

I recenti tubi elettronici e gli sviluppi della tecnica radar

La tecnica dei tubi elettronici ha compiuto, in questi ultimi anni, varii progressi, alcuni dei quali sono interessanti per la radiotelemetria. L'articolo, dedicato ad una rassegna di tali progressi, si inizia con alcune considerazioni generali e con una classificazione dei nuovi tubi in tre categorie. Di interesse preminente appare la prima di queste, che comprende triodi ad elettrodi piani e clistron ad onda continua di grande potenza, controllabili a quarzo, adatti per la costruzione di radiotachimetri di rilevante portata. Vengono riferite, a tal riguardo, alcune considerazioni sulla stabilizzazione diretta od indiretta di frequenza. I tubi in questione hanno inoltre caratteristiche adatte alla realizzazione di disturbatori, e sono in tal senso preferibili al magnetron. Nella seconda categoria sono classificati i nuovi tubi a basso rumore, fra i quali meritano particolare attenzione i tubi ad onda viaggiante. Non sembra però che la rumorosità dei ricevitori possa notevolmente diminuire, almeno per ora, con l'adozione di codesti tubi in luogo dei convertitori a cristallo. Nella terza categoria sono compresi quei tubi che potrebbero migliorare il potere separatore. L'utilità di questi però appare limitata per il fatto che le qualità delle antenne non hanno compiuto un progresso adeguato.

1. - Tecnica elettronica e radiotelemetria.

Tra i fattori che hanno determinato l'avvento e lo sviluppo della tecnica radar, figura in primo piano l'apparizione dei tubi capaci di funzionare su onde via via più corte. Essendo anzi noti nella sostanza, già prima del 1934-35, epoca di nascita del radar, gli schemi di massima del telemetro ad impulsi e del tachimetro ad effetto Doppler, può dirsi che il radar costituisce, in un certo senso, una delle conseguenze del progresso elettronico. Va peraltro riconosciuto alla radiotelemetria il merito di avere stimolato in modo assai efficace lo studio di nuovi tubi dotati di caratteristiche diverse da quelle usuali, e di avere con ciò dato luogo a progressi nel campo delle telecomunicazioni. Giova pertanto, a chi si interessa della radiotelemetria e dei suoi derivati, dedicare attenzione ai rapporti di reciproca influenza, che intercedono fra l'evoluzione dei tubi elettronici e quella degli apparecchi radar. La presente memoria si propone appunto di dare uno sguardo a codesti rapporti, traendone alcune connessioni sugli sviluppi probabili della tecnica radar nel prossimo avvenire.

Fra i problemi, che fin dall'inizio gli specialisti radar hanno posto ai costruttori di tubi, vanno considerati come preminenti: la tecnica degli alimentatori impulsivi, i generatori di onde centimetriche a regime impulsivo con grande potenza di picco, i generatori di onde cortissime stabilizzate e i tubi a basso rumore per ricevitori. Primo ad essere affrontato, e rapidamente risolto, fu quello dei tubi a regime impulsivo. Si trattò allora di una cosa relativamente semplice: costruire triodi oscillatori, e tetrodi o pentodi modulatori, dotati di catodo ad alta emissione e di buon isolamento, mentre la placca, ed in parte anche le griglie, potevano restare di dimensioni ridotte. Si ebbe così la prima serie di radar, protagonista della prima fase di sviluppo della nuova tecnica, caratterizzata dall'impiego quasi esclusivo di onde metriche e durata circa fino al 1942⁽¹⁾.

⁽¹⁾ In Italia vennero costruiti, durante la guerra, triodi oscillatori adatti a regime impulsivo (FIVRE U C 150 ed analoghi). Per quanto riguarda i modulatori, si dovette ricorrere a pentodi ordinari con sovraalimentazione catodica (FIVRE 5 C 500 ed analoghi). Si trattava di tubi a catodo

La comparsa del magnetron a cavità multiple modificò nel seguito assai rapidamente la situazione, poichè permise di costruire trasmettitori capaci di irradiare successioni impulsive aventi potenze di picco dell'ordine delle centinaia di kilowatt su onde fino ai 3 cm. Con ciò la radiotelemetria subì una trasformazione profonda, che fu caratteristica di una seconda fase nella evoluzione di essa. Le potenze dell'Asse, che per conto proprio avevano realizzato il radar ed erano riuscite a mettersi quasi al passo con gli anglo-americani nella tecnica delle onde metriche, non riuscirono a seguire con sufficiente rapidità questa seconda fase, con gravi conseguenze⁽²⁾. Dall'avvento del nuovo tipo di magnetron derivarono infatti una semplificazione di struttura ed una riduzione di ingombro radicali, cui va aggiunto un forte aumento della difficoltà di intercettazione e di disturbo.

Questo episodio mostra in modo assai caratteristico in quale misura l'evoluzione del radar abbia risentito l'influenza di nuovi tubi elettronici. Che l'intera struttura di questo apparecchio sia determinata dalle caratteristiche dei tubi, si vede peraltro esaminando lo schema del dispositivo « M.T.I. », quale venne realizzato sul finire del conflitto: l'intero dispositivo per la produzione delle oscillazioni coerenti, necessario al fine di rivelare l'effetto Doppler, ha dovuto qui infatti essere subordinato al modo di funzionare del magnetron, dal quale non è facile ottenere treni di oscillazioni fra loro coerenti⁽³⁾.

Un problema, che invece il magnetron ha lasciato insoluto, è quello del radar ad onda continua non modulata, che pure ha interesse in molte applicazioni. Ciò non perchè questo tubo non sia adatto a funzionare anche a regime continuo con elevata potenza, ma perchè non si riesce

toriato; la messa a punto dei catodi ad ossidi venne interrotta nel '43.

Le ricerche di radiotelemetria, prima del conflitto, vennero presso di noi condotte per mezzo di tubi normali con alimentazione catodica forzata.

⁽²⁾ In Italia venne costruito durante la guerra, dal Prof. N. CARRARA, un magnetron a cavità risonante unica. Era stata quindi intrapresa una buona via.

⁽³⁾ Cfr. U. TIBERIO, *Apparecchi radar ad effetto Doppler*, L'Elettrotecnica, XXXVIII, 6, pag. 266, giugno 1951.

a stabilizzarne le oscillazioni con un pilota d'onda a quarzo, come è richiesto per una buona rivelazione dell'effetto Doppler.

Nella costruzione del ramo ricevente dei primi radar ad onda centimetrica, si incontrò una seria difficoltà, costituita dal forte rumore di fondo prodotto dal convertitore di frequenza costituente lo stadio di entrata. I raddrizzatori a cristallo rappresentarono, in questo senso, un importante successo, poichè ridussero il fattore di rumorosità a 14 sull'onda di 10 cm: questo valore però è sempre ben più elevato di quello che si riesce ad ottenere sulle onde metriche, per le quali si scende ad 1,5 ÷ 3 unità. Una difficoltà, che invece è stata felicemente superata, è quella del dispositivo per la commutazione di antenna: l'importante semplificazione, di ridurre le primitive due antenne ad una sola, è dovuta alla realizzazione dei tubi ionici T.R.

Una specialità importante della tecnica radar, che aveva cominciato a svilupparsi sul finire del conflitto, è quella del disturbo attivo⁽⁴⁾. Anche qui però si incontrarono difficoltà, per il fatto che nè il magnetron nè il clistron si prestavano a quel tempo per la produzione di potenze elevate ad onda continua con modulazione caotica di ampiezza. Ad ottenere siffatte potenze si era pervenuti in modo soddisfacente solo per la gamma delle onde metriche.

2. - I tubi elettronici recenti, interessanti per la tecnica radar.

La televisione, che ha esigenze molto affini a quelle radar, ha contribuito a stimolare in larga misura le ricerche in alcuni campi che qui direttamente ci interessano, provocando l'apparizione di molti e svariati tubi elettronici, perfezionati o di nuovo tipo. Qui dovremo limitarci a ricordare solo i principali, poichè una rassegna completa ci porterebbe ad allungare troppo la presente esposizione. Sarà anzi opportuno farne un elenco per gruppi, dividendo questi in tre categorie: I, trasmettenti; II, ricevitori di entrata; III, altri tubi per ricezione.

I. - Tubi trasmettenti:

I - a) clistron da 0,25 e da 0,5 kW utili, ad onda continua, amplificatori fino a 5000 Mc/s, costruiti dalla Società Sperry⁽⁵⁾;

I - b) clistron da 5 kW utili ad onda continua, controllabili in frequenza a quarzo e modulabili in ampiezza, su 1000 Mc/s; costruiti dalla Soc. Varian (tipo X-25) e dalla Eimac;

I - c) triodi e tetrodi da 5 kW utili, ad onda continua, amplificatori con griglia a massa, su 900 Mc/s costruiti dalla R.C.A.⁽⁶⁾.

⁽⁴⁾ Cfr. U. TIBERIO, *Disturbatori radio e radar*, Atti del Congresso A.E.I. 1952, Perugia; ed anche: *Eco e rumore in un radar sottoposto a disturbo attivo*, Alta Frequenza, XXI, 3, pag. 137, giugno 1952.

⁽⁵⁾ V. LEARNED and C. VERONDA, *Recent developments in high-power klystron amplifiers*, Proc. I.R.E., XL, 4, pag. 465, aprile 1952.

⁽⁶⁾ R. T. SMITH, *Some new ultra high frequency power tubes*, R.C.A. Review, XIII, 2, pag. 224, giugno 1952.

II. - Tubi di entrata per ricevitori:

II - a) tubi ad onda viaggiante per 3000 Mc/s⁽⁷⁾;

II - b) triodi amplificatori con griglia a massa, fino a 4000 Mc/s, costruiti dalla Bell e dalla G.E.C.⁽⁸⁾.

III. - Altri tubi ricevitori:

III - a) pentodi per amplificatori a larga banda⁽⁹⁾;

III - b) transistori;

III - c) tubi oscillografici di nuovo tipo.

3. - I nuovi tubi trasmettenti ed i radar ad effetto Doppler.

Dei tre gruppi citati, il primo è stato studiato per le applicazioni radar, e più specificatamente per quelle concernenti gli apparecchi a rivelazione Doppler. Gli altri due gruppi sono stati invece costruiti per scopi di televisione. Poichè le caratteristiche di questi sono però strettamente affini a quelle del primo, siamo indotti a considerare tutti i nuovi tubi trasmettenti menzionati come interessanti dal punto di vista di codesto tipo di rivelazione.

La ragione per la quale questi tubi si presentano come adatti alla rivelazione tachimetrica sta, come si è avanti accennato, nel fatto che essi, oltre a dare una potenza notevole a regime continuo, si prestano bene al controllo di frequenza. Sarà forse opportuno chiarire qui tale punto, nel quale vediamo ripresentarsi, con il tradizionale interesse, il problema fondamentale della stabilizzazione, che ha caratterizzato la fase di affinamento della tecnica radio in tutti i successivi stadi della sua evoluzione, dalle onde lunghe a quelle ultracorte.

Lo scarto di frequenza f_D tra l'onda d'eco e quella diretta ha il valore:

$$(1) \quad f_D = \frac{2v \cos \psi}{\lambda}$$

essendosi indicati con v la velocità del bersaglio, con ψ l'angolo fra la congiungente radar-bersaglio e la rotta di questo, e con λ la lunghezza d'onda.

Tra la f_D e la frequenza di lavoro $f = \frac{c}{\lambda}$ si ha il rapporto:

$$(2) \quad \frac{f_D}{f} = \frac{2v \cos \psi}{c}$$

Nelle applicazioni pratiche più comuni questo rapporto è molto piccolo. Nell'avvistamento degli aerei, si ha mediamente: $\frac{f_D}{f} = 10^{-6}$; per le navi e per i veicoli terrestri, l'ordine di grandezza è fra

⁽⁷⁾ J. R. PIERCE, *Traveling-wave tubes (third installment)*, B.S.T.J., XXIX, 3, pag. 390, giugno 1950.

F. N. H. ROBINSON e R. KOMPFFNER, *Noise in traveling-wave tubes*, Proc. I.R.E., XXXIX, 8, pag. 918, agosto 1951.

⁽⁸⁾ A. E. BOWEN and W. W. MUMFORD, *A new micro-wave triode: its performance etc.*, B.S.T.J., XXIX, 4, pag. 531, ottobre 1950.

⁽⁹⁾ P. MEUNIER, *Un nouveau tube électronique pour les amplificateurs à large bande*, L'Onde Electrique, XXXII, 303, pag. 232, giugno 1952.

10^{-8} e 10^{-7} . Il ricevitore deve pertanto rivelare, ed utilizzare per le misurazioni che interessano, un battimento che si verifica fra due onde, le quali differiscono intorno al 10^{-7} della frequenza di ciascuna. La possibilità di utilizzare tale battimento è legata alla stabilità di frequenza di esso, nel senso che un battimento dotato di frequenza fluttuante risulta discernibile con maggiore difficoltà dal rumore di fondo. Ha pertanto importanza il grado di instabilità relativa della f_D , il quale, detta Df_D l'ampiezza media della fluttuazione, risulta:

$$(3) \quad \frac{\Delta f_D}{f_D} = \frac{c \Delta f_D}{2 f v \cos \psi}$$

Osserviamo ora che la Df_D nasce dalla variazione, che la frequenza di emissione subisce durante l'intervallo t di tempo, che l'onda d'eco impiega a compiere il percorso di andata e ritorno:

$$(4) \quad \tau = \frac{2d}{c}$$

e consideriamo, per semplicità, il caso particolare in cui la frequenza vari con legge lineare durante il tempo t . Indicando con $\frac{df}{dt}$ la variazione, abbiamo:

$$(5) \quad \Delta f_D = \tau \frac{df}{dt}$$

e quindi, sostituendo nella (3) e risolvendo, ricaviamo:

$$(6) \quad \frac{df}{dt} = \frac{f v \cos \psi}{d} \cdot \frac{\Delta f_D}{f_D}$$

Poniamo adesso la condizione che la variazione relativa della f_D non superi un certo valore K espresso in percento; dalla (6) si trae:

$$(6') \quad \frac{df}{dt} \leq K \frac{f v \cos \psi}{100 d}$$

Affinchè il battimento Doppler sia utilizzabile con chiarezza, è opportuno che il valore di K non sia maggiore dell'uno per cento. Con l'onda di 30 cm, contro un bersaglio distante 100 km e dotato di una $v \cos \psi$ di 100 m/s, abbiamo:

$$\frac{df}{dt} \leq 10^4 \text{ c/s}^2.$$

Le variazioni lente di frequenza, connesse con le variazioni di temperatura dei risuonatori, non raggiungono tale ordine di grandezza, al quale invece possono arrivare quelle inerenti alle fluttuazioni rapide, che gli oscillatori non stabilizzati compiono intorno alla loro frequenza media ⁽¹⁰⁾. Di qui la necessità di stabilizzare, come abbiamo già avanti affermato.

Dei tubi appartenenti alla categoria I del paragrafo precedente, quelli che abbiamo assegnati al gruppo I-c sono adatti essenzialmente alla stabilizzazione diretta, potendo funzionare bene come amplificatori ordinari di un'onda pilota. I clistron ci-

⁽¹⁰⁾ Cfr. U. TIBERIO, *Il rapporto fra segnale e rumore negli amplificatori ad onda ausiliaria*, Alta Frequenza, XVI, 6, pag. 275, dicembre 1947.

tati negli altri due gruppi si prestano invece, oltre che alla stabilizzazione diretta, anche a quella indiretta, che spesso viene preferita per la sua maggiore semplicità costruttiva. È possibile infatti correggere la frequenza delle oscillazioni generate da questi tubi per mezzo di una adatta tensione continua applicata all'elettrodo di repulsione.

Per l'applicazione che qui consideriamo, il controllo indiretto si presenta però poco adatto. In esso il risuonatore di controllo agisce infatti attraverso un servomeccanismo a ciclo chiuso, il quale interviene solo se la variazione da correggere supera un certo valore e se non è troppo rapida; perciò non restano eliminate le fluttuazioni piccole e rapide che caratterizzano i tubi autooscillatori. Nella stabilizzazione diretta, invece, si ha un servomeccanismo a ciclo aperto avente lasco assai limitato, di modo che anche le fluttuazioni rapide risultano con buona approssimazione eliminate ⁽¹¹⁾.

Questa opportunità di preferire il controllo diretto è convalidata peraltro dal fatto che i ricercatori citati nella nota 5 hanno appunto preferito

⁽¹¹⁾ Ad evitare che possa insorgere qualche equivoco circa i termini usati nel testo, chiariamo che, con la dizione « dispositivo di stabilizzazione diretta », indichiamo il complesso formato da un pilota a quarzo seguito da catena moltiplicatrice ed amplificatore finale di potenza (fig. 1-a). Con la dizione « dispositivo di stabilizzazione indiretta », il complesso costituito da un autooscillatore di potenza che, in un risuonatore di controllo (fig. 1-b), dà luogo ad una tensione a radiofrequenza che dipende dall'errore di frequenza. Un rivelatore converte in tensione continua codesta tensione di errore, e la manda, attraverso un amplificatore, ad un elettrodo (repulsore nel caso del clistron), il quale agisce sulla frequenza nel senso di ridurre l'errore.

L'assimilazione a servo-meccanismi a ciclo aperto e chiuso rispettivamente è ovvia. Nel primo caso non vi è ritardo di correzione e l'errore è rappresentato dai laschi di fase dei moltiplicatori, che sono molto piccoli. Nel secondo caso l'errore dipende dal guadagno dell'amplificatore del servomeccanismo e dalla costante di tempo del gruppo rivelatore-amplificatore. Non abbiamo dati sperimentali esaurienti al riguardo; ci sembra però di poter affermare che, a causa del contrasto fra le esigenze connesse con l'amplificazione e con la costante di tempo, l'errore in questione è difficilmente riducibile al disotto di un limite tale da rendere accettabile la fluttuazione di frequenza.

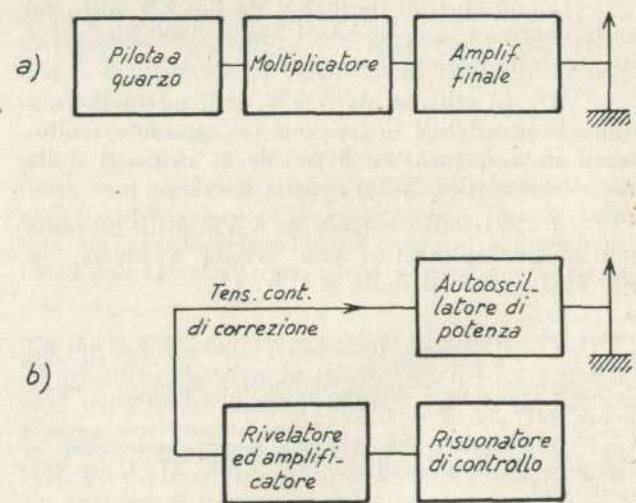


Fig. 1. - Dispositivi tipici di stabilizzazione: a) diretta, b) indiretta.

tale tipo di controllo. Essa merita però, a nostro avviso, ulteriore esame sperimentale. Ci auguriamo quindi che ricerche vengano condotte in tal senso.

Oltre che per i radar a rivelazione Doppler vera e propria (radiotachimetri semplici), i quali funzionano ad onda continua, la stabilizzazione di frequenza ha interesse anche per i radar ad implusi, dotati di dispositivo per l'indicazione dei bersagli in moto (M.T.I.). Come si è avanti accennato, il problema di tale indicazione è stato risolto per mezzo di un oscillatore coerente asservito agli impulsi emessi dal magnetron. Risultati migliori però senza dubbio si otterrebbero con un trasmettitore, il quale, essendo controllato da un pilota d'onda, emettesse impulsi che fossero di per sé fra loro coerenti. Anche in tal senso hanno perciò interesse i nuovi triodi e clistron di grande potenza pilotabili, dei quali ci occupiamo qui.

Può non essere fuori di luogo, a questo riguardo, segnalare anche i tentativi, attualmente in corso, di rendere coerente la successione impulsiva, emessa dal magnetron, per mezzo di un'onda pilota iniettata nel tubo con opportuna intensità ⁽¹²⁾. Se tali tentativi raggiungeranno lo scopo, verrà infatti meno la necessità di impiegare i nuovi tubi indicati nella I categoria in questione, poichè basterà il comune magnetron.

4. - Utilità dei nuovi tubi trasmettenti nei disturbatori.

Quanto abbiamo esposto in altra sede in tema di disturbi (cfr. loc. cit. nota 4) conduce a concludere che le caratteristiche, mediamente richieste in un trasmettitore disturbante, sono:

a) emissione ad onda continua, con potenza dell'ordine del kilowatt nel caso del disturbo diretto, e con potenza quanto più elevata possibile nel caso del disturbo indiretto;

b) modulazione caotica di ampiezza, con banda dell'ordine di 10 Mc/s ed oltre;

c) regolabilità della frequenza di lavoro quanto più estesa possibile.

L'autooscillatore a triodo, od a tetrodo, presenta in sommo grado tali caratteristiche. Il ben noto generatore « resnatron », impiegato con ottimo successo dagli anglo-americani sul finire della guerra per la protezione indiretta, era appunto un tetrodo autooscillatore da 50 kW su onda di 60 cm. I triodi ed i tetrodi citati nel gruppo I-c rappresentano una buona soluzione fino ai 1000 Mc/s, e costituiscono un importante progresso: con due di codesti tubi, oscillanti in controfase, è infatti possibile ottenere senza difficoltà 10 kW utili.

Per le frequenze oltre i 1000 Mc/s, allo stato attuale, è necessario ricorrere ai tubi non classici,

⁽¹²⁾ E. E. DAVID, *R. F. phase control in pulsed magnetrons*, Proc. I.R.E., 40, 6, pag. 669, giugno 1952.

Tentativi, rivolti al fine di rendere coerente una successione impulsiva per mezzo di un'onda pilota continua opportunamente iniettata nel generatore, furono compiuti anche in Italia durante la guerra per lo studio del radiotachimetro navale, in cui appunto si utilizza una successione così fatta.

Di codesti tentativi accenna il LATMIRAL trattando della superreazione (Alta Frequenza, 3, pag. 148, marzo 1946).

Anche qui il magnetron, che pure è in grado di fornire la potenza occorrente, non rappresenta una buona soluzione, sia perché non è adatto alla modulazione di ampiezza e sia perché può ammettere solo una regolazione molto limitata in frequenza. Pertanto i clistron, che abbiamo citati nei gruppi I-a e I-b e che sono modulabili in ampiezza, oltre ad esser capaci di dare una potenza notevole, offrono interessanti prospettive. Essi però non sono ampiamente regolabili in frequenza.

Anche per quei disturbatori, che agiscono a regime impulsivo mascherando una zona limitata in distanza, i nuovi tubi appaiono preferibili. Nell'ambito dei lunghi impulsi irradiati, occorre infatti imprimere modulazione caotica di ampiezza.

5. - I nuovi tubi di entrata per i ricevitori.

Nel passaggio dalle onde metriche a quelle centimetriche, la portata dei radar subisce una diminuzione per due motivi:

a) Nella espressione della portata virtuale:

$$(7) \quad X = \frac{\sqrt{G\lambda}}{2,84} \sqrt[4]{\frac{P}{V P_r}}$$

in cui P è la potenza di emissione, P_r quella di rumore in ricezione e V il fattore di visibilità degli echi, figura il prodotto del guadagno di antenna G per la lunghezza d'onda λ . Tale prodotto decresce, per il fatto che l'aumento di G non basta a compensare la diminuzione di λ .

b) La potenza di rumore P_r , che appare sotto radice quarta nella (7), aumenta fortemente, poichè si accresce il fattore di rumorosità F definito dalla relazione:

$$(8) \quad P_r = 4 F K T B,$$

nella quale $4KT B$, quadruplo del prodotto della costante K di Boltzmann per la temperatura assoluta T e per la banda B , rappresenta il rumore insopprimibile inerente alla radiazione termica che esiste nello spazio esterno.

Il valore di F , che esprime quante volte il ricevitore risulta più rumoroso del minimo $4KT B$ a causa dei disturbi introdotti dallo stadio di entrata, si aggira sulle $1,5 \div 2$ unità per le onde metriche, sulle quali è possibile una buona preamplificazione. Sui 10 cm si sale a 14 unità, e sui 3 cm si arriva a $30 \div 40$.

È chiaro che un aumento, ad esempio di 10 volte, nella F , equivale ad una diminuzione della potenza P di emissione nello stesso rapporto. Si comprende perciò come numerose ed approfondite ricerche siano state dedicate al problema di ridurre il fattore F .

Veramente, in alcune circostanze dell'impiego militare, l'intervento del disturbo nemico mette fuori causa il rumore interno. Vi sono però molti casi, nei quali si opera senza essere disturbati: allora il rumore interno rappresenta un grave inconveniente, poichè limita e confonde l'osservazione.

Ai livelli di 14 e di 30 unità avanti menzionati, il coefficiente di rumorosità si è ridotto in seguito alla introduzione dei convertitori di entrata a cri-

stallo, nei quali temperatura e tempo di transito hanno poca importanza. La realizzazione di convertitori elettronici meno rumorosi di quelli a cristallo è apparsa molto difficile; i tentativi sono quindi attualmente rivolti al fine di costruire tubi amplificatori capaci di lavorare sulle onde centimetriche con basso rumore, in modo da poter portare l'eco al convertitore dopo averlo adeguatamente rinforzato in uno o più stadi preamplificatori dotati di piccola rumorosità: in tal maniera, infatti, il rumore di conversione viene messo fuori causa.

In tal senso, i tubi ad onda viaggiante hanno fatto sorgere molte speranze. I risultati finora ottenuti appaiono però di interesse modesto, poichè il fattore di rumorosità dei tubi risulta dello stesso ordine di quello già conseguito per mezzo dei convertitori a cristallo. Non migliore appare la situazione per quanto riguarda i triodi del gruppo II-b.

Allo stato attuale, il problema di accrescere la portata del radar ad impulsi non appare pertanto suscettibile di soluzioni molto migliori di quelle ottenute nel corso degli ultimi dieci anni. Aumentare di molto la potenza di emissione sembra infatti, d'altro canto, cosa difficile, poichè le tensioni attualmente già usate non appaiono facilmente superabili. Giova comunque seguire con la più viva attenzione i tentativi di preamplificazione qui ricordati augurando un rapido successo: ridurre la F, ad esempio, da 40 a 4 unità sull'onda di 3 cm significherebbe invero accrescere la portata di ben

$\sqrt[4]{10} = 1,8$ unità.

Prospettive di maggiore interesse si presentano, per quanto riguarda la portata, nel campo dei radar ad onda continua. Ciò non solo per l'aumento della potenza dei generatori stabilizzati, di cui abbiamo già detto avanti, ma anche per le possibilità che si presentano in tema di riduzione del rumore. La maggior parte dei disturbi interni si presenta infatti qui sotto forma di modulazione di ampiezza, per cui è possibile attenuarli ricorrendo a processi di rivelazione capaci appunto di ridurre il rumore di ampiezza: uno di questi, elaborato in Italia durante la guerra, è basato sulla discriminazione di fase⁽¹³⁾. In ciò sta un ulteriore motivo per seguire con attenzione lo sviluppo di questa categoria di radar⁽¹⁴⁾.

⁽¹³⁾ A codesto procedimento per attenuare il rumore interno, contiamo di dedicare a parte una memoria di carattere specifico.

⁽¹⁴⁾ Converrà chiarire questo punto con un esempio numerico. Consideriamo a tal fine uno strumento, che sia dotato di trasmettitore da 10 kW su onda di 30 cm, realizzato con due tubi del tipo classificato al gruppo I-c del paragrafo 2, e supponiamo di essere riusciti a ridurre il coefficiente di rumore a 3 unità. Poichè la banda sufficiente alla ricezione per effetto Doppler su onda continua è di 3 kc/s, la potenza di rumore risulta di $1,5 \cdot 10^{-16}$ W. Posto un guadagno di antenna di 500 unità, si ricava dalla (7) una portata virtuale:

$$X = 341 \text{ km}$$

indubbiamente molto elevata, e perciò interessante da vari punti di vista, fra i quali quello della immunità verso i disturbi operati dal nemico.

6. - *Gli altri nuovi tubi riceventi.*

Fra i problemi, ai quali gli esperti radar hanno dedicato sempre speciale attenzione, figura quello di accrescere il potere separatore, allo scopo di migliorare il riconoscimento dei bersagli. Con l'avvento delle onde sui 3 cm, grandi progressi sono stati compiuti, poichè si è arrivati a ridurre l'angolo di copertura a 10 millesimi e la durata di impulso a 0,1 ms. L'ombra radar laterale a 10000 m si è così ridotta a 30÷50 m, e quella in profondità a 15 m. Con ciò è possibile anche l'apprezzamento dell'angolo di rotta di una grossa nave.

Per migliorare ulteriormente il potere separatore, occorrerebbe in primo luogo ridurre l'angolo di copertura, e poi anche diminuire la durata di impulso. I tentativi compiuti nella prima di queste direzioni, dei quali non ci occupiamo in questa sede, sembra non abbiano avuto finora molto successo. Siccome un vantaggio concreto di impiego può essere conseguito solo riducendo insieme ambedue le ombre, una diminuzione ulteriore della durata di impulso appare meno utile di come a prima vista potrebbe sembrare.

Vi sono però dei casi particolari di impiego, nei quali l'ombra laterale risulta molto piccola, e quindi la riduzione di quella in distanza porta un vantaggio effettivo. Ciò accade quando il bersaglio da osservare è vicino: a 2000 m infatti, con l'angolo di copertura detto innanzi, l'ombra laterale, che è circa proporzionale alla distanza, si abbassa a 6 m ed anche meno.

I nuovi pentodi francesi, classificati nel gruppo III-a del paragrafo 2, meritano in tal senso viva attenzione. Essi permettono infatti di costruire amplificatori con banda più larga in confronto a quelli attuali, anche fino a 100 Mc/s. Portando a questo valore la banda del ricevitore, è lecito ridurre la durata di impulso a 0,02 ms senza andare incontro a forti distorsioni. Con ciò l'ombra in distanza si riduce a 3 m, dando luogo a vantaggio notevole nel riconoscimento degli ostacoli vicini.

Oltre che da questo punto di vista, i pentodi in questione hanno interesse anche per la costruzione degli intercettatori e dei disturbatori radar per microonde. Nel primi è invero essenziale che la banda sia la più larga possibile, anche se ciò comporti un forte aumento di rumore: questo non rappresenta infatti un inconveniente, operandosi di regola l'intercettazione su segnali di alta intensità. Con una banda di 100 Mc/s, la ricerca dei segnali radar diviene relativamente agevole anche su frequenze dell'ordine di 10^{10} c/s. Anche nella costruzione dei disturbatori è utile avere amplificatori dotati di banda così larga: siffatti amplificatori rappresentano infatti sorgenti di rumore adatte allo scopo.

I transistori, che abbiamo ricordati nel gruppo III-b, potranno trovare impiego in molti organi del complesso a bassa frequenza, come i dispositivi per la scansione e quelli per le marche, contribuendo a ridurre il peso ed il volume degli apparati. Non si vede però qualche possibilità che essi influiscano sulle caratteristiche di impiego.

Il potere separatore, specie quando la presentazione è del tipo panoramico polare (P.P.I.), è le-

gato, oltre che alle caratteristiche della parte ad alta frequenza dello strumento, della quale ci siamo già innanzi occupati, anche alla finezza della traccia oscillografica, al « contrasto » dello schermo, ed alla legge con cui svaniscono le immagini. Benchè i risultati, che i tubi già nell'uso corrente danno, siano eccellenti, vi è ancora da perfezionare, specie per quanto riguarda il contrasto e la legge di scomparsa delle immagini: dipendente il primo dalla potenza del getto elettronico, e la seconda dalla struttura degli strati dello schermo. Le approfondite ricerche, alle quali con brillanti risultati si sono dedicati in questi ultimi anni i tecnici della televisione, danno in tal senso molto bene a sperare.

7. - *Conclusioni.*

I. - Nel campo dei tubi elettronici per microonde, si sono avuti ultimamente sviluppi, che hanno vivo interesse anche per gli specialisti radar. Tali sviluppi sono in prevalenza indirizzati verso gli scopi che seguono:

a) ottenere potenze rilevanti a regime continuo con frequenza stabilizzata;

b) abbassare il rumore di fondo in ricezione.

Mentre i progressi realizzati verso il primo di

tali fini sono rilevanti, verso il secondo non si sono compiuti passi degni di rilievo.

II. - La stabilizzazione delle frequenze ha rappresentato, in tutti i successivi stadi di evoluzione, che la radiotecnica ha percorso attraverso le gamme d'onda via via più corte, una fase di affinamento ricca di utili risultati. Perciò è da presumere che anche nella gamma delle microonde essa apra interessanti possibilità. Nel campo radar, tali possibilità riguardano la utilizzazione dell'effetto Doppler, la quale apre la via, tra l'altro, ad aumentare le portate e ad accrescere l'immunità verso i disturbi.

III. - Il fatto, di poter produrre elevate potenze a regime continuo con generatori modulabili in ampiezza, è cosa di alto interesse anche per la costruzione dei disturbatori.

IV. - Meritano inoltre attenzione i progressi, che si sono avuti in tema di amplificatori a larga banda, utili nei radar ad alto potere separatore e negli intercettatori, nonché quelli realizzati dai tubi oscillografici.

Ugo Tiberio

Livorno - Accademia Navale.

a Giancarlo Vallauri

Attuali possibilità scientifiche dei confronti di tempo a grandi distanze

Recenti esperienze hanno mostrato la possibilità di ottenere una certezza pratica del decimillesimo di secondo nei confronti di tempo a grandi distanze per mezzo di radiocollegamenti su onde corte. Tale risultato può avere interessanti applicazioni nel problema delle determinazioni di lungitudini ed in altri numerosi problemi scientifici.

Alla recente Assemblea Generale dell'U.R.S.I. (Union Radio Scientifique Internationale, Sidney, agosto 1952) ha avuto inattesa risonanza una comunicazione presentata dallo scrivente e da C. Egidi, sulle misure del tempo di propagazione di segnali orari su onda corta sul percorso Torino-Washington, che erano state effettuate nel maggio 1951 per iniziativa dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale e con la collaborazione del National Bureau of Standards americano e di altri vari laboratori esteri. Poiché tali misure avevano un carattere preliminare e orientativo, la presentazione aveva lo scopo di saggiare l'opportunità di proseguire ed estendere quelle esperienze, che avevano dato risultati iniziali assai incoraggianti, ma presentano qualche difficoltà di organizzazione, per la necessità di una vasta collaborazione internazionale.

I due punti più notevoli apparsi dalle prime esperienze sono:

a) che, nonostante le bizzarrie della propagazione ionosferica e la molteplicità dei cammini delle radioonde su un tratto così lungo, l'esame statistico

dei risultati ha mostrato l'attendibilità di una certezza pratica di un decimillesimo di secondo nel valore del tempo di propagazione, rilevato come media di un certo numero di osservazioni fatte nel corso di un minuto primo;

b) che il numero di « salti », cioè di successive riflessioni delle radioonde nella ionosfera nella loro propagazione da un estremo all'altro del percorso, sembra fosse circa doppio di quanto si pensa essere norma generale, in base ad altro genere di costatazioni derivate dall'ormai lunga pratica di comunicazioni su onde corte a grandi distanze.

Il secondo punto interessa essenzialmente gli specialisti di propagazione ionosferica e merita a parte una più estesa indagine per accertare la realtà vera dell'apparente contrasto, le cui ragioni restano per ora del tutto oscure.

Il primo punto invece apre più vaste e nuove prospettive nei più svariati campi di ricerca, poichè significa la possibilità di determinare, nel 99,5 % dei casi, con incertezza non superiore al decimillesimo di secondo la contemporaneità o la relazione