

Asupra circulației informației Doppler într-un sistem de telemetrie Doppler cu referențial fix activ

Drd. ing. Dan Gh. T. Popa
S.C. Auto Europa S.R.L. Timișoara

ABSTRACT: In this paper a technical solution for the Doppler telemetry sistem with active fixed referential is presented for motion estimation of a mobile with low moving-speed. The functioning of this system and the checking of the correctness of the technical solution chosen is made by the detailed signal analysis. This indicates the Doppler information circulation from the source up to the extraction of the two Doppler signals that indicates the motion's sense for the mobile, respectively, its moving-speed.

1 Introducere

În evaluările mișcărilor unor mobile cu viteze mari și costuri ridicate de realizare a mișcării – avioane sonice și supersonice, navete spațiale, sateliți ai pământului, se folosesc echipamente de telemetrie Doppler cu referențial fix pasiv. Aceste echipamente emit semnale de frecvențe foarte ridicate, peste 800 MHz; ele se reflectă de elemente fixe din spațiu (pământ) sau mobile (avioane, navete spațiale, sateliți) și prin recepția semnalului reflectat și prelucrarea acestuia, se extrage informația Doppler cu ajutorul căreia se determină caracteristicile mișcării și poziției mobilului față de un referențial fix [ALC89].

În anumite situații impuse de practica curentă, în sistemele hidroenergetice, în studiile ecologice de modificare de sol, în deltele râurilor mari și fluviilor, în robotică etc., apare necesitatea evaluării mișcării de viteze mici și costuri reduse. În aceste condiții, trebuia găsită o variantă de echipament mai simplă și mai puțin costisitoare; astfel a apărut

echipamentul de telemetrie Doppler cu referențial fix activ, preocupare a autorului [PT03], [Pop02].

Pe baza studiilor efectuate în [PT03] s-au fixat condițiile ce trebuie realizate de echipamentul de telemetrie Doppler cu referențial fix activ pentru obținerea informațiilor asupra mișcării cu viteză mică a unui anumit mobil. Aceste condiții sunt:

- semnalul electromagnetic produs de referențialul mobil RM și cel provenit de la referențialul fix activ RFA trebuie să fie de frecvențe diferite și sincrone între ele; deci, referențialul fix trebuie să producă o schimbare de frecvență din f_1 în f_2 ;
- cele două referențiale trebuie să lucreze în sistem duplex, pentru simplificarea echipamentului;
- să realizeze condițiile tehnice pentru extragerea informației Doppler – cu ajutorul căreia să se determine sensul de mișcare și valoarea vitezei de mișcare.

Aceste condiții sunt îndeplinite de structura prezentată în figura 1.

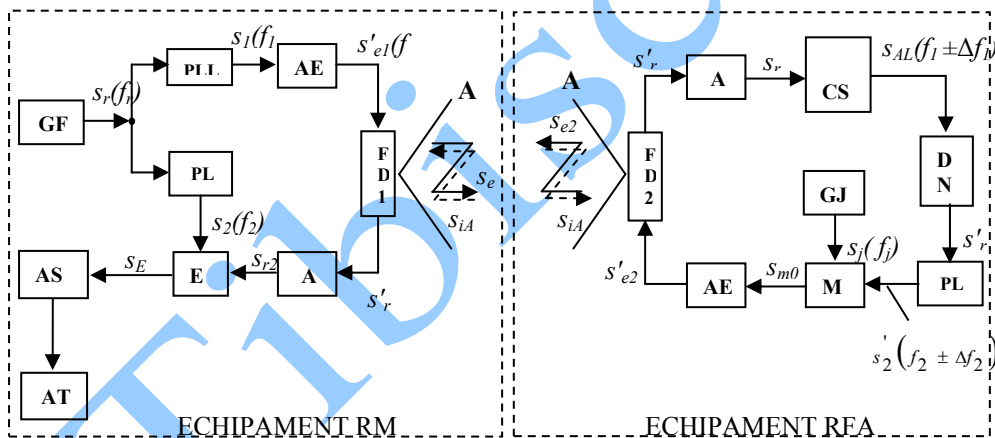


Fig. 1. Structura echipamentului de telemetrie Doppler cu referențial fix activ:

GF – generator de frecvență de referință; GJF – generator de semnal de joasă frecvență; PLL1, 2, 3 – sintetizoare de frecvențe; AE1, AE2 – amplificatoare de emisie; AR1, AR2 – amplificatoare de recepție; FD1, FD2 – filtre diplexoare; CS f_1 – circuit de selecție a frecvenței f_1 ; DN – divizor numeric de frecvență; MO – modulator BLD-PS; ED – extractor de semnal Doppler; ASD –

Funcționarea echipamentului este cel mai bine redată prin analiza detaliată de semnal; ea arată producerea informației Doppler și circulația informației Doppler în referențialul fix activ și în referențialul mobil.

2 Producerea primei informații Doppler

Generatorul GFR generează la ieșire semnalul de referință $s_r(f_r)$ cu frecvența $f_r = 10$ MHz, comună ambelor sintetizoare numerice de frecvență, PLL1 și PLL2. Cele două semnale generate de acestea, $s_1(f_1)$ și $s_2(f_2)$ cu $f_1 = 120$ MHz și $f_2 = 160$ MHz, sincrone între ele, sunt:

$$s_1(f_1) = A_1 \sin(2\pi f_1 t + \varphi) = A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi) \quad (1)$$

$$s_2(f_2) = A_2 \sin(2\pi f_2 t + \varphi) = A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi)$$

Semnalul $s_1(f_1)$ este amplificat în putere de amplificatorul emițător AE1, ținând cont de puterea necesară a fi emisă și de atenuările introduse de filtrul diplexor FD1 pentru frecvența f_1 , k_{FD11} , și, respectiv, de antena A1, k_{A11} , prin randamentul de emisie la frecvența f_1 , adică:

$$s'_{e1} = A'_{e1} \sin(\omega_1 t + \varphi) \quad (2)$$

$$s_{e1} = k_{FD11} k_{A11} A'_{e1} \sin(\omega_1 t + \varphi) = A_{e1} \sin(\omega_1 t + \varphi) \quad (3)$$

Semnalul radiat de antena A1 în mediul aer ajunge la antena A2 după ce:

- este supus atenuării datorită factorului de direcționalitate al antenei A1, k_{F11} ;
- este supus atenuării în aer datorită interacțiunii dintre mediul de propagare-aer și energia electromagnetică radiată, k_m ;
- este afectat de efectul Doppler prin deviația frecvenței cu

$$\Delta f_1 = -f_1 v/v_f, \quad \Delta \omega_1 = 2\pi \Delta f_1 \quad (4)$$

unde v este viteza de propagare a referențialului mobil față de cel fix, iar v_f este viteza de propagare a undei electromagnetice de frecvență f_1 în aer. Deviația Doppler de frecvență Δf_1 , respectiv, $\Delta \omega_1$, reprezintă informația Doppler.

Notând cu s_{iA2} semnalul ce atacă antena A2, rezultă:

$$s_{iA2} = k_{F11} k_m A_{e1} \sin[(\omega_1 \pm \Delta \omega_1)t + \varphi] + \sum_{k=1}^n s_{pk}(\omega_{pk} t + \varphi_{pk}) \quad (5)$$

În relația (5), prin indexarea cu "p" s-a notat faptul că este un semnal perturbator pentru semnalul cu frecvența f_1 iar prin indexarea cu "k" s-a notat numărul acestui semnal perturbator din câmpul de frecvențe oficiale din jurul valorii de 120 MHz.

Semnalul s_{iA2} este purtător de informație Doppler și, deci, producerea informației Doppler s-a realizat în mediul de propagare al undei electromagnetice s_{e1} dintre referențialul mobil RM și cel fix activ RFA. De asemenea, informația Doppler se produce și la propagarea undei electromagnetice s_{e2} între RFA și RM.

3 Circulația informației Doppler în referențialul fix activ

Semnalul s_{iA2} este afectat de atenuarea introdusă de antena A2 pentru frecvența f_1 , k_{A21} și de atenuarea introdusă de filtrul diplexor FD2 pentru semnal de frecvență f_1 , k_{FD21} , și, ca urmare, ia forma:

$$s'_{r1} = k_{A21} k_{FD21} k_{F11} k_m A_{e1} \sin[(\omega_1 \pm \Delta\omega_1)t + \varphi] + k_{A2k} k_{FD2k} \sum_{k=1}^n s_{pk}(\omega_{pk}t + \varphi_{pk}) \quad (6)$$

Notând $k_{A21} k_{FD21} k_{F11} k_m A_{e1} = A'_{r1}$ și ținând cont de amplificarea realizată de AR1, semnalul s_{r1} poate fi scris sub forma:

$$s_{r1} = A_{r1} \sin[(\omega_1 \pm \Delta\omega_1)t + \varphi] + k_{A2k} k_{FD2k} \sum_{k=1}^n s_{pk}(\omega_{pk}t + \varphi_{pk}) \quad (7)$$

În relațiile (6) și (7) s-a notat cu k_{A2k} și k_{FD2k} atenuările introduse de antena A2, respectiv, de filtrul diplexor FD2, pentru semnalele perturbatoare de pulsație ω_{pk} .

Amplificatorul receptor AR1 trebuie reglat ca sensibilitate pentru a asigura recepționarea doar a semnalului de pulsație ω_1 . Semnalele de pulsație ω_{pk} suferă atenuări mai mari introduse de către FD2 decât semnalul util de pulsație ω_1 și s-ar putea ca raportul putere de semnal util pe putere de semnal perturbator să fie mai mare ca unitatea, ceea ce conduce la ușurarea curățirii de semnale parazite chiar de către amplificatorul receptor AR1.

Chiar și în acest caz, semnalul recepționat nu este curat și, ca urmare, în schimbarea de frecvență din f_1 în f_2 , semnalul ar cuprinde și resturi din frecvențele parazite. Acestea deranjează definitiv în obținerea frecvenței de referință pentru PLL3. Din această cauză, semnalul la intrarea schimbătorului de frecvență trebuie bine curățat de semnalele parazite. Acest semnal curat, dependent doar de f_1 poate fi folosit pentru realizarea tensiunii de referință al sintetizorului de frecvență realizat cu PLL3. Acesta

este rolul blocului funcțional CSF f_i , circuit de selecție a frecvenței f_i , a cărei structură este dată în figura 2.

Pentru eliminarea semnalelor parazite se folosește tehnica amplificatorului trece-bandă cu bandă de trecere îngustă, de câțiva kHz, capabil a rejecta semnalele parazite existente în câmpul oficial de frecvențe, în jurul valorii $f_i = 120$ MHz. Aceasta se poate face pentru o frecvență intermediară de $f_i = 10$ MHz [2]. Rezultă deci necesitatea unei frecvențe suplimentare $f_x = 110$ MHz și a unui modulator tip BLU-PS, adică, modulator cu suprimarea purtătoarei și livrarea benzii laterale unice, stânga sau dreapta. Realizarea benzii laterale unice se face cu circuite de filtrare trece-jos, FTJ, sau cu circuite de filtrare trece-sus, FTS [MDS01], [NCI95].

Pentru început, se selectează banda laterală stângă, iar semnalul rezultat se trece prin amplificatorul trece-bandă, ATB. Pentru a reveni la semnalul de frecvență de 120 MHz, semnalul de la ieșirea amplificatorului trece-bandă este mixat în M2 cu semnalul suplimentar de frecvență f_x , după cum se vede în figura 2.

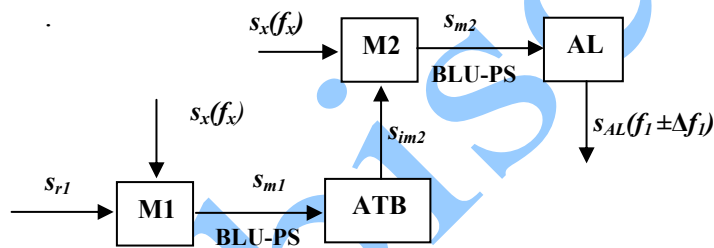


Fig. 2. Structura circuitului de selecție a frecvenței f_i – CSF f_i : M1, M2 – modulatori BLU cu suprimarea purtătoarei; ATB – amplificator trece-bandă; AL – amplificator limitator.

Modulatorul M2 este de asemenea de tipul BLU-PS ca și modulatorul M1, numai că de data aceasta banda laterală unică este cea din dreapta.

Având în vedere că la modulatorul M1 purtătoarea este s_{r1} , (v. relația (7)), iar semnalul s_x este de forma:

$$s_x = A_x \sin(\omega_x t + \varphi_x), \quad (8)$$

și notând

$$k_{A2k} k_{FD2k} \sum_{k=1}^n s_{pk}(\omega_{pk} t + \varphi_{pk}) = \sum_{k=1}^n A_{prk} \sin(\omega_{pk} t + \varphi_{pk}), \quad (9)$$

semnalul la ieșirea modulatorului M1, s_{m1} , este de forma:

$$s_{m1} = A_{m1} \sin[(\omega_l - \omega_x)t \pm \Delta\omega_l t + \varphi - \varphi_x] + \sum_{k=1}^n A'_{prk} \sin[(\omega_{pk} - \omega_x)t + \varphi_{pk} - \varphi_x] \quad (10)$$

Amplificatorul trece-bandă elimină semnalele de pulsații $(\omega_{pk} - \omega_x)$ și, ca urmare, la intrarea celui de-al doilea modulator, M2, avem semnalul s_{im2} :

$$s_{im2} = A_{im2} \sin[(\omega_l - \omega_x)t \pm \Delta\omega_l t + \varphi - \varphi_x] \quad (11)$$

Considerând ca semnal purtător la modulatorul M2 semnalul s_x , la ieșirea modulatorului M2 și filtrului corespunzător se obține semnalul:

$$s_{m2} = A_{m2} \sin[(\omega_l - \omega_x)t + \omega_x t \pm \Delta\omega_l t + \varphi - \varphi_x + \varphi_x] = A_{m2} \sin[(\omega_l \pm \Delta\omega_l)t + \varphi] \quad (12)$$

În figura 3 sunt prezentate spectrele de frecvență pentru semnalul de la ieșirea modulatorului M1, s_{m1} , (fig. 3.a) și, respectiv, de la ieșirea modulatorului M2, s_{m2} , (fig. 3.b). În figura 3.a s-a evidențiat numai unul din semnalele perturbatoare.

Din relațiile (11) și (12) se observă că primul modulator este cu BLU-S, adică cu banda laterală stânga, iar al doilea modulator este cu BLU-D, adică cu bandă laterală dreapta, ceea ce permite refacerea pulsației ω_l .

Semnalul s_{m2} atacă amplificatorul limitator AL cu rolul de eliminare a eventualelor semnale cu frecvențe de intermodulație. Semnalul obținut la ieșirea acestuia este un semnal de undă dreptunghiulară a cărei pulsație fundamentală este $(\omega_l \pm \Delta\omega_l)$, adică:

$$s_{AL} = A_{AL} \sin[(\omega_l \pm \Delta\omega_l)t + \varphi] \quad (13)$$

A doua armonică a semnalului s_{AL} este de ordinul trei și printr-o filtrare tip FTJ se separă semnalul fundamental de armonica a treia și de componenta continuă. Semnalul undă dreptunghiulară, prin divizorul numeric DN, este divizat ca frecvență de N_l ori, astfel că

$$f_l / N_l = f_r, \quad (14)$$

unde f_r este frecvența de referință a sintetizoarelor de frecvență cu PLL1 și PLL2 din echipamentul de pe referențialul mobil.

Prin sintetizorul de frecvență cu PLL3, identic cu PLL2 de pe referențialul mobil, se obține semnalul s'_2 de forma:

$$\begin{aligned}
 s_2' &= A_2' \sin\left[\left(2\pi \frac{f_1}{N_1} N_2 \pm 2\pi \Delta f_1 \frac{N_2}{N_1}\right)t + \varphi\right] \\
 &= A_2' \sin\left[\left(2\pi f_2 \pm 2\pi \Delta f_1 \frac{f_2}{f_1}\right)t + \varphi\right]
 \end{aligned} \tag{15}$$

în care N_2 este introdus de PLL3 astfel ca $f_1 N_2 / N_1 = f_2$.

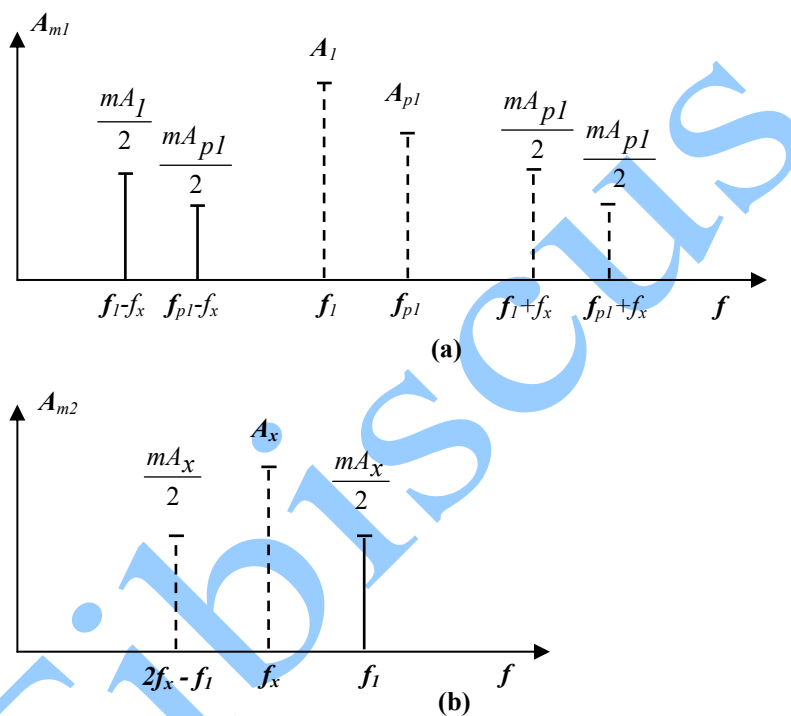


Fig. 3. Spectrul de frecvențe:
(a) la ieșirea modulatorului M1;
(b) la ieșirea modulatorului M2.

Pe baza relației fundamentale a efectului Doppler

$$\Delta f = -f \frac{v}{v_f} \text{ când } -0.02 < v/v_f < +0.02 \tag{16}$$

unde “ v ” este viteza de deplasare a referențialului mobil și “ v_f ” - viteza de propagare a unei electromagnetice de frecvență f în aer, rezultă:

$$2\pi\Delta f_1 \frac{f_2}{f_1} = 2\pi(-f_1 \frac{v}{v_f}) \frac{f_2}{f_1} = 2\pi(-f_2 \frac{v}{v_f}) = \Delta\omega_2 \quad (17)$$

Înlocuind (17) în expresia semnalului s'_2 din relația (15), se obține:

$$s'_2 = A'_2 \sin(\omega_2 t \pm \Delta\omega_2 t + \varphi), \quad (18)$$

semnal sincron cu $s_2(f_2)$ și $s_1(f_1)$ din echipamentul de pe RM.

Modalitatea tehnică de realizare a sincronismului celor trei semnale $s_1(f_1)$, $s_2(f_2)$, $s'_2(f_2)$, precum și cea de materializare a identității celor două frecvențe f_2 din ultimele două semnale, constituie contribuții ale autorului.

O problemă deosebit de importantă este aceea de a găsi modalitatea teoretică și apoi tehnică de a separa semnalul Doppler, adică semnalul, sinusoidal sau cosinusoidal, ce are în argument numai deviația Doppler de frecvență. Pentru aceasta sunt necesare câteva informații practice cu privire la valoarea acestei deviații. În acest scop, se admite că un vehicul terestru, sau naval, se poate mișca cu viteze între 5 km/oră și 220 km/oră. Aceasta înseamnă că $1,4 \text{ m/s} \leq v \leq 62 \text{ m/s}$.

La o viteză de propagare în aer a undei electromagnetice de $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ se constată îndeplinirea condiției din relația (16) și, ca urmare, se poate calcula deviația de frecvență Doppler cu relația fundamentală a efectului Doppler cu unde electromagnetice. La un semnal de frecvență $f_2 = 1,6 \cdot 10^8 \text{ Hz}$, rezultă o deviație de frecvență Doppler $0,75 \text{ Hz} \leq \Delta f' \leq 33 \text{ Hz}$, deci valori extrem de mici comparativ cu frecvența purtătoare, f_2 .

Separarea acestei deviații Doppler față de frecvența purtătoare este practic imposibilă fără un artificiu teoretic și evident cu posibilitate de transpunere practică. Concomitent, în forma actuală, este imposibil a determina semnul deviației (axarea deviației Doppler de frecvență) și deci nu se poate stabili sensul de mișcare (de apropiere sau de depărtare) al RM față de RFA.

Dacă semnalul s'_2 este modulată în amplitudine cu un semnal de joasă frecvență $s_j(f_j)$, la care $\Delta f_{med} \cong 10 \text{ Hz}$ nu este foarte mic comparativ cu f_j , atunci $(f_j - \Delta f_{med})$ și $(f_j + \Delta f_{med})$ sunt valori distincte ce pot indica clar sensul de mișcare. Spunem că, prin f_j se poate face axarea deviației Doppler de frecvență. Concomitent însă, se poate realiza practic și separarea deviației Doppler de frecvența f_j .

Se completează schema echipamentului de pe referențialul fix activ cu un generator de joasă frecvență GFJ, de mare stabilitate în timp și cu variația temperaturii a frecvenței generate, și cu un modulator M0 tip BLD-

PS. Semnalul de la ieșirea acestui modulator (în varianta de multiplicator analogic) este:

$$s_{m0} = s_j \cdot s'_2 = A_{m0} \sin(\omega_2 t \pm \Delta\omega_2 t + \omega_j t + \varphi + \varphi_j) + \\ + A_{m0} \sin(\omega_2 t \pm \Delta\omega_2 t - \omega_j t + \varphi - \varphi_j) \quad (19)$$

cu $s_j = A_j \sin(\omega_j t + \varphi_j)$

Acest semnal este amplificat de AE2, trecut prin filtrul diplexor FD2 și radiat apoi de antena A2 în mediul aer, direcționat către referențialul mobil. Trecând prin FD2 suferă atenuarea k_{FD22} , iar în antenă suferă o atenuare și datorită randamentului antenei, k_{A22} [4]. În aceste condiții

$$s_{e2} = k_{FD22} \cdot k_{A22} \cdot s'_{e2}, \quad \text{unde } s'_{e2} = k_{AE2} \cdot s_{m0} \quad (20)$$

Semnalul s_{e2} radiat de antena A2 are frecvența

$$f'_2 = f_2 \pm f_j \pm \Delta f_2 \quad (21)$$

Ținând cont de notația

$$k_{FD22} \cdot k_{A22} \cdot k_{AE2} \cdot A_{m0} = A_{e2}$$

se obține:

$$s_{e2} = A_{e2} \sin(\omega_2 t \pm \Delta\omega_2 t + \omega_j t + \varphi + \varphi_j) + \\ + A_{e2} \sin(\omega_2 t \pm \Delta\omega_2 t - \omega_j t + \varphi - \varphi_j) \quad (22)$$

4 Producerea informației Doppler totale

La trecerea prin mediul aer și până ajunge la antena A1, semnalul $s_{e2}(f'_2)$ suferă următoarele influențe:

- efectul Doppler manifestat prin informația Doppler totală

$$\Delta f'_2 = \Delta f_2 \mp \Delta f_j \mp \Delta(\Delta f_2) \quad (23)$$

- o atenuare k_m datorită interacțiunii undei electromagnetice cu mediul de propagare aer [Nic63];

- o atenuare datorită factorului de directivitate al antenei A2, k_{j2} [Nic63];

- suprapunerea unor semnale parazite din câmpul oficial de frecvențe, $s_{pk}(\omega_{pk}t + \varphi_{pk})$.

Înainte de a stabili expresia semnalului ce este captat de antena A1 de pe referențialul mobil, se analizează, în cele ce urmează, efectul Doppler asupra semnalului de frecvență f_2' . Avem:

$$|\Delta f_2| = f_2 \frac{v}{v_f}; \quad |\Delta f_j| = f_j \frac{v}{v_f}; \quad |\Delta(\Delta f_2)| = \Delta f_2 \frac{v}{v_f} \quad (24.a)$$

$$\frac{|\Delta f_j|}{|\Delta f_2|} = \frac{f_j}{f_2} = \frac{4 \cdot 10^2}{1,6 \cdot 10^8} = 2,5 \cdot 10^{-6} \quad (24.b)$$

$$\frac{|\Delta(\Delta f_2)|}{|\Delta f_2|} = \frac{\Delta f_2}{f_2} = \frac{33}{1,6 \cdot 10^8} = 20,6 \cdot 10^{-8} \quad (24.c)$$

În calculele de mai sus s-a considerat $f_j = 400$ Hz și deviația Doppler maximă calculată pentru viteza de deplasare a unui vehicul terestru. Pe baza valorilor de mai sus, se poate aprecia că deviațiile Doppler pentru f_j și $\Delta(\Delta f_2)$ sunt extrem de mici față de Δf_2 și se pot neglija.

Ținând cont de influențele expuse și de relațiile (23), (24), semnalul ce atacă antena A1 este de forma:

$$\begin{aligned} s_{iA1} = & k_{f2} \cdot k_m \cdot A_{e2} \sin(\omega_2 t \pm 2\Delta\omega_2 t + \omega_j t + \varphi + \varphi_j) + \\ & + k_{f2} \cdot k_m \cdot A_{e2} \sin(\omega_2 t \pm 2\Delta\omega_2 t - \omega_j t + \varphi - \varphi_j) + \\ & + \sum_{k=1}^n s_{pk}(\omega_{pk} t + \varphi_{pk}) \end{aligned} \quad (25)$$

Se observă că informația Doppler totală este de fapt dublul deviației Doppler de frecvența f_2 , adică $\pm 2\Delta\omega_2$.

5 Circulația informației Doppler în referențialul mobil

Semnalul s_{iA1} este captat de antena A1, cu atenuarea k_{A12} , este transmis la filtrul diplexor FD1, trece prin acesta cu atenuarea k_{FD12} și atacă amplificatorul receptor AR2 sub forma:

$$s'_{r2} = k_{A12} \cdot k_{FD12} \cdot s_{iA1} \quad (26)$$

Indicele 2 la aceste atenuări se referă la faptul că este vorba de semnalul de frecvența f_2 .

Semnalul ce atacă extractorul de semnal Doppler este semnalul $s'_{r,2}$ amplificat prin AR2, un amplificator cu bandă de trecere de aproximativ 1 MHz, capabil de a atenua la valori neglijabile semnalele perturbatoare $s_{pk}(\omega_{pk}t + \varphi_{pk})$. Se poate aprecia că:

$$s_{r,2} = A_{r,2} \sin(\omega_2 t + \omega_j t \pm 2\Delta\omega_2 t + \varphi + \varphi_j) + \\ + A_{r,2} \sin(\omega_2 t - \omega_j t \pm 2\Delta\omega_2 t + \varphi - \varphi_j) \quad (27)$$

Acest semnal este prelucrat de extractorul de semnal Doppler, care generează către analizorul de semnal Doppler ASD un semnal pentru indicarea apropierii sau depărtării referențialului mobil de referențialul fix activ și un semnal sinusoidal sau cosinusoidal cu argument dependent numai de deviația Doppler de frecvență. Pe baza acestor semnale, ASD furnizează informații cu privire la caracteristicile mișcării referențialului mobil.

6 Concluzii

Producerea și circulația informației Doppler prin echipamentul electronic de pe referențialul fix activ și referențialul mobil arată că:

- informația Doppler este datorată numai mișcării referențialului mobil;
- axarea informației Doppler cu f_j permite determinarea unui semnal Doppler, ce are ca argument $(\omega_j \pm \Delta\omega_2)$, ce indică sensul mișcării referențialului mobil față de cel fix;
- datorită frecvenței joase f_j se poate determina un semnal Doppler, funcție numai de informația Doppler $\Delta\omega_2$, ceea ce permite determinarea vitezei de mișcare;
- sistemul de telemetrie Doppler prezentat în figura 1 corespunde scopului propus, de a evalua mișcarea unui anumit mobil în condițiile unui mediu de propagare poluat, atât cu informații Doppler nedorite cât și cu semnale de frecvențe parazite.

Bibliografie

- [ALC89] **I. Aron, R. Lungu, C. Cișmariu**, *Sisteme de navigație aerospațială*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1989.
- [MDS01] **A. Mateescu, N. Dumitriu, L. Stanciu**, *Semnale și sisteme. Aplicații în filtrarea semnalelor*, Editura Teora, București, 2001.

- [NCI95] **I. Naforniță, A. Câmpeanu, A. Isar**, *Semnale, circuite și sisteme*, Editura Politehnică, Timișoara, 1995.
- [Nic63] **E. Nicolau**, *Antene și propagare*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1963.
- [PT03] **D. Gh. T. Popa, C. I. Toma**, *On the study of the motion with Doppler systems with active fixed referential*, Acta Tehnica Napocensis. Electronics and Telecommunications, Vol.43, Nr.3, 2003.
- [Pop02] **D. Gh. T. Popa**, *Contributions regarding the electronic Doppler telemetry equipment with active fixed referential*, PROCEEDINGS of the Symposium on Electronics and Telecommunications “ETc 2002”, Vol. 2, Pg. 35-39, Timișoara, 2002.

Tibiscur