

ОТНОСНО РАБОТАТА НА СИСТЕМИТЕ ЗА БЛИЗКА РАДИОЛОКАЦИЯ, ИЗПОЛЗВАЩИ НЕПРЕКЪСНАТ ЧЕСТОТНО МОДУЛИРАН СОНДИРАЩ СИГНАЛ

Пламен Трендафилов

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: ptrendafilov@space.bas.bg*

Ключови думи: автодин, системи за близка радиолокация.

Abstract: *Using linear idealization of static modulation characteristics of the transistor avtodin, an analysis of the work of the avtodin is carried out, presenting it as mixture of drilling and reflected signals. It is shown that at a sufficiently shallow parasitic modulation and sinusoidal modulating signal, the nature of the outlet signal is not significantly different from that in the absence of parasitic modulation. The conclusion is verified experimentally. Recommendations have been made to synthesize the system.*

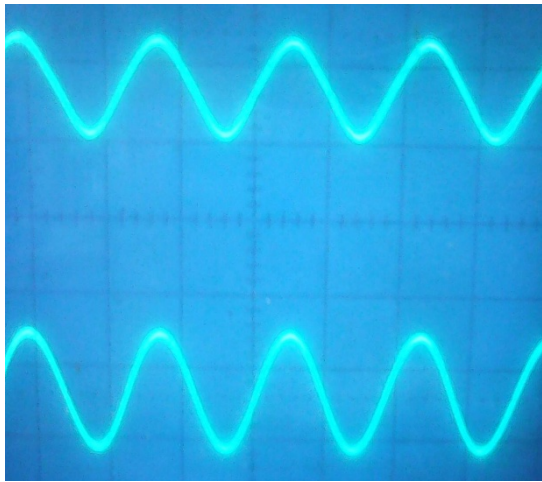
Съществува клас от системи за близка радиолокация, които в качеството на сензор използват автодин. Те намират широко приложение поради това, че автодинът представлява най-простото съвместяване на радиопредавателно и радиоприемно устройство. Той по същество е самоосцилираща система, която е достатъчно силно свързана с антена и така реагира на промените в околната среда. За по-пълно удовлетворяване на нарастващите изисквания за относителна стабилност и управление на височината, на която те да реагират, се налага работа с честотно модулиран сондиращ сигнал.

Детаилната нелинейна теория на автодините в условията на тяхното приложение е сложна и непрегледна за практически цели. Според квазилинейната теория [1] установените трептения на автогенераторите се дефинират от т.н. уравнения за „баланса на амплитудите“ и за „баланса на фазите“. Първото дефинира амплитудата на трептенията, а второто – тяхната честота. Практически всяка промяна в параметрите на трептящата система води до промяна, както на честотата, така и на амплитудата на генерираните трептения. При автодините такава промяна може да доведе и до промяна на тяхната радиочестотна чувствителност, което допълнително усложнява работата на СБРЛ.

В теорията на близката радиолокация [2] е разгледано приложението на честотно модулираните сондиращи сигнали в идеализирани условия, които на практика трудно се постигат, особено при работа с автодинни сензори. В [3] с използване на символическите окъсени уравнения е представен анализ на честотно модулиран автодин, който води до изводи относно оптималния работен режим и до характера на изходния сигнал. Направените изводи са важни за проектирането на системата, но изискват по-конкретно практическо изясняване.

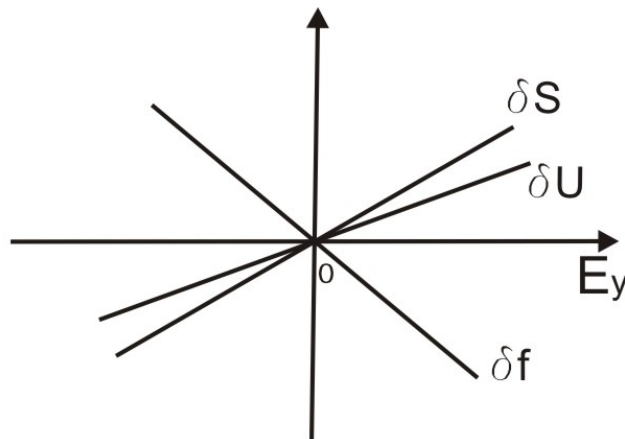
Принципно погледнато т.к. изходният сигнал на автодинния сензор в реални условия съдържа силна компонента от паразитна амплитудна модулация (ПАМ), а освен това и зависи от чувствителността му, предварително не е ясно какъв ще е характерът на сигнала при промяна на височината. Очевидно, ако изходният сигнал съдържа паразитни компоненти, това може да доведе до проблеми в определяне на достигнатата височина. Такава ситуация ще се получи, ако модулиращият сигнал има сложен спектър и ако модулационните характеристики на сензора са дълбоко нелинейни. Така се стига до извода, че модулиращият сигнал трябва да е максимално близък до синусоида.

В лабораторни условия е изследван транзисторен автодин, който е построен съгласно горните изисквания. В него честотната модулация се извършва с варицап, а изходният сигнал се получава след амплитудно детектиране на генерираните трептения чрез транзисторна схема. На Фиг.1 са показани осцилограми на изходния сигнал (горе) и на модулиращия сигнал (долу). В случая изходният сигнал е следствие на паразитната амплитудна модулация и е практически хармоничен, което означава, че модулационният процес е практически линеен.



Фиг. 1

На Фиг. 2 са представени идеализирани статични модулационни характеристики (СМХ), отговарящи на получените експериментални резултати.



Фиг. 2

Посредством δf и δU са обозначени промените в честотата и амплитудата на трептенията, а с δS – промените на чувствителността.

Ако се приеме, че модулацията е линейна, може да се направи нагледен анализ на работата на системата. Така, ако в качеството на модулиращ сигнал се използва синусоида със честота Ω_M то съгласно Фиг.2 може да се запише :

- честотата на генерираните трептения ще се изменя по закона

$$(1) \quad \omega = \omega_0 + \Delta\omega \sin \Omega_M t$$

като ω_0 е честотата при $E_y = E_{y0}$, а $\Delta\omega$ е дивияция ;

- амплитудата на генерираните (опорните) трептения ще се изменя по закона

$$(2) \quad U_{оп} = U_{оп0} (1 - m_U \sin \Omega_M t)$$

Допълнително се приема, че радиочестотната чувствителност се изменя по закона :

$$(3) \quad S = S_0 (1 - m_S \sin \Omega_M t)$$

като $U_{оп0}$ и S_0 са амплитуда и чувствителност при $E_y = E_{y0}$, а m_U и m_S са коефициенти на паразитната модулация по опорно напрежение и по чувствителност.

Когато е налице отразен сигнал с амплитуда U_C , изходният сигнал се получава от смесването на опорния и приетия отразен сигнал :

$$(4) \quad U_{\text{ИЗХСМ}}(t) = \beta(t) S_0 U_{\text{ОПО}} U_{\text{СО}} (1 - m_S \sin \Omega_M t) \cdot (1 - m_U \sin \Omega_M t) \cdot [1 - m_U \sin \Omega_M (t - \tau)] \cdot \sin[\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega_M} \sin \Omega_M t] \cdot \sin[\omega_0(t - \tau) + \frac{\Delta\omega}{\Omega_M} \sin \Omega_M (t - \tau)]$$

Тук:

$\beta(t)$ – обобщена величина, свързана с параметрите на антената, ъгълът на падане, отражателните свойства на грунда и разстоянието до целта. С течение на времето $\beta(t)$ се променя обратно пропорционално на разстоянието до целта ,

$U_{\text{СО}}$ – приведена амплитуда на отразения сигнал при $E_y = E_{y0}$.

S_0 – чувствителност при $E_y = E_{y0}$.

$\tau = \frac{2r}{c}$ – време на закъснение на отразения сигнал ,

r – разстояние до целта ,

c – скорост на светлината.

Тъй като $\tau \ll T_M = \frac{2\pi r^2}{\Omega_M}$, за $m_U \ll 1$ може от (4) да се получи следният опростен израз:

$$(5) \quad \frac{U_{\text{ИЗХСМ}}(t)}{\beta(t) S_0 U_{\text{ОПО}} U_{\text{СО}}} \approx [1 - (2m_U + m_S) \sin \Omega_M t] \cdot a(t)$$

Съответно

$$(6) \quad a(t) = \sin[\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega_M} \sin \Omega_M t] \cdot \sin[\omega_0(t - \tau) + \frac{\Delta\omega}{\Omega_M} \sin \Omega_M (t - \tau)]$$

По такъв начин се оказва, че в случая полезният сигнал има две основни съставни :

$$(7) \quad U_{\text{ИЗХСМ}}(t) \approx \beta(t) S_0 U_{\text{ОПО}} U_{\text{СО}} [a(t) + b(t)],$$

като $b(t) = - [(2m_U + m_S) \sin \Omega_M t]$.

Първата съставна отразява работата на автодина без ПАМ, а втората дава представа за влиянието на ПАМ върху спектъра на сигнала.

Спектърът на $a(t)$ е известен от [2] и при изменение на разстоянието до целта със скорост v се представя с израза :

$$(8) \quad a(t) = J_0(x) \cos(\Omega_D t - \omega_0 \tau_0) - J_1(x) \{ \sin[(\Omega_M - \Omega_D) t + \omega_0 \tau_0] - \sin[(\Omega_M + \Omega_D) t - \omega_0 \tau_0] \} + J_2(x) \{ \cos[(2\Omega_M - \Omega_D) t + \omega_0 \tau_0] + \cos[(2\Omega_M + \Omega_D) t - \omega_0 \tau_0] \} - J_3(x) \{ \cos[(3\Omega_M - \Omega_D) t + \omega_0 \tau_0] + \cos[(3\Omega_M + \Omega_D) t - \omega_0 \tau_0] \} \dots$$

Съответно :

$$x = \frac{2\Delta\omega}{\Omega_M} \cdot \sin \frac{\Omega_M \tau}{2} \approx \Delta\omega \tau,$$

$$r = r_0 - vt,$$

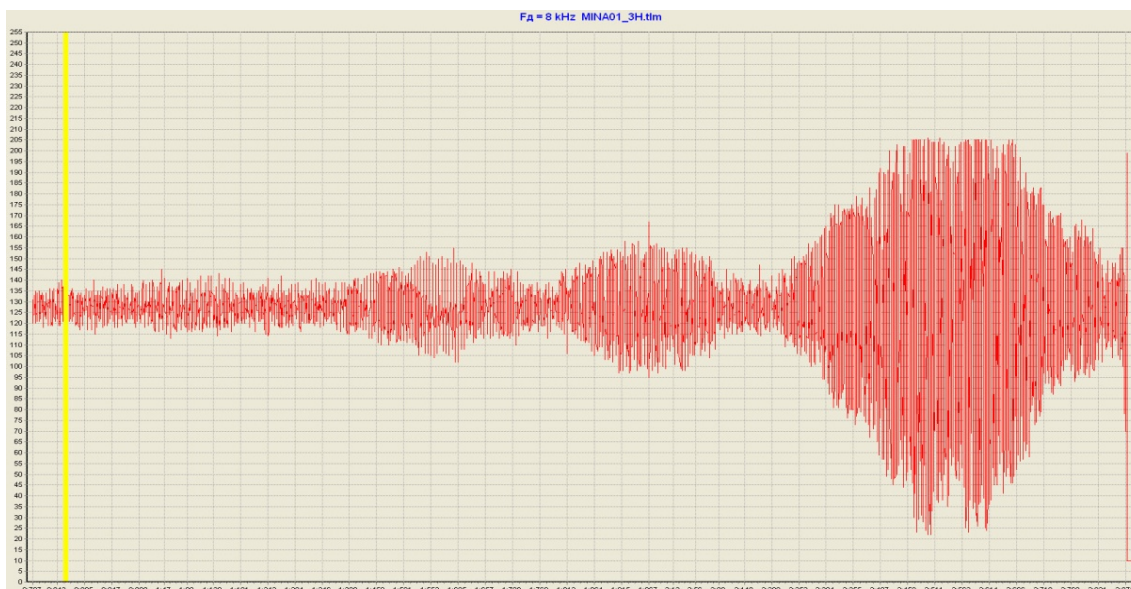
$$\tau = \frac{2r_0}{c} - \frac{2vt}{c} = \tau_0 - \frac{2vt}{c},$$

$J_0, J_1, J_2, J_3 \dots J_n$ – функции на Бесел от първи род с аргумент x ,

$$\Omega_D = \frac{2\omega_0 v}{c} - \text{Доплерова честота} .$$

Спектърът на $b(t)$ има сложен състав, но в общи линии съвпада със спектъра на $a(t)$, като изходният сигнал допълнително е модулиран по амплитуда с честота Ω_M . Съгласно (4), ако паразитната модулация е по-силна, ще се появи допълнителна паразитна компонента с честота $2\Omega_M$, т.к. $\sin \Omega_M t \cdot \sin \Omega_M t = 1 - \frac{1}{2} \cos 2\Omega_M t$. Затова не е желателно да се използва втора хармонична .

С помощта на дрон и цифрово записващо устройство бе проверена зависимостта на третата хармонична на изходния сигнал на автодина от разстоянието до целта (височината). На Фиг.2 е представен запис на сигнала в реални условия.



Фиг. 3

При експеримента модулацията се извършваше с девиация $\Delta f = 10 \text{ MHz}$, което отговаря на т.н. “дължина на модулационната вълна” $\lambda_M = \frac{c}{\Delta f} = 30 \text{ m}$. От записа се вижда, че промяната на амплитудата на изходния сигнал добре отговаря на теоритичните зависимости (т.е. – на функциите на Бесел) и не се наблюдава значително вредно влияние на ПАМ . Необходимо е да се подчертае, че получените добри резултати са следствие на използването на синусоидален модулиращ сигнал и практическа линейност на СМХ.

От направените до тук разсъждения може да се стигне до следните по-важни **изводи и препоръки**:

1. В спектъра на изходния сигнал присъства много силна паразитна компонента с модулационната честота Ω_M , което налага вземане на сериозни мерки за нейното филтриране преди входа на усилвателя на полезния сигнал. В противен случай усилвателят може да навлезе в нелинеен режим и да започне да генерира изключително вредни хармонични.

2. За честоти $n\Omega_M$, където $n = 2, 3, \dots$ допълнително се появяват паразитни компоненти, които са пренесени от спектъра на управляващия сигнал или са следствие на нелинейни процеси в автодина. Тези компоненти са особено вредни, т.к. директно внасят шум от източника на управляващия сигнал, а при голяма собствена амплитуда могат да подавят полезния сигнал. Налага се използването на модулиращ източник с минимално ниво на хармоничните и нисък собствен шум, а автодинът да има максимално близки до линейните модулационни характеристики.

3. За най-добри резултати обработката на сигнала трябва да е цифрова, като се търси и открива стръмният участък на основния лист. Така ще се постигне по-добра стабилност на височината на задействане на системата в условията на променящи се отражателни свойства на земната повърхност [4].

Литература:

- 1.Зернов, Н. В., Карпов В. Г. Теория радиотехнических цепей Л. "Енергия" 1972.
2. Коган, И. М. Ближняя радиолокация (теоритические основы) . М. „Сов. радио”. 1973.
3. Смольский, С. М. Некоторые вопросы теории и расчета частотно-модулированных автодинных систем ближней радиолокации. Доклад ЦИНТИ.
4. Трендафилов, П., С. Танев, П. Генов. "Метод за стабилизиране на височината на разрывите при радиовзривателите" Юбилейна научна конференция "100 години авиационно образование в България" 9-10 октомври . Д. Митрополия 2014.