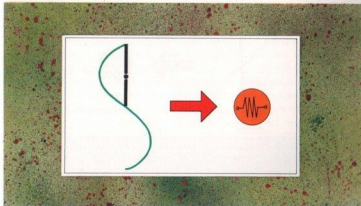
L'irradiazione ottimale si ha allorché il dipolo ha una lunghezza uguale a multipli interi di mezza lunghezza d'onda del segnale emesso, cioè quando:

$$l = n\lambda/2$$

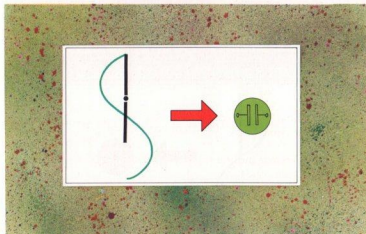
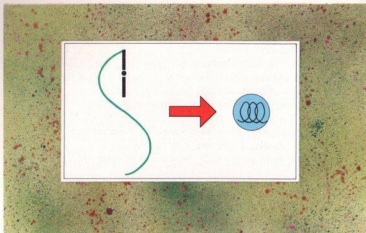
Un'antenna con tali caratteristiche viene denominata «antenna risonante».

È da notare che più l'antenna è lunga, più aumenta il numero dei lobi, e più essa è direttiva.

Un'antenna risonante presenta un'impedenza di tipo ohmico perché la reattanza induttiva e la reattanza capacitativa si compensano annullandosi.



Dipolo in $\lambda/2$.



(In alto) Dipolo inferiore a $\lambda/2$.
(In basso) Dipolo superiore a $\lambda/2$.

Da questo punto di vista, se un'antenna presenta una lunghezza inferiore a mezza lunghezza d'onda, prevale la reattanza capacitativa: si può rimediare associando all'antenna un'induttanza. Se l'antenna presenta una lunghezza superiore a mezza lunghezza d'onda, prevale la reattanza induttiva: si può rimediare associando all'antenna una capacità in serie, al fine di rendere l'antenna risonante.

Poiché il dipolo può essere considerato derivato da una linea di trasmissione aperta ad un'estremità, esso è sede di onde stazionarie di tensione e di corrente.

L'onda di corrente presenta dei massimi e dei minimi: un massimo al centro del dipolo, i minimi agli estremi.

L'onda di tensione presenta un minimo al centro ed i massimi agli estremi.

5. DIAGRAMMA D'IRRADIAZIONE

Il comportamento del dipolo in funzione della direzione costituisce il cosiddetto solido di irradiazione (o di captazione). Questo solido può essere tracciato sperimentalmente misurando l'intensità del campo elettrico in diversi punti appartenenti tutti ad una superficie sferica il cui raggio sia molto maggiore della lunghezza d'onda del segnale irradiato (o captato).

La sezione di questo solido con piani orizzontale e verticale fornisce i diagrammi d'irradiazione.

Se si analizza il comportamento del dipolo in mezz'onda, si nota che, a differenza del radiatore isotropico, il solido è caratterizzato da un «massimo» per tutte le direzioni normali all'asse del dipolo ed un «nullo» nella direzione coincidente con l'asse del dipolo.

Se supponiamo che le potenze fornite al radiatore isotropico ed al dipolo in mezz'onda siano uguali, è evidente che il dipolo, irradiando preferenzialmente in alcune direzioni, fornisce in queste un campo elettrico di maggiore valore rispetto a quello fornito dal radiatore isotropico.

5.2. Guadagno del dipolo

Questa caratteristica viene espressa quantitativamente come il rapporto tra la potenza che deve alimentare il radiatore isotropico e la

potenza che alimenta il dipolo in mezz'onda affinché nella direzione di massima irradiazione si possa ottenere il medesimo valore di campo elettrico.

Il dipolo in mezz'onda presenta un guadagno di 1.64 rispetto al radiatore isotropico.

5.3. Altezza effettiva del dipolo

L'altezza effettiva è una caratteristica propria del dipolo, cioè non dipende dal supporto che porta il dipolo.

Per un dipolo in mezz'onda, con impedenza caratteristica di 75 ohm, l'altezza effettiva è data da:

$$h_e = \lambda/\pi$$

L'altezza effettiva consente di determinare la tensione disponibile ai morsetti del dipolo, una volta noto il valore del campo elettrico E. Infatti tra tensione ai morsetti V, campo elettrico E ed altezza effettiva h_e , in condizioni di adattamento, sussiste la relazione:

$$V = E h_e/2$$

Se il campo E viene espresso in microvolt al metro, la tensione V ottenuta sarà espressa in microvolt.

5.4. Area di captazione

Se s'immerge il dipolo nello spazio in cui c'è potenza elettromagnetica, il dipolo sottrae potenza allo spazio in quantità proporzionale ad un fattore che viene definito «area di captazione».

L'area di captazione del dipolo in mezz'onda è data da:

$$\text{area di captazione} = \lambda^2/4\pi$$

Si può notare che l'area di captazione è maggiore alle frequenze basse.

5.5. Apertura angolare

S'intende per apertura angolare (ovvero larghezza del fascio) l'angolo compreso tra le direzioni secondo le quali la potenza irradiata (o ricevuta) si riduce alla metà della potenza massima.

Si suole definire l'apertura come «angolo a 3 dB».

Il dipolo in mezz'onda presenta un'apertura di 78 gradi.

5.6. Coefficiente di efficienza

Il coefficiente di efficienza sta ad indicare quanto l'antenna sia efficiente ad irradiare o a ricevere. Tale coefficiente è indicato dal rapporto:

$$R/(R + r)$$

Generalmente l'efficienza di un'antenna è dell'ordine del 75 ÷ 95%

La grandezza R sta ad indicare la resistenza d'irradiazione, cioè il rapporto tra la potenza emessa (o ricevuta) ed il valore della corrente massima al quadrato.

La grandezza r , che sta ad indicare la resistenza ohmica dell'antenna, ingloba sia la resistenza dell'antenna, sia le perdite causate da oggetti metallici posti nelle vicinanze dell'antenna.

6. L'ANTENNA PER LA RICEZIONE IN AUTO

-Il requisito che un'antenna possa operare su un mezzo mobile restringe fortemente la scelta del tipo di antenna.

Per quanto riguarda la polarizzazione, se si desidera un diagramma d'irradiazione omnidirezionale sul piano orizzontale, al fine di rendere la ricezione indipendente dall'orientamento del veicolo, è necessario il ricorso alla polarizzazione verticale.

Nella sua forma più semplice, il radiatore verticale è costituito da un elemento lineare (stilo) lungo un quarto d'onda, posto al di sopra di una superficie piana.

Un tale elemento, in presenza di superficie piana perfettamente conduttrice, produce un diagramma d'irradiazione che nella parte superiore è identico a quello fornito da un dipolo in mezz'onda posto in spazio libero.

Poiché lo stilo irradia soltanto la metà della potenza del dipolo in mezz'onda, consegue che la resistenza d'irradiazione è la metà di quella del dipolo, cioè 37 ohm.

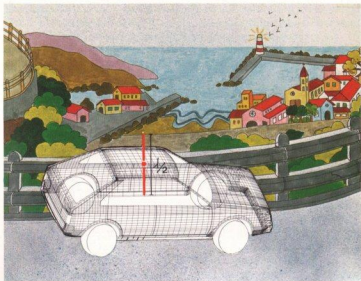
Tale resistenza si mantiene di valore costante, se la lunghezza dello stilo è uguale ad un multiplo dispari di quarti di lunghezza d'onda.

L'installazione dell'antenna sul veicolo può essere realizzata in diversi modi; generalmente il tipo di antenna adottato impone una data installazione.

Un tipo di collocazione è sul tetto del veicolo, cioè su una superficie più o meno piana, assimilabile alla condizione di «superficie piana perfettamente conduttrice».

La presenza di questa superficie consiglia l'adozione di un'antenna lunga un quarto d'onda. Questa dimensione, nella banda compresa tra 87.5 e 108 MHz, corrisponde ad una dimensione fisica di 80 cm.

Un'antenna di tale lunghezza, montata in questa maniera, presenta un comportamento abbastanza vicino a quello del dipolo in mezz'onda posto in spazio libero.



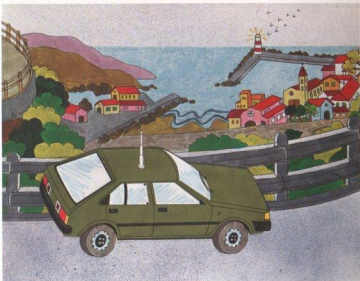
Comportamento ideale di un dipolo in $\lambda/2$ posto sul tetto della vettura.

Mediante un allungamento dell'elemento radiante è possibile ottenere un incremento del guadagno.

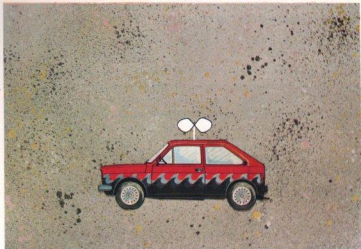
Allungando l'antenna a $\lambda/2$ si ottiene un sistema equivalente al dipolo di lunghezza λ in spazio libero, con un guadagno di 1,67 dB rispetto al dipolo in mezz'onda.

Spesso lo stilo viene montato sul tegolo anteriore o posteriore del veicolo: la collocazione dissimmetrica del veicolo rispetto all'antenna, nonché la mancanza di un'adeguata superficie piana conduttrice, fanno sì che la prestazione vari con la particolare installazione.

Anche se il guadagno medio è spesso vicino a quello del dipolo in mezz'onda in spazio libero, tuttavia l'influenza del veicolo sul diagramma d'irradiazione (orizzontale e verticale) non si può facilmente prevedere; si può meglio determinare attraverso le misure.



Posizionamento del dipolo sul tetto.



(In alto) Diagramma d'irradiazione equivalente al dipolo $\lambda/2$.
(In basso) Diagramma d'irradiazione equivalente al dipolo λ .

CAPITOLO III

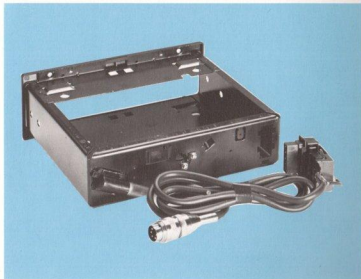
L'INSTALLAZIONE DELL'AUTORADIO

3.1. CRITERI

L'installazione dell'autoradio richiede:

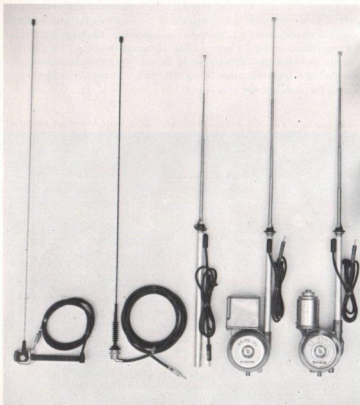
- 1) L'individuazione del vano ricevitore.
- 2) L'individuazione del punto in cui posizionare l'antenna.
- 3) L'individuazione dei punti in cui collocare i diffusori.
- 4) Il controllo della schermatura radioelettrica.

Come si sa, oggi la quasi totalità dei costruttori di autovetture prevede il vano destinato ad alloggiare il ricevitore radio con o senza piastra di riproduzione. I costruttori che aderiscono alla normativa europea prevedono un vano a norma DIN (Deutsche Industrie Norm). Nella maggior parte dei casi l'alloggiamento del ricevitore avviene rimuovendo una piastra o un contenitore le cui dimensioni esterne coincidono con la sagoma standard del ricevitore.



Vano ricevitore.

Per quanto riguarda la collocazione dell'antenna, è da osservare che da parte dei costruttori è in atto la tendenza a predisporre nell'autovettura il montaggio dell'antenna. Per le autovetture così costruite, non c'è quindi il problema dell'individuazione del punto in cui collocare l'antenna, ma basta semplicemente disporre dell'antenna che possa essere installata nel punto previsto dal costruttore.



Tipi di antenne per auto.

Per le autovetture nelle quali questa predisposizione manca, i punti in cui è possibile installare l'antenna si trovano:

- a) sul tegolo anteriore o posteriore;
- b) sulla cosiddetta gronda;
- c) accanto alla portiera.

Per questo tipo d'installazione si può disporre di due tipi fondamentali di antenne:

- un'antenna a stilo ad estrazione manuale o elettrica;
- antenna da gronda.

I punti previsti non sono tuttavia ottimali, sarebbe senz'altro preferibile, anche se ciò comporta un incremento di lavoro, installare l'antenna del tipo «a stilo» sulla mezzeria della parte anteriore del tetto della vettura.

Ciò naturalmente richiede la foratura della carrozzeria.

Per quanto concerne l'impianto di diffusione, questo può essere realizzato con 2 o con 4 diffusori, anche se a volte vengono realizzati sistemi di diffusione con un numero maggiore di diffusori.



Componenti dell'impianto per autoradio.

Quasi tutte le vetture prevedono 2 alloggiamenti per i diffusori, che possono trovarsi:

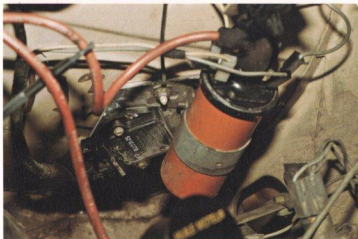
- sulle portiere;
- sotto il cruscotto, lateralmente;
- agli estremi del cruscotto.

Delle tre collocazioni possibili, si ritiene più valida la terza, anche se raramente viene adottata dai costruttori di auto.

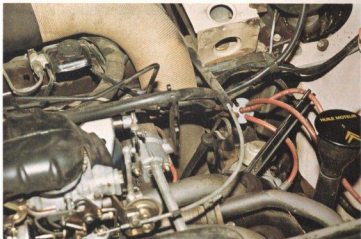
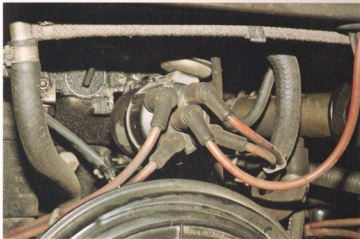
Certamente, comunque, la collocazione alle portiere risulta essere la meno efficiente.

Il tipo di alloggiamento previsto dal costruttore può condizionare il tipo di diffusori da adottare.

L'impianto a 4 diffusori, di cui 2 collocati anteriormente e due collocati posteriormente sulla cosiddetta «cappelliera», è da ritenersi il più funzionale perché consente, mediante un sistema di bilanciamento, un'ottimale distribuzione del volume sonoro tra i posti anteriori e i posti posteriori.



Sistema di accensione convenzionale.



Fonti di disturbo.

Generalmente nelle vetture a 3 volumi il costruttore prevede l'alloggiamento dei 2 diffusori posteriori. Tuttavia, se manca la predisposizione, non è difficile l'individuazione della posizione nella quale collocare i diffusori.

Nelle vetture a 2 volumi, la collocazione dei diffusori posteriori può risultare più complessa perché può richiedere interventi di trasformazione e di adattamento della cappelliera con risultati a volte poco soddisfacenti.

3.2. SCHERMATURA RADIOELETTRICA

In relazione alla schermatura radioelettrica, le fonti dei disturbi radioelettrici possono essere rappresentate da:

- 1) disturbi a radiofrequenza derivanti dall'accensione convenzionale;
- 2) disturbi derivanti dai circuiti dell'accensione elettronica, là dove è presente;
- 3) disturbi indotti dai cavi sui circuiti dell'autoradio, dovuti al cattivo filtraggio della tensione dell'alternatore e ai componenti elettrici utilizzati, quali ad es. freccia, clacson, ecc.

Per quanto riguarda il punto 1) gli interventi di schermatura radioelettrica riguardano:

- a) il filtraggio dell'alternatore con un condensatore da 3 μF applicato tra il morsetto dell'alternatore e la massa;
- b) l'applicazione di un condensatore da 0,5 μF sul positivo della bobina di accensione (se necessario);
- c) l'inserzione di un resistore su ciascuna candela ovvero la sostituzione dei cavi normali con cavi di tipi resistivo ad induttanza distribuita.

Per quanto riguarda il punto 2) basta attuare gli interventi a) e b).

Per quanto riguarda il punto 3) gli interventi di schermatura riguardano l'allontanamento dei cavi il più possibile dall'alloggiamento del ricevitore e, qualora i disturbi indotti raggiungano l'alimentazione, il filtraggio dell'alimentazione con bobine di filtraggio.

Generalmente sono disponibili dei kit contenenti i componenti necessari per eseguire le operazioni suindicate.

CAPITOLO IV

VIAGGIARE INFORMATI

4.1. IL SISTEMA ARI

Il sistema ARI (Automatic Radio Information), adottato sin dal giugno 1974 nella Repubblica Federale Tedesca, si propone di fornire notizie agli automobilisti mediante la rete di diffusione dei programmi radiofonici in modulazione di frequenza.

Il sistema ARI è stato esportato in altri paesi europei e negli Stati Uniti.

Per ricevere i notiziari ARI occorre disporre in auto di un ricevitore f.m. munito di decodificatore ARI.

Nelle regioni limitrofe, e specialmente nelle zone di transizione tra un'area di servizio e l'altra, non sarebbe assicurata la corrispondenza tra stazione di emissione ed area di circolazione dell'autoveicolo cui si riferisce il notiziario ARI.

Per evitare questo errore, il sistema ARI prevede l'identificazione della stazione che diffonde il notiziario ARI mediante un apposito segnale.

A tal fine si è provveduto a suddividere il territorio della Repubblica Federale Tedesca in aree di circolazione che pressappoco corrispondono a quelle in cui operano le stazioni radio in modulazione di frequenza.

A ciascuna area contrassegnata con una delle lettere da A ad F, corrisponde un tono a frequenza subsonica, compresa tra 23 e 54 Hz.

L'area A è individuata dalla frequenza 23.75 Hz, l'area B è individuata dalla frequenza 28.27 Hz, l'area C è individuata dalla frequenza 34.93 Hz, l'area D dalla frequenza 39.58 Hz, l'area E dalla frequenza 45.67 Hz, l'area F dalla frequenza 53.98 Hz.

Ciascuno di questi toni modula in ampiezza con basso indice di modulazione, una sottoportante a 57 kHz che viene associata al segnale mono o stereo per essere trasmessa dalla stazione che diffonde il programma radio in modulazione di frequenza.

Al fine di evitare disturbi sulla ricezione dei segnali in stereofonia, si è adottato un particolare valore per la sottoportante di identificazione; infatti la frequenza di 57 kHz rappresenta la terza armonica del tono pilota stereo a 19 kHz.

La sottoportante ha un'ampiezza che è la metà dell'ampiezza del tono pilota stereo; in tal modo il tasso di modulazione complessiva non viene modificato.

Anche le frequenze subsoniche vengono ottenute a partire dalla frequenza del tono pilota, dividendo per 32 e successivamente per 25 (o per 21 o per 17 o per 15 o per 13 o per 11).

Per consentire all'automobilista di poter ricevere il notiziario ARI durante l'ascolto di un programma o durante l'ascolto di materiale registrato su cassetta, il sistema ARI è dotato di un segnale cosiddetto di indicazione di messaggio che, indipendentemente dal programma ricevuto o letto su cassetta e indipendentemente dalla posizione del controllo del volume del ricevitore, effettua una commutazione che consente l'ascolto del notiziario ARI.

Ciò è ottenuto mediante la trasmissione di un segnale costituito da una nota a 125 Hz che modula la sottoportante a 57 kHz durante tutto il periodo in cui viene diramato il comunicato ARI.

Se l'automobilista sta ascoltando un programma registrato su cassetta, la presenza del segnale a 125 Hz opera lo stop del programma ed abilita il ricevitore all'ascolto del comunicato ARI. Al termine del comunicato, il segnale a 125 Hz opera la commutazione sull'ascolto del programma registrato su cassetta.

In definitiva, l'utente ARI è in grado di ascoltare il comunicato ARI automaticamente, allorquando questo viene diffuso dalla stazione radio.

Per consentire all'automobilista di sintonizzarsi sulla frequenza della stazione che è abilitata all'emissione del notiziario ARI, lungo le strade sono riportati dei cartelli con l'indicazione della frequenza della stazione che emette il notiziario ARI.

All'automobilista munito di ricevitore ARI non resta che sintonizzarsi su questa stazione dal momento che tutta la procedura restante è automatica.

Allo stato attuale vengono prodotti dalla Blaupunkt, cui si deve il progetto ARI, tre tipi di ricevitori ARI: l'Arimat, il Super Arimat e l'Automatic ARI.

Il ricevitore Arimat è dotato soltanto di indicatore di stazione, cioè non ha il dispositivo automatico di commutazione su notiziario ARI.

Il ricevitore Super Arimat è dotato sia del dispositivo che dà l'indicazione della stazione ARI, sia del dispositivo che consente la commutazione automatica sul notiziario ARI.

Il ricevitore Automatico ARI oltre ad avere i due dispositivi presenti nel Super Arimat, è munito di un sistema di ricerca automatica che si arresta in presenza di una stazione ARI di opportuna intensità, allorquando viene abilitato il tasto ARI.

4.2. IL SISTEMA RADIODATA UER

Questo sistema proposto in sede UER consente la radiodiffusione di dati nei programmi mono/stereo emessi in modulazione di frequenza nella banda 87.5-108 MHz.

Il sistema è inteso a:

- facilitare la sintonia del ricevitore su una rete o su un determinato programma;
- consentire la ricezione tempestiva di particolari comunicati, quali notiziari sul traffico, notizie lampo, messaggi di allarme;
- migliorare la qualità di ricezione in auto mediante l'uso di frequenze alternative trasmesse sul canale addizionale;
- controllare diverse funzioni del ricevitore, come volume, registrazione, ecc.

In particolare, il sistema consente, mediante apposito codice, l'identificazione dei programmi che trasmettono informazioni sul traffico. L'annuncio di traffico è preceduto, analogamente al sistema ARI, dalla trasmissione del codice che comanda le eventuali commutazioni del ricevitore.

Per quanto concerne il miglioramento della qualità della ricezione, il sistema ha la possibilità d'irradiare una lista di frequenze alternative delle stazioni che irradiano lo stesso programma entro l'area interessata o in aree adiacenti.

Tali frequenze, opportunamente memorizzate sul ricevitore, consentono di sintonizzarsi automaticamente sulla stazione più intensa.

Allo stato attuale, in attesa di completare le prove del sistema in oggetto, la RAI irradia il codice di identificazione dei comunicati sul tempo e sul traffico emessi dal servizio Onda Verde che viene effettuato a cura del GR 1, al fine di consentire all'industria nazionale di completare le prove di ricezione.

Il sistema di identificazione, disposto in collaborazione con l'ANIE, consente di ricevere le informazioni anche quando l'autoradio è posizionata sull'ascolto della cassetta registrata, ovvero quando il volume è al minimo.

A tale scopo viene inserito, prima della sigla di inizio ed alla fine del comunicato Onda Verde, il codice di identificazione che fa commutare automaticamente il ricevitore dalla cassetta all'ascolto del comunicato e ripristina il corretto livello del volume di ascolto, qualora in precedenza sia stato ridotto.

Va sottolineato che è necessario sintonizzare preventivamente il ricevitore sulla frequenza di emissione di Radio Uno, a meno che non si equipaggi l'autoradio con un sintonizzatore ausiliario di controllo.

APPENDICI

A.1. La modulazione esponenziale: concetti fondamentali

A differenza della modulazione lineare, la modulazione esponenziale è un processo non lineare. Tale modificazione comporta una banda di trasmissione più ampia del doppio della banda del segnale-messaggio, in compenso questo tipo di modulazione consente un incremento del rapporto segnale-rumore senza incremento di potenza trasmessa.

La modulazione esponenziale è caratterizzata dal fatto che la frequenza istantanea dell'onda modulata varia con la forma d'onda del messaggio.

Il segnale demodulato è proporzionale alla variazione di frequenza, denominata deviazione: si può incrementare la potenza d'uscita del segnale aumentando la deviazione.

Nella modulazione esponenziale, l'onda modulata, sotto forma di fasore, è una funzione del messaggio:

$$x_c(t) = \operatorname{Re} [A_c e^{j\vartheta_c(t)}] = A_c \cos \vartheta_c(t)$$

dove $\vartheta_c(t)$ è una funzione lineare di $x(t)$ e A_c è una costante. Essendo ϑ_c una posizione angolare del fasore, si dà il nome di modulazione di angolo a questo tipo di modulazione.

La modulazione d'angolo può presentarsi come «modulazione di frequenza» o come «modulazione di fase».

Scrivendo ϑ_c come:

$$\vartheta_c(t) \triangleq 2\pi f_c t + \Phi(t)$$

si può definire la frequenza angolare (radianti/secondo) come la derivata, rispetto al tempo, della posizione angolare.

Si definisce deviazione di frequenza istantanea $f(t)$ la grandezza:

$$f(t) \triangleq \frac{1}{2\pi} \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

La relazione che lega $\vartheta_c(t)$ a $f(t)$ è:

$$\vartheta_c(t) = 2\pi f_c t + 2\pi \int_{-\infty}^{+\infty} f(\lambda) d\lambda$$

In tal modo si può dire che *mentre nella modulazione di fase, la fase è proporzionale al messaggio, nella modulazione di frequenza la deviazione di frequenza istantanea $f(t)$ è proporzionale al messaggio*. In sintesi:

in modulazione di fase:

$$\varphi(t) \triangleq \Phi_{\Delta} x(t)$$

dove Φ_{Δ} è la costante di deviazione di fase, cioè la massima deviazione di fase prodotta dal segnale $x(t)$, in cui $|x(t)| \leq 1$. L'onda modulata in fase è:

$$x_c(t) = A_c \cos [\omega_c t + \varphi_{\Delta} x(t)]$$

in modulazione di frequenza:

$$f(t) \triangleq f_{\Delta} x(t)$$

dove f_{Δ} è la costante della deviazione di frequenza, cioè la massima deviazione di frequenza prodotta dal segnale $x(t)$, in cui $|x(t)| \leq 1$. L'onda modulata in frequenza è:

$$x_c(t) = A_c \cos [\omega_c t + 2\pi f_{\Delta} \int_{-\infty}^{+\infty} x(\lambda) d\lambda]$$

È da notare che l'ampiezza dell'onda modulata in frequenza o in fase è costante; la potenza media trasmessa è:

$$S_T = 1/2 A_c^2$$

È da notare, inoltre, che nella modulazione esponenziale i passaggi per lo zero non sono costanti, a differenza della modulazione lineare. *Pertanto si può affermare che il messaggio è contenuto soltanto nei passaggi per lo zero, purché la frequenza portante sia grande.*

A.2. Analisi spettrale della modulazione di frequenza

La descrizione nel dominio del tempo di un'onda modulata in frequenza da un segnale (messaggio) $x(t)$ è descritta dalla relazione:

$$x_c(t) = A_c \cos [\omega_c t + 2\pi f_{\Delta} \int_{-\infty}^{+\infty} x(\lambda) d\lambda]$$

Se si fa riferimento ad un segnale particolare, per esempio ad un tono sinusoidale, la frequenza istantanea del segnale f.m. varia in maniera sinusoidale intorno alla frequenza portante. Se, in particolare, si suppone:

$$x(t) = A_m \cos \omega_m t$$

si ha:

$$\vartheta_c(t) = 2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int A_m \cos \omega_m \lambda d\lambda$$

cioè:

$$\vartheta_c(t) = 2\pi f_c t + \frac{2\pi A_m f_\Delta}{\omega_m} \sin \omega_m t$$

e, quindi:

$$x_c(t) = A_c \cos \left[\omega_c t + \frac{2\pi A_m f_\Delta}{\omega_m} \sin \omega_m t \right]$$

Posto

$$\beta \triangleq \frac{2\pi f_\Delta A_m}{\omega_m} = \frac{f_\Delta A_m}{f_m}$$

si può scrivere:

$$x_c(t) = A_c \cos [\omega_c t + \beta \sin \omega_m t]$$

Il parametro β è denominato indice di modulazione ed ha due proprietà: è definito soltanto per la modulazione con segnale sinusoidale e dipende dall'ampiezza e dalla frequenza del tono modulante.

Fisicamente β è la deviazione massima di fase (in radianti) provocata dal segnale sinusoidale.

Dalla relazione

$$x_c(t) = A_c \cos [\omega_c t + \beta \sin \omega_m t] \quad (1)$$

si può dedurre che la fase relativa di $x_c(t)$ è:

$$\Phi(t) = \beta \sin \omega_m t = \frac{A_m f_\Delta}{f_m} \sin \omega_m t$$

Così, toni diversi aventi lo stesso rapporto ampiezza-frequenza, danno la stessa deviazione di fase, ma con differenti cadenze.

La frequenza istantanea è:

$$f(t) = f_\Delta A_m \cos \omega_m t$$

Pertanto la deviazione di frequenza dipende soltanto dall'ampiezza del tono e da f_Δ , cioè dalla caratteristica del modulatore.

La relazione (1) si può esprimere come somma di sinusoidi, utilizzando la nota relazione:

$$x_c(t) = A_c [\cos \omega_c t \cos(\beta \sin \omega_m t) - \sin \omega_c t (\beta \sin \omega_m t)]$$

Benché $x_c(t)$ non sia necessariamente periodico, $\cos(\beta \sin \omega_m t)$ e sui $(\beta \sin \omega_m t)$ sono funzioni periodiche con periodo $1/f_m$ e, quindi, possono essere sviluppate in serie di Fourier.

In particolare è noto che:

$$\cos(\beta \sin \omega_m t) = J_0(\beta) + \sum_{n \text{ pari}}^{\infty} 2J_n(\beta) \cos n \omega_m t \quad (2)$$

$$\sin(\beta \sin \omega_m t) = \sum_{n \text{ dispari}}^{\infty} 2J_n(\beta) \sin n \omega_m t \quad (3)$$

con n positivo e

$$J_n(\beta) \triangleq \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{i(\beta \sin \lambda - n\lambda)} d\lambda$$

I coefficienti $J_n(\beta)$ sono le funzioni di Bessel di primo tipo di ordine n ed argomento β .

A.3. Larghezza di banda per un segnale *f.m.*

Quando si è in presenza di una modulazione con basso indice, cioè si ha una deviazione di fase efficace inferiore a 0.707 radianti, la mag-

gior parte dell'informazione è contenuta nel primo ordine di bande laterali. Ne consegue che la banda richiesta è doppia della frequenza della componente più elevata in frequenza nel segnale modulante.

Per segnali di modulazione ad alto indice, la banda deve essere almeno uguale al doppio della deviazione di frequenza.

Una regola generale (posta da J.R. Carson nel 1939) è che la minima banda richiesta per la trasmissione di un segnale fm o pm è uguale al doppio della somma della deviazione di picco e della frequenza più elevata che deve essere trasmessa.

$$B_{\text{CARSON}} = 2(\Delta f_p + f_{\text{MAX}})$$

A.4. Preenfasi e deenfasi: miglioramento del rapporto segnale/rumore

Allorquando ci proponiamo di trasmettere un segnale utilizzando la modulazione di frequenza, richiediamo il migliore rapporto segnale/rumore per un'assegnata potenza della portante, per una data densità spettrale del rumore, per un'assegnata larghezza di banda in frequenza intermedia e, infine, per una data larghezza di banda del segnale che vogliamo trasmettere.

È evidente che s'eleverà il segnale in banda base prima di applicarlo al modulatore, al fine di ottenere la più ampia modulazione. Per conoscere di aver raggiunto il livello massimo disponibile, dovremo provvedere a demodulare il segnale ed a misurare la distorsione che si viene a determinare quando la deviazione di frequenza supera la larghezza di banda della frequenza intermedia.

Infatti, il livello del segnale modulante può essere elevato solo fino a quando la distorsione non superi un valore specifico.

Se si analizza la caratteristica spettrale di un segnale audio, si nota che la sua densità spettrale è relativamente alta nel campo delle basse frequenze e cade rapidamente alle frequenze più alte. Per esempio, la parola ha una densità spettrale di potenza piuttosto piccola al di sopra di 3 kHz.

Quando un tale segnale modula in frequenza una determinata portante, la densità spettrale di potenza delle bande laterali risulta maggiore in vicinanza della portante e piccola in vicinanza dei limiti della banda di trasmissione.

È possibile trarre vantaggio da questa caratteristica spettrale, propria del segnale audio, per migliorare la prestazione del sistema in modulazione di frequenza.

Se si considera l'intera catena di trasmissione-ricezione, si nota che:

- il segnale modulante $m(t)$ transita in un filtro $H_p(\omega)$ e, successivamente, viene applicato al modulatore di frequenza;
- la portante modulata è trasmessa su un canale in cui s'aggiunge rumore $n(t)$;
- dopo la demodulazione v'è un filtro la cui caratteristica di trasferimento è reciproca della caratteristica del filtro di trasmissione.

È da osservare che ogni modificazione introdotta nel segnale in banda base dal primo filtro, prima della modulazione, è presente anche al secondo filtro.

Invece, il rumore che è presente soltanto sul secondo filtro, può essere da questo soppresso fino ad un certo punto.

La selezione della caratteristica di trasferimento $H_p(\omega)$ si basa sulla considerazione che all'uscita del demodulatore la densità spettrale del rumore è data da:

$$G_n(t) = \frac{\alpha^2 \omega^2}{A^2} \eta$$

entro un intervallo di frequenza inferiore alla banda B.

Stando così le cose il filtro del ricevitore sarà molto efficace nel sopprimere il rumore, se la risposta del filtro decade con l'aumentare della frequenza.

Se supponiamo di disegnare il filtro di trasmissione in modo da incrementare soltanto la densità spettrale delle componenti di frequenza più elevate di $m(t)$, si avrà un incremento della potenza del segnale modulante e, di conseguenza, un incremento della distorsione del segnale.

Poiché si è mostrato che la densità spettrale della portante modulata è relativamente piccola in vicinanza dei limiti della banda, si può ammettere che un tale filtro può incrementare la densità spettrale del segnale soltanto in vicinanza dei limiti di banda e, pertanto, può causare solo un piccolo incremento della distorsione.

L'introduzione di un filtro di enfasi richiede, se non si vuole provocare una distorsione del segnale ricevuto, l'impiego di un filtro che operi in maniera complementare in ricezione.

Nei ricevitori f.m. commerciali la deenfasi è realizzata con una rete passa-basso RC, che presenta una caratteristica di trasferimento $H_d(f)$ data da:

$$H_d(f) = \frac{1}{1 + jf/f_1}$$

con $f_1 = 1/2\pi RC$

La costante di tempo RC è di 50 microsecondi.

A.5. Interferenza in modulazione di frequenza

Supponiamo che l'interferenza abbia un'ampiezza A_i ed una frequenza $f_c + f_r$. Il segnale all'ingresso del demodulatore risulta essere la somma di due sinusoidi, cioè:

$$\begin{aligned} v(t) &= A_r \cos \omega_c t + A_i \cos(\omega_c + \omega_r)t \\ &= R_v(t) \cos[\omega_c t + \Phi_v(t)] \end{aligned}$$

in cui:

$$\begin{aligned} R_v(t) &= \sqrt{(A_r + A_i \cos \omega_r t)^2 + (A_i \sin \omega_r t)^2} \\ \Phi_v(t) &= \arctg(A_i \sin \omega_r t / A_r + A_i \cos \omega_r t) \end{aligned}$$

Se l'interferenza è piccola rispetto alla portante, la risultante è la somma delle componenti in fase, mentre l'angolo di fase è determinato dalla componente in quadratura. Infatti per $A_i \ll A_r$ si ha:

$$\begin{aligned} R_v(t) &\approx A_r + A_i \cos \omega_r t \\ \Phi_v(t) &\approx \frac{A_i}{A_r} \sin \omega_r t \end{aligned}$$

In tal caso risulta:

$$v(t) = (A_r + A_i \cos \omega_r t) \cos(\omega_c t + \frac{A_i}{A_r} \sin \omega_r t) \quad (A.5.1)$$

Se invece si ha $A_r < A_i$, considerando l'interferenza come riferimento e decomponendo il fasore della portante, si ha:

$$v(t) = A_i \left(1 + \frac{A_r}{A_i} \cos \omega_i t \right) \cos \left[(\omega_c + \omega_i) t - \frac{A_r}{A_i} \sin \omega_i t \right]$$

La relazione A.5.1 mostra che si è in presenza di una modulazione d'ampiezza e di fase della portante da parte dell'onda interferente. Infatti la A.5.1 può essere scritta:

$$v(t) = A_r \left(1 + \frac{A_i}{A_r} \cos \omega_i t \right) \cos \left(\omega_c t + \frac{A_i}{A_r} \sin \omega_i t \right) \quad A.5.2$$

Posto $m = A_i/A_r$ la A.5.2 diviene:

$$v(t) = A_r (1 + m \cos \omega_i t) \cos [\omega_c t + m \sin \omega_i t] \quad A.5.3$$

È da tener presente che la modulazione d'ampiezza viene eliminata da parte del limitatore.

Orbene l'operazione di demodulazione di frequenza può essere rappresentata dalla relazione:

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Phi_v(t)}{dt}$$

Se $|f_i| < W$, si può scrivere:

$$\begin{aligned} y_D(t) &= \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \left(\frac{A_i}{A_r} \sin \omega_i t \right) \\ &= \frac{1}{2\pi} \frac{A_i}{A_r} \omega_i \cdot \cos \omega_i t \\ &= \frac{A_i}{A_r} f_i \cos \omega_i t \end{aligned}$$

Come si può notare nel segnale demodulato, l'interferenza è direttamente proporzionale sia all'ampiezza A_1 , sia alla frequenza f_1 , cioè l'interferenza è tanto maggiore quanto più è lontana dalla portante voluta.

Ragionando in termini fisici, l'intensità del segnale demodulato dipende dalla massima deviazione di frequenza. Segnali interferenti in vicinanza della portante non possono determinare cambiamenti significativi nella frequenza del vettore risultante e, di conseguenza, producono piccoli effetti.

Invece, quanto più grande è la differenza tra f_c e $f_c + f_1$, tanto maggiore è la deviazione di frequenza, onde è lecito attendersi che l'uscita demodulata è proporzionale a f_1 .

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BEST, R.R.: «Phase-Locked Loops: Theory, Design, and Applications», McGraw-Hill, New York, 1984.
- CARLSON, A.B.: «Communication Systems», McGraw-Hill, New York, 1975.
- CARSON, J.R.: «Notes on the Theory of Modulation», Pro. IRE, vol. 10, pp. 57-64, February 1922 (reprinted in Proc. IEEE, vol. 51, pp. 893-896, June 1963).
- ELLIOT, R.S.: «Antenna Theory and Design», Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1981.
- FRANCESCETTI, G.: «Campi Elettromagnetici», Boringhieri, Torino, 1983.
- ITT: «Reference Data for Radio Engineers», New York, 1974.
- ITU: «Recommandations and Reports of the CCIR», Vol. X, part 1, Geneva, 1982.
- JOHNSON, R.C. and H. JASIK: «Engineering Handbook», McGraw-Hill, New York, 1984.
- KRAUS, J.D. and K.R. CARVER: «Electromagnetic», McGraw-Hill, New York, 1973.
- LANDEE, R.W., D.C. DONOVAN and A.P. ALBRECHT: «Electronic Designers' Handbook», McGraw-Hill, New York, 1957.
- PEEBLES, P.Z. jr.: «Communication System Principles», Addison-Wesley, Massachussets, 1981.
- RAI / Sperimentazione e Ricerca: «Considerazioni sull'introduzione della polarizzazione mista negli impianti a modulazione di frequenza». Relazione Tecnica 76/26/I.
- RAO, N.N.: «Elements of Engineering electromagnetics», Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1977.
- SCHWARTZ, M.: «Information Transmission, Modulation, and Noise», 2rd ed., McGraw-Hill, New York, 1970.
- STUTZMAN, W.L. and G. THIELE: «Antenna Theory and Design», Wiley & Sons, New York, 1981.
- TAUB, H. and D.L. SCHILLING: «Principles of Communication System», McGraw-Hill, New York, 1971.
- TERMAN, F.E.: «Radio Engineers Handbook», McGraw, New York, 1955.

Hanno collaborato per i disegni:

Dino Di Santo - Fabiana Frascà

Sigla televisiva:

Mario Libera

Foto di copertina

Alessandro Macci

INDICE

Note sulla stereofonia	pag. 9
Cap. I - La radiodiffusione in stereofonia	» 15
Cap. II - La ricezione in modulazione di frequenza	» 39
Cap. III - L'installazione dell'autoradio	» 67
Cap. IV - Viaggiare informati	» 75
Appendici	» 81
Riferimenti bibliografici	» 93

*Finito di stampare il 4 ottobre 1984
nelle officine grafiche napoletane «Francesco Giannini & Figli»*

