

Fotocopiato in proprio, distribuito gratuitamente, è gradita la collaborazione dei lettori - Il N. 17 è stato inviato a 38 lettori
Redazione: Ezio Mognaschi, v.le Gorizia, 63 - 27100 Pavia PV, tel. 0382 539522, posta elettronica: mognaschi@fisav.unipv.it

Hanno collaborato a questo numero: F. Magrone, E. Mognaschi, P. Pensa ed altri.

Sommario: Notizie Achtung! Achtung! Perché non sulle pagine Web? p. 1; Precursori elettromagnetici dei sismi - Il primo anno di sperimentazione in Lunigiana, p. 2; Antenne a telaio in funzione antitaccheggio, p. 4; Modulazione, p. 5 - 6.

Notizie: * F. Magrone segnala che nel newsgroups *rec.radio.shortwave* un radioamatore di Taiwan riferisce di “un forte rumore a RF che copriva la banda da 3 a 15 MHz subito dopo il grande terremoto che ha colpito l’isola”. Poiché il radioamatore era interessato all’eliminazione di questo rumore, piuttosto che a capirne l’origine, non si hanno ulteriori dettagli.

* P. Pensa segnala i seguenti siti Web:

- <http://www.qsl.net/> dedicato al mondo OM con molte liste di discussione;
- <http://ietc.ca/home/bill/bbs.htm> con tanti programmi per uso radioamatoriale;
- <http://tucows.flashnet.it/files2/vnti403e.zip> contiene anivirus per WOBBLER.

Achtung! Achtung!

Negli ultimi tre anni si sta assistendo ad un considerevole aumento dell’attività dell’Escopost. Sembra che, in risposta ad una minaccia ministeriale di sopprimere questo ramo di polizia e di assegnare gli effettivi ad altri servizi, gli addetti abbiano deciso di far vedere che lavorano e quanto possano essere utili alle finanze statali. In quest’ottica si inquadrano, circa un anno fa, le perquisizioni, il sequestro di molti ricetrasmittitori portatili e l’irrogazione di sanzioni pecuniarie all’ingresso della fiera di Genova, il sequestro di ricevitori ed ancora sanzioni pecuniarie il 14 novembre 99 in un camping di Mestre (VE), sede di un campo DX, il sequestro di ricetrasmittitori CB, in quanto non omologati per la legge italiana, appartenenti a camionisti francesi ed altri episodi simili, per ora limitati a controlli al di fuori delle private abitazioni, per i quali non occorre un mandato di perquisizione dell’autorità giudiziaria. In attesa dell’uscita imminente del decreto legge che riordini la materia sarebbe opportuno: non memorizzare negli apparati frequenze al di fuori delle bande consentite per i diversi servizi; non registrare e non catalogare gli eventuali ascolti o comunicazioni di cui sopra; per la detenzione di apparati riceventi a copertura continua o che coprono, anche parzialmente, bande non di radiodiffusione eseguire la “denuncia di inizio attività” presso il competente ufficio territoriale per l’attività di SWL essendo consapevoli che ciò equivale a montare un parafulmini su di una casa: cioè può proteggere a volte, ma può talvolta attirare i fulmini. In caso di perquisizione domestica esigere l’esibizione del mandato di perquisizione firmato dall’autorità giudiziaria, in mancanza del quale l’Escopost non può procedere. Anche questa è una debole difesa in quanto non ci sarebbe da stupirsi di vedersi esibire un mandato in bianco, compilato al momento o di veder tornare, dopo poco, i visitatori con regolare mandato. Le associazioni di radioamatori (ARI) e di radioascolto (AIR) stanno patrocinando legalmente i rispettivi soci colpiti da multe e sequestri.

Perché non sulle pagine Web?

Alcuni lettori hanno suggerito recentemente di mettere *Radioonde* sulle pagine Web. Mentre si ringrazia per il suggerimento che rivela interesse per questa pubblicazione, si vogliono chiarire i motivi che sconsigliano, per il momento, questa soluzione. Ci sono sia motivi pratici, sia motivi legati a scelte di principio. Quelli pratici, facilmente superabili, consistono nell’attuale inadeguatezza dei mezzi e delle competenze di chi redige *Radioonde* ad entrare nel mondo Web e nel fatto che solo 20 degli attuali 38 lettori possiedono un collegamento in rete. Quelli di principio sono più difficili da spiegare e non saranno sicuramente condivisi da tutti.

L’hobby della radio sta conoscendo, in tutto il mondo, un drastico ed irreversibile calo di interesse dovuto, principalmente a due fattori: 1°) la telefonia mobile che consente a chiunque, pur che disponga di un po’ di denaro, di comunicare con chiunque altro, pur che disponga di un telefonino ed entrambi si trovino in zone servite; 2°) il sistema di comunicazione Internet che consente, sempre a chi disponga di danaro e di tempo da spendere, di ottenere informazioni da tutto il mondo, su qualsiasi argomento. In entrambi i casi con estrema facilità e con l’apparente sicurezza di ottenere l’informazione desiderata. Senza dilungarci ad elencare i punti deboli di questi sistemi; basti pensare che il 50% delle telefonate va a vuoto per vari motivi (il numero è cambiato, il numero è occupato, bisogna fare un altro numero, la linea cade, c’è un’interruzione “momentanea” del servizio, ecc.) ed al fatto che non sappiamo in mano a chi è la gestione del traffico delle informazioni e che cosa possano farne costoro (il telefonino, quando è acceso, informa automaticamente e

periodicamente una centrale di dove si trova (questo per il motivo "tecnico" di poter inviare al ripetitore giusto la prossima chiamata, ma non potrebbe essere lo strumento per schedare i movimenti di una persona? Non è come un braccialetto elettronico portato volontariamente ed addirittura a spese e cura di chi viene controllato?) Internet registra tutto il transito di messaggi (chi li invia, chi li legge, quando sono stati inviati ecc.; la prima parte di ogni messaggio di posta elettronica contiene questi dati e, spesso, è più lunga del messaggio stesso; perché, se non per lasciare una traccia che può essere usata da altri con il motivo di svolgere ufficialmente controlli anti-crimine?) Paradossalmente, più diviene facile far circolare informazioni, più è facile il loro controllo, questo in quanto oggi prevale l'aspetto *software* rispetto all'*hardware*. Nel mondo ipertecnologico in cui viviamo si sta realizzando il mito del Grande Fratello, in grado di controllare tutto e, per di più, in tempo reale, ed a spese del controllato; vogliamo aiutarne l'avvento? La pubblicazione di *Radioonde* è nata dal desiderio di sfuggire alla censura esercitata di chi, per incapacità di altri, aveva nel 1995 il controllo di *Radiatorama*, vogliamo ora passare attraverso un *provider* che, per motivi "tecnici" può esercitare la stessa funzione? No, grazie! La libertà su Internet è solo apparente, anzi Internet può divenire una trappola tecnologica che può servire, a chi la controlla, per sapere cosa fa la gente e di cosa si occupa. Le recenti notizie sull'intercettazione da parte anglo-americana di comunicazioni di alte personalità possono stupire solo gli sprovveduti. Inoltre l'interesse a mettersi su Internet può essere solamente di chi ha qualcosa da vendere; il possibile profitto può far passare in seconda linea considerazioni di principio, come è per tutti i bottegai. *Radioonde* non ha nulla da vendere. Così stando le cose, perché fornire al boia la corda che servirà per impiccarci? Continueremo, per ora, con la vecchia posta che funziona sulla base di un lento *hardware*. A proposito, ci stiamo avvicinando al numero massimo gestibile di copie di *Radioonde* spedite che è di 40; i lettori ancora interessati a ricevere questa pubblicazione mandino, per cortesia, un cenno in redazione, fruendo magari di Internet; cioè usando questo strumento come un utile mezzo.

Precursori elettromagnetici dei sismi
Il primo anno di sperimentazione in Lunigiana
 di Ezio Mognaschi

Il 25 febbraio 2000 si è svolta a Villafranca in Lunigiana (MS) una manifestazione di presentazione dei dati raccolti dai radioamatori della locale Sezione ARI per illustrare i risultati ottenuti nell'ultimo anno sui segnali elettromagnetici in VLF, segnali che possono venire osservati alcune ore prima di eventi sismici.

La manifestazione, organizzata in stretta collaborazione tra il comune di Villafranca ed i radioamatori della Lunigiana, ha visto la partecipazione di autorità locali e di esperti del settore, nonché di un'ottantina di persone interessate in prima persona all'argomento in quanto, come ben noto, la Lunigiana è terra ad alto rischio sismico. Erano anche presenti la stampa locale e la TV Liguria Sud. Dopo gli interventi del rappresentante del prefetto di Massa e del sindaco di Villafranca, ci sono state le relazioni tecniche di Alfredo Bernardi I5JRV, coordinatore per le VHF, UHF ed SHF della sezione ARI di Lunigiana, il quale, per l'occasione si è mostrato anche un esperto di VLF in quanto ha curato l'allestimento della stazione ricevente; del geologo dott. Roberto Antiga; di Mario Alberti I1ANP, vice presidente della Sezione ARI di La Spezia che ha preso parte attiva alla sperimentazione; dello scrivente che ha illustrato le esperienze attualmente in corso presso l'Università di Pavia sulla frattura delle rocce e presentato un breve panorama dei precursori elettromagnetici dei sismi ed in fine di Pippo Gristina IOFTG, ricercatore della Itelco di Orvieto, esperto di telecomunicazioni.

L'apparecchiatura utilizzata a Villafranca è molto semplice e poco costosa: un'antenna a telaio quadrato di 1.5 x 1.5 m², contenente 100 m di filo di rame, fissata ad una parete esterna del municipio, seguita da un circuito adattatore di impedenza e filtro *notch* a 50 Hz, da un ricevitore RS-4 (vedi *Radiatorama* 5/92 e *Radioonde* n. 1, febbraio 96) e da un rivelatore a diodo ed interfaccia per pilotare un registratore a carta con scorrimento della carta a velocità fissa di 2 cm/ora. La banda ricevuta va da 20 Hz a 50 kHz, non si conosce la sensibilità, ma è quella sufficiente per ricevere il rumore a quelle frequenze. Secondo chi ha condotto la sperimentazione, l'attenta osservazione delle tracce registrate, che contengono anche variazioni giornaliere periodiche dovute all'attività umana, ha permesso di rilevare, a volte, alcuni gruppi di segnali impulsivi che sono stati, successivamente, correlati a sismi avvenuti nell'area italiana. In Fig. 1 e 2 sono presentate due registrazioni, effettuate, rispettivamente, l'11 ed il 12 gennaio 2000 ove sono chiaramente visibili i segnali precursori ed una freccia indica il momento in cui si è verificato un sisma. Si noti che, trattandosi di una traccia registrata, il tempo cresce da destra verso sinistra. Uno studio di correlazione, svolto per un anno, tra questi segnali ed i sismi di magnitudo superiore a 2, forniti via Internet da una rete italiana di rilevamento, ma inferiori a 5 (in quanto, nel periodo considerato, non ci sono stati eventi di magnitudo superiore) ha consentito, sempre secondo chi ha condotto la sperimentazione, di verificare che: 1°) alcune ore prima di un sisma si osservano detti segnali tipici; 2°) in assenza di sismi non si osservano mai detti segnali; 3°) qualche precursore non è stato seguito da un sisma di magnitudo superiore a 2, potrebbe esserci stato però un sisma inferiore a 2 non catalogato; 4°) l'anticipo temporale tra precursori in VLF e sismi varia dalle 2 alle 6 ore; 5°) dopo i precursori in VLF e nel lasso di tempo immediatamente precedente il sisma, non si hanno più segnali VLF. Quest'ultima osservazione potrebbe far pensare ad un aumento della frequenza tipica dei precursori che, ad un certo momento, sono usciti dalla banda presa in considerazione.

I precursori osservati sono stati correlati ai sismi rilevati in tutta l'area italiana (dall'Appennino tosco-emiliano alla Sicilia, da Cuneo a Trieste), mentre l'interesse delle autorità locali è, comprensibilmente, per i fenomeni che si

manifestano nel territorio di loro competenza. Quindi, se da un lato il metodo si rivela sensibile, fin troppo sensibile, d'altro canto sarebbe auspicabile poter caratterizzare meglio i precursori. Ad esempio sarebbe interessante rilevare la direzione di provenienza dei segnali, in modo da verificare in modo più preciso la correlazione sopra menzionata.

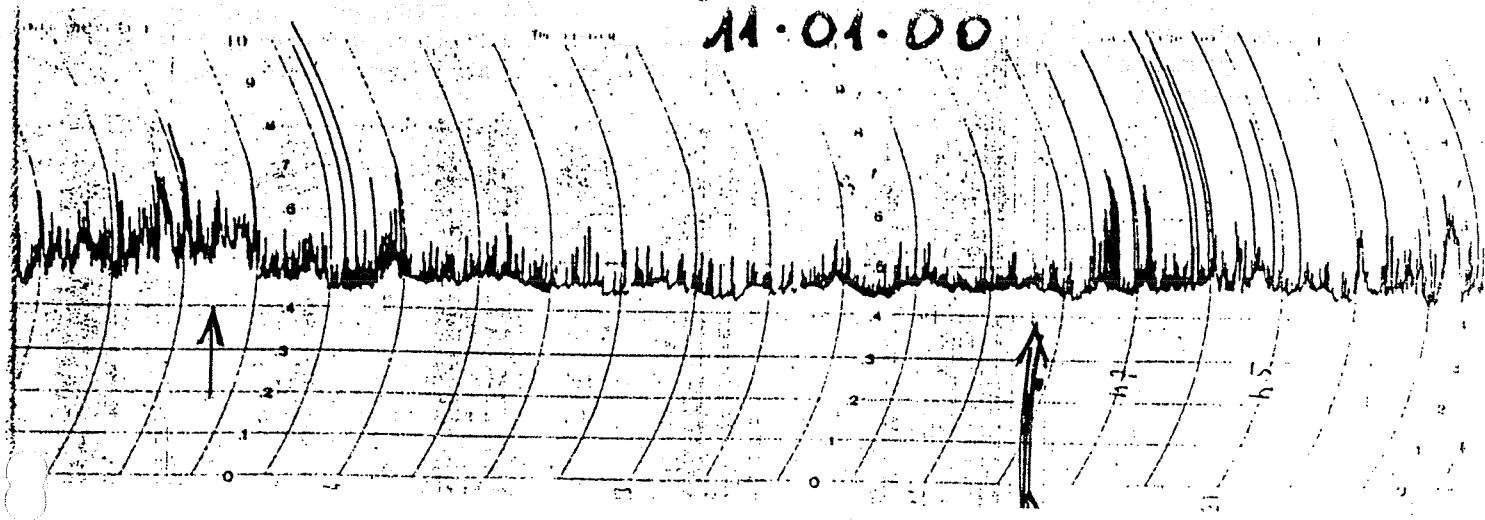


Fig. 1 - Registrazione dell'11.01.00. Sono visibili due gruppi di precursori: a destra il gruppo che precede un sisma della zona dell'Etna, di magnitudo 3.3; a sinistra il gruppo che precede un sisma avvenuto a Trapani.

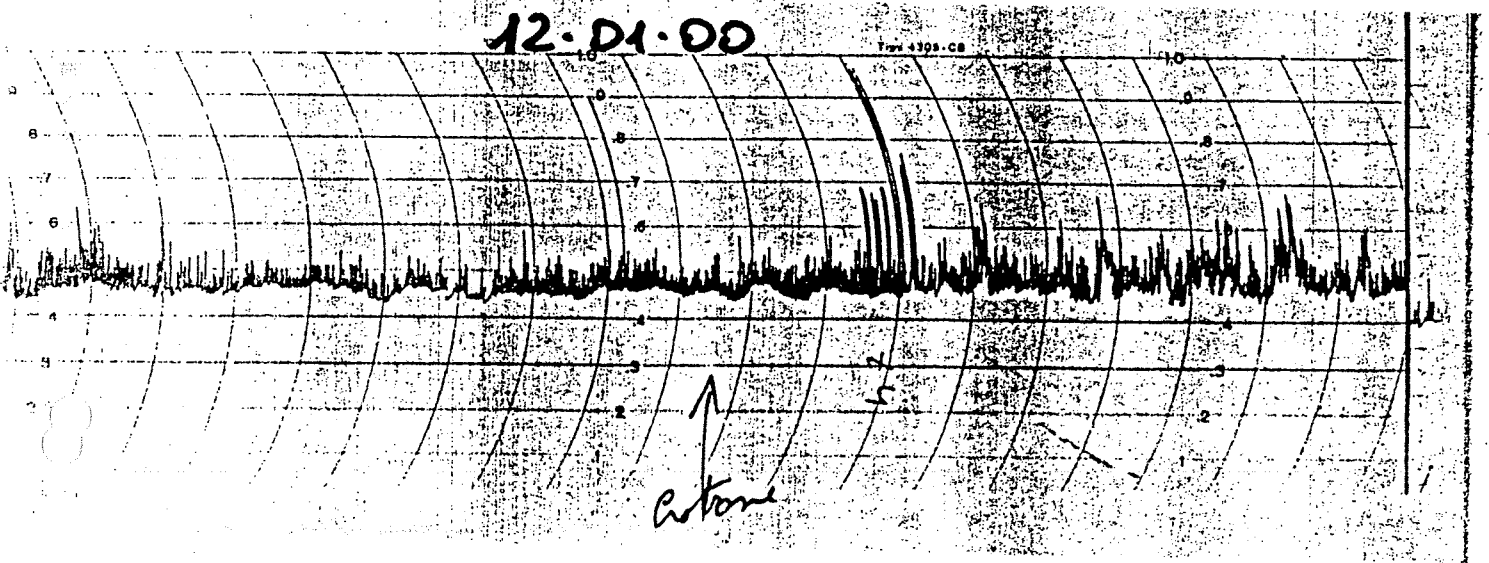


Fig. 2 - Registrazione del 12.01.00 mostrante, attorno alle ore 7, i precursori di un sisma verificatosi a Crotone.

A questo proposito è stato suggerito, e verrà realizzato, un sistema di rilevamento con due telai a 90° in modo da poter determinare la direzione di provenienza dei segnali. È altresì in previsione di allestire altre stazioni di rilevamento in modo da poter triangolare la sorgente dei segnali ed arrivare, addirittura, a definire la posizione dell'ipocentro del futuro terremoto. Un'altra prospettiva di indagine riguarda lo studio della dinamica dei segnali precursori; infatti, se la loro frequenza aumenta, come sembra, all'approssimarsi del sisma, sarebbe interessante un controllo non solo in VLF, ma anche a frequenze superiori. Se quest'indagine potesse venir spinta sino alle SHF, tenendo conto della propagazione quasi ottica di questi segnali, e considerato che la Lunigiana è quasi completamente circondata da alti crinali montuosi, i precursori ad alta frequenza non potrebbero che essere segnali locali, anche se più prossimi temporalmente all'evento calamitoso. Il controllo delle alte frequenze sarebbe quindi in grado di dare una localizzazione più precisa, anche se più tardiva, dell'evoluzione della dinamica dei sismi. A questo proposito va menzionato un suggestivo esperimento fatto da ISJRV il quale ha puntato le antenne direttive dei suoi ricevitori a 1.2 e 5.7 GHz, verso la bocca di un frantoio di sassi ed ha potuto verificare, a quelle frequenze, l'esistenza di segnali prodotti dalla frantumazione delle rocce. La registrazione,

effettuata su nastro, ha riguardato i segnali demodulati, cioè i segnali audio. Un profano può meravigliarsi di questo risultato, ma basta pensare che lo sfregamento di due sassi può produrre scintille e luce per rendersi conto che anche emissioni elettromagnetiche a frequenze più basse (le microonde, che hanno energia inferiore) sono possibili. Gli esperimenti svolti all'Università di Pavia hanno inoltre recentemente indicato la presenza di emissioni elettromagnetiche delle rocce sotto sforzo uniaassiale tra 200 kHz e 2.5 MHz. Un'ulteriore conferma dell'esistenza di precursori elettromagnetici in VLF si è avuta qualche anno fa quando si è conosciuta un'incredibile storia che riguarda i satelliti spia russi. Negli anni '80 erano in orbita circa 450 satelliti spia, definiti "meteorologici", dei quali circa 200 russi, gli altri americani. I russi si erano accorti di strani disturbi in VLF, rilevati dai loro satelliti, nell'imminenza di terremoti. Applicando l'infida tecnica del sillogismo: 1) La causa precede l'effetto; 2) I segnali VLF precedono i terremoti; 3) Dunque, i segnali VLF sono la causa dei terremoti, hanno dedotto (ricordiamoci che eravamo in piena guerra fredda e che i russi erano ossessionati dalla superiorità tecnologica occidentale tanto da credere al bluff di Reagan che aveva minacciato di realizzare lo scudo stellare) che questi segnali non fossero precursori naturali, bensì producessero i terremoti. E pensarono che gli americani possedessero tecniche segrete per produrre terremoti dove volevano.

Non è mancata una nota critica, formulata da un geologo della stazione sismografica di Massa, che ha messo in evidenza la difficoltà di correlare i precursori di varia natura con i sismi. È la ben nota posizione apparentemente assennata, ma conservatrice, nel senso che nega a priori la possibilità di novità, di quasi tutti i geologi e geofisici italiani che assomiglia molto alla posizione dei fisici di tutto il mondo alla fine del XIX secolo, verso la possibilità di comunicazione a grande distanza con onde elettromagnetiche. Solo chi "si intendeva poco di fisica" (come scrisse A. Righi a proposito di Marconi) ebbe il coraggio di provare ed il merito di riuscire. Oppure all'atteggiamento degli "addetti ai lavori" che cercarono invano superconduttori ad alta temperatura tra le leghe metalliche, e rimasero spiazzati dalla scoperta dei superconduttori ceramici da parte di ricercatori che non si erano mai occupati prima di superconduzione.

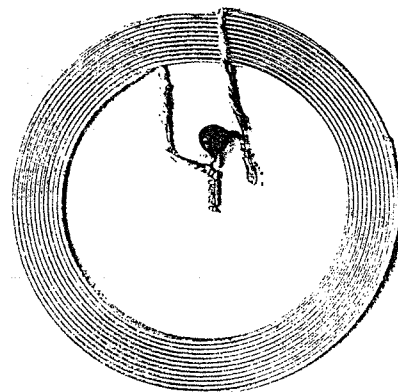
Si ringrazia la Sezione ARI Lunigiana per aver consentito la riproduzione delle registrazioni sopra riportate.

Antenne a telaio in funzione antitaccheggio

di Ezio Mognaschi

È a tutti noto che in molti grandi magazzini ed in alcuni negozi di abbigliamento vengono applicate ai capi di vestiario più costosi vistose placche in plastica che vengono staccate dai capi stessi solo dopo il pagamento della merce. Qualora la placca, per qualsiasi motivo, non venga rimossa e si tentasse di uscire con il capo di vestiario ancora dotato di essa, un sistema di allarme dovrebbe avvertire i commessi dell'uscita della merce. Dico "dovrebbe" perché il sistema, per qualche motivo, a volte, non funziona e non è escluso che, talvolta, esca dai negozi merce con ancora applicata la placca. Come funziona questo sistema antitaccheggio? È quanto cercheremo di scoprire dall'esame di una di queste placche casualmente capitatami tra le mani proprio perché, inavvertitamente, una di esse è rimasta attaccata ad un capo regolarmente pagato ed il sistema di allarme non ha funzionato.

Scartata, per ovvii motivi, l'ipotesi di rendere la placca al negozio di provenienza, la curiosità mi ha spinto ad aprire la custodia di plastica, di forma parallelepipedica e delle dimensioni di $6 \times 6 \text{ cm}^2$ e di spessore 0.5 cm e che portava, all'esterno, solo la scritta "checkpoint", probabilmente la marca del congegno. Grande è stata la mia sorpresa nel trovare, alloggiata nell'esiguo spazio tra le due lastre che costituiscono il fondo ed il coperchio della placca, una piccola antenna a telaio risonante della quale viene presentata qui accanto una fotocopia. Questa antenna a telaio è costituita da un'induttanza formata da 11 spire, complanari, di filo di rame rigido con doppia copertura in fibra sintetica che assomiglia alla seta, in parallelo ad un condensatore ceramico. Il diametro interno dell'avvolgimento è di 37 mm, mentre quello esterno è di 51 mm, l'induttanza è di $11 \mu\text{H}$ e le spire sembrano avvolte a macchina ed irrigidite da un collante in modo da mantenerle disposte in un piano; il condensatore ha una capacità di 33 pF ed il circuito risuona a 8.6 MHz circa, con fattore di qualità $Q \cong 1300$, valore piuttosto elevato ed ottenuto in virtù della bassissima resistenza dell'avvolgimento. La saldatura del condensatore all'induttanza è stata eseguita a mano su fili diligentemente ritorti secondo le regole dell'arte. Tutto sommato il livello tecnologico dell'oggetto sembra artigianale ed appare strano che l'antenna a telaio non sia stata realizzata su circuito stampato.



Cerchiamo ora di capire come un'antenna a telaio possa assolvere il compito di attivare l'allarme antitaccheggio. Solitamente pensiamo un'antenna come un oggetto passivo, in ricezione (che trasforma campi elettromagnetici in segnali elettrici) o od un oggetto, sempre passivo, ma attivato da un generatore, in trasmissione (che trasforma correnti e differenze di potenziale in campi elettromagnetici). C'è però un'altra possibilità, che si sfrutta raramente in modo deliberato, ed è proprio quella che interessa nel caso presente. Un'antenna, investita da un'onda elettromagnetica risulta sede di correnti alla stessa frequenza dell'onda incidente e, se la quantità di energia, generalmente piccola, in essa presente non viene tutta assorbita da perdite ohmiche, dielettriche o magnetiche nell'antenna stessa o trasferita, con opportuni accoppiamenti, ad altri circuiti (per esempio di un ricevitore), la restante energia viene reirradiata. È la stessa cosa che

capita con uno specchio. La differenza è che uno specchio è costruito per riflettere (quasi) tutta l'energia incidente e che esso funziona per quelle lunghezze d'onda che sono superiori alla sua rugosità; un'antenna a telaio risonante funziona bene, quanto a reirraggiamento, solo alla frequenza di risonanza, in sostanza è un filtro a banda tanto più stretta quanto più alto è il Q. Il sistema antitaccheggio dovrà, allora, comporsi di un TX e di un RX, sintonizzati sulla stessa frequenza e disposti ai lati delle "forche caudine" attraverso le quali escono i clienti. In condizioni normali il livello del segnale ricevuto avrà un valore determinato e che può solo diminuire se, attraverso le forche caudine passa qualche grosso oggetto metallico o comunque assorbente; nel caso passi una placca antitaccheggio il segnale può, invece, aumentare, grazie all'energia reirradiata dall'antennina a telaio contenuta nella placca. Ho detto "può" in quanto, essendo l'antenna telaio direttiva, esiste un piano nel quale l'emissione è minima ed un'orientazione opportuna del telaio può non alterare il livello di segnale ricevuto e questo può spiegare il fortuito ed occasionale mancato funzionamento del sistema.

Quanto sopra esposto circa il funzionamento dei sistemi elettromagnetici antitaccheggio è solo frutto di congetture, non essendo tanto facile poter esaminare l'interno di questi sistemi e dovendosi basare solo su quanto si può vedere. Diverso è poi il funzionamento dei sistemi usati per evitare l'asportazione ad esempio dei libri dalle librerie o dalle biblioteche. Si tratta di inchiostri magnetici, quasi invisibili ad occhio, ma fluorescenti e quindi resi visibili se illuminati con luce ultravioletta, con cui vengono segnate alcune pagine dei libri o l'etichetta recante il prezzo dell'oggetto da proteggere. In questo caso, un rivelatore di metalli, come quello degli aeroporti, è in grado di rivelare il transito dell'oggetto marcato in base al campo magnetico statico che esiste intorno all'oggetto stesso. Come si fa a togliere la marcatura senza asportare meccanicamente l'inchiostro? È semplice: basta far percorrere al materiale magnetico, di cui si deve conoscere la localizzazione, alcuni cicli di isteresi di ampiezza decrescente; se la magnetizzazione residua sarà ridotta a valori molto bassi, il rivelatore non si accorgerà del transito dell'oggetto marcato, ma smagnetizzato. È quello che fanno i commessi quando passano il lettore ottico del prezzo sull'etichetta dell'oggetto: insieme al lettore c'è un avvolgimento percorso da un'intensa corrente alternata a 50 Hz, il semplice allontanamento del lettore dall'etichetta comporta la graduale diminuzione del campo magnetizzante e la riduzione a circa zero della magnetizzazione.

Modulazione

di E. Mognaschi

3.a Modulazione di fase e di frequenza (*phase modulation PM, frequency modulation FM*) (continuazione)

Nella modulazione di fase il grado di modulazione è definito, di solito, dal rapporto tra la deviazione istantanea di fase $\Delta\phi$ e la massima deviazione che un dato trasmettitore o ricevitore può effettuare. Nella modulazione di frequenza il grado di modulazione è definito, di solito, come il rapporto tra la deviazione massima di frequenza ΔF e la massima deviazione permessa per legge o di cui il sistema è capace. Quindi il grado di modulazione non è una caratteristica intrinseca del segnale, come nella modulazione d'ampiezza, ma è determinata anche dalle caratteristiche del sistema ove passa il segnale.

In Fig. 6 è rappresentato sia un segnale modulato in fase, sia uno modulato in frequenza.

L'analisi spettrale dei segnali modulati in fase [eq. (27), v. *Radioonde* n. 17] o in frequenza [eq. (30), v. *Radioonde* n. 17] è piuttosto complicata. Per questo motivo riportiamo il risultato solamente in forma grafica.

In Fig. 7 ed 8 sono riportati, rispettivamente, gli spettri in frequenza di segnali modulati in frequenza ed in fase.

Nel primo caso con la stessa deviazione ΔF per la frequenza di picco, ma con diverse frequenze modulanti f_m ; nel secondo caso con la stessa deviazione $\Delta\phi$ per il picco della fase, ma con segnali modulanti di diverse frequenze. Il numero di bande laterali è, teoricamente, infinito. In FM le bande laterali sono separate dalla portante da multipli interi della frequenza modulante e diminuiscono rapidamente di intensità al di fuori dell'intervallo $\pm\Delta F$. Come si può osservare la modulazione di frequenza e di fase rimuovono energia dalla portante e la trasferiscono nelle bande laterali. In PM l'intensità delle bande laterali diminuisce rapidamente quando distano dalla portante più di $f_m\Delta\phi$.

L'ampiezza dello spettro, fisso in FM, è quindi proporzionale alla frequenza modulante in PM.

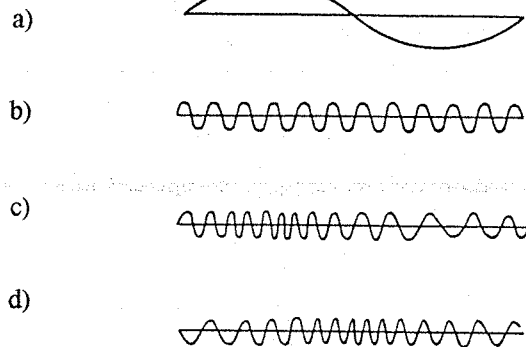


Fig. 6 - Modulazione angolare. a) segnale modulante formato da una sola frequenza, b) portante non modulata, c) segnale a radiofrequenza modulato in frequenza, d) segnale a radiofrequenza modulato in fase.

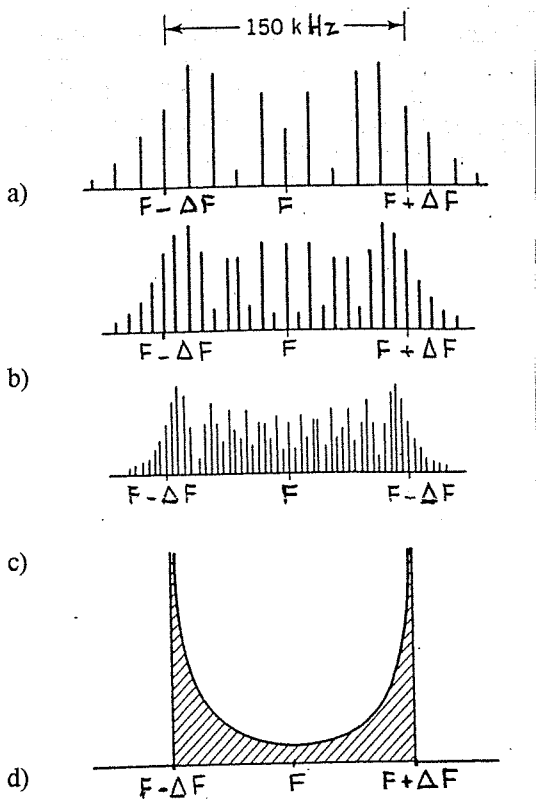


Fig. 7 - Spettro in frequenza di segnali FM con $\Delta F = 75$ kHz.

- a) $f_m = 15$ kHz; b) $f_m = 7.5$ kHz;

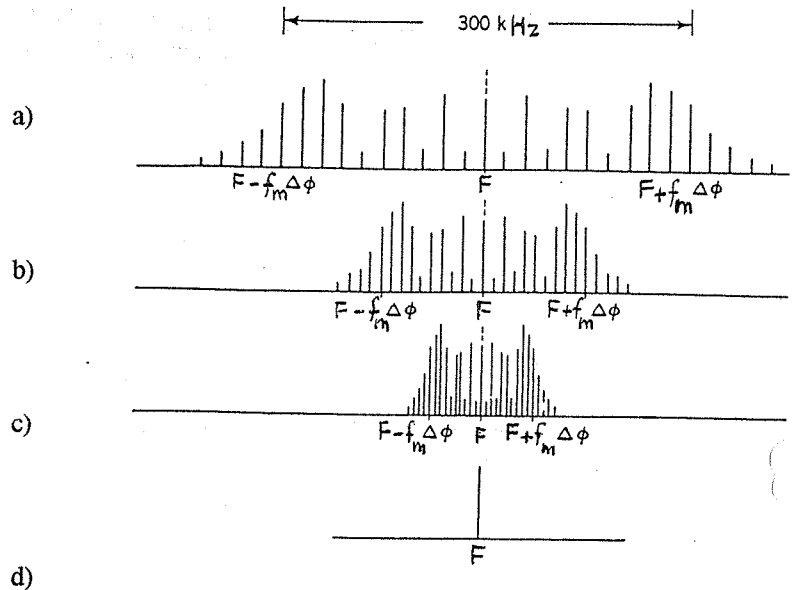


Fig. 8 - Spettro in frequenza di segnali PM con $\Delta\phi = 10$ rad.

- c) $f_m = 3.75$ kHz; d) $f_m \rightarrow 0$ kHz.

3b. Circuiti per la modulazione di frequenza

Il circuito più comunemente usato per modulare in frequenza consiste in un oscillatore a quarzo la cui frequenza di oscillazione viene fatta variare da un diodo varicap, vedi Fig. 9. La capacità del varicap varia in funzione dal segnale a bassa frequenza, di ampiezza opportuna, ed alle variazioni di tensione ai capi del varicap corrispondono variazioni di frequenza dell'oscillatore. Poiché le variazioni di frequenza che si possono ottenere sono generalmente piccole, solitamente la frequenza di oscillazione del quarzo è un sottomultiplo della frequenza da trasmettere e viene elevata con stadi moltiplicatori di frequenza. In questo modo viene anche moltiplicata la variazione di frequenza e si può ottenere la desiderata profondità di modulazione.

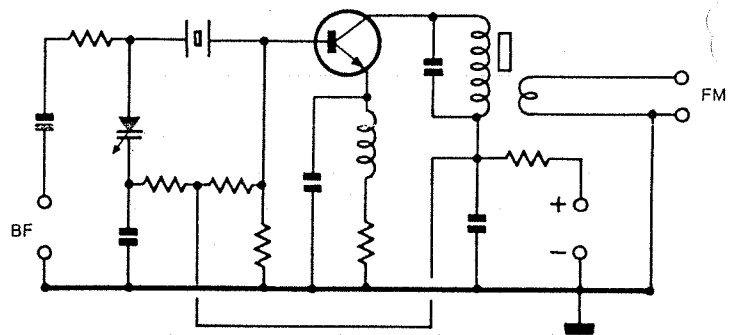


Fig. 9 - Circuito modulatore in FM.