

## ОТНОСНО РАБОТАТА НА ЧЕСТОТНО МОДУЛИРАНИТЕ ТРАНЗИСТОРНИ АВТОДИНИ

Пламен Трендафилов

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките  
e-mail: pl\_trendafilov@abv.bg*

**Ключови думи:** *autodyne, modulation of signals*

**Резюме:** *The operation of transistor's frequency modulated autodine has been explored. Practically, the static modulation characteristics of the proposed transistor's autodine have been described. Conclusions and recommendations were made for the design and build-in in the short range radiolocation systems.*

Автодинът намира широко приложение в системите за близка радиолокация (СБРЛ) преди всичко поради това, че 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. На практика широко приложение намират относително прости схемни решения.

Теоритично (според квазилинейната теория) установените трептения на автогенераторите се дефинират от т.нар. 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 амплитудата, така и на честотата на генерираните трептения. За разлика от т.нар. „задаващи генератори“, където се цели стабилност на параметрите на трептенията в условията на променящи се околна и вътрешна среда, при автодините целта е те ефективно да реагират на тези промени. Това се постига, както посредством подходящо построяване на трептящата система (включване на антена), така и чрез подбиране на съответен работен режим. Детайлната нелинейна теория на автодините в условията на тяхното приложение е изключително сложна и непрегледна за практически цели.

Принципно погледнато е ясно, че при осъществяване на каквато и да е модулация в автогенераторите неминуемо се получава управление както на амплитудата, така и на честотата на генерираните трептения. Тук още трябва да се има предвид и това, че автогенераторите са инерционна нелинейна система и при управление на режима им реагират с определено закъснение.

Така се очертават важни въпроси, на които конструкторът да търси решение с възможностите на разполагаемата апаратура и данните за използваните прибори:

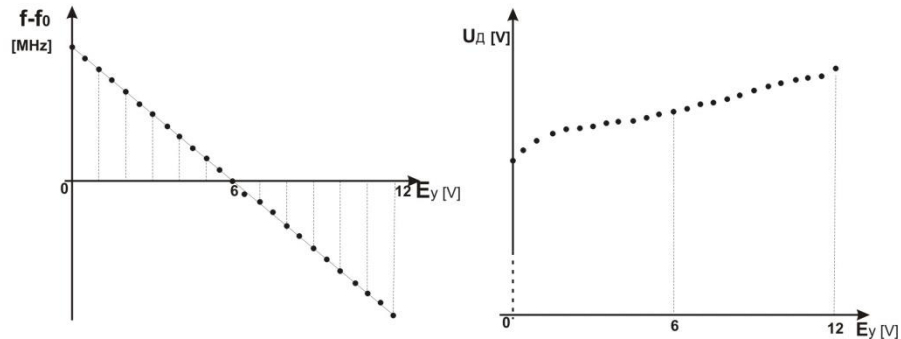
- избор на схемно решение и на работен режим, в който автодинът, използван като сензор на системата да е едновременно устойчив и достатъчно чувствителен;
- какъв е характерът на сигналите от автодинния сензор и какви способности трябва да се използват при тяхната обработка?

На първия въпрос отговорът е сравнително ясен и лесен, т.к. опира преди всичко до схемотехнически проблеми. На втория въпрос отговорът зависи от това по какъв начин ще се използва радиосензорът. В настоящата работа се търси практически приложим отговор на втория въпрос при работа на автодинния сензор с честотно модулиран сондиращ сигнал.

В теорията на близката радиолокация [1] е разгледано приложението на честотно модулираните сондиращи сигнали в идеализирани условия, които на практика трудно се постигат, особено при работа с автодинни сензори. В [2] 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.

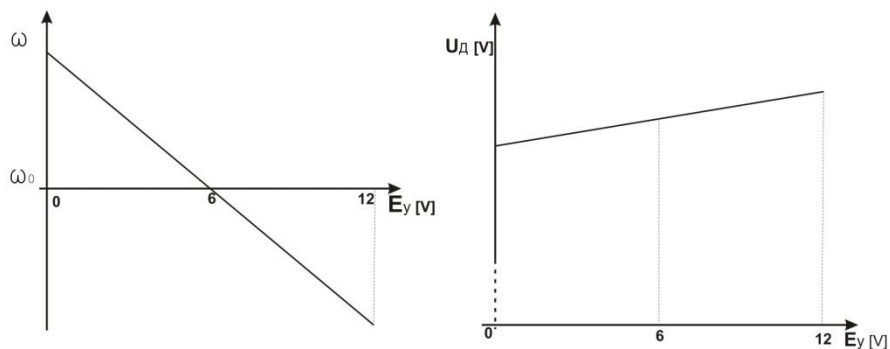
С наличната лабораторна апаратура могат да се изследват статичните модулационни характеристики на автодина при извършване на честотна модулация. На Фиг.1 са показани

експериментално снети статични модулационни характеристики (СМХ) на транзистовен автодин, в който честотната модулация се извършва с варикап, а изходният сигнал се получава след амплитудно детектиране на генерираните трептения. На фигурата  $E_Y$  е управляващо напрежение, подавано на варикапа,  $f$  е честота на генерираните трептения,  $U_D$  напрежение на изхода на детектора.



Фиг.1. Експериментална СМХ

На фиг. 2 са начертани идеализираните СМХ .



Фиг. 2. Идеализирани СМХ

Съгласно фигурата, ако в качеството на модулиращ сигнал се използва синусоида със честота  $\Omega_M$ , то:

- честотата на генерираните трептения ще се изменя по закона

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

като  $\omega_0$  е честотата при  $E_0 = E_{Y0}$ , а  $\Delta\omega$  е девиация ;

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

$$(2) \quad U_{ОП} = U_{ОПО} (1 + m_U \sin \Omega_M t),$$

като  $U_{ОПО}$  е амплитуда при  $E_Y = E_{Y0}$ , а  $m_U$  е коефициент на паразитната амплитудна модулация (ПАМ) по опорно напрежение.

От изхода на детектора се получава сигнал, отговарящ на (2).

Той е значително по-голям от полезния сигнал. В реалния случай поради това, че управляващият сигнал не може да е идеална синусоида и поради определена нелинейност на СМХ, в спектъра на  $U_D(t)$  винаги ще са налице компоненти с честоти, кратни на  $\Omega_M$ . Освен

това, поради действието на ПАМ шумовете на управляващия сигнал се пренасят към изхода на автодина по целия спектър от честоти, кратни на  $\Omega_M$ . Последното е особено важно и трябва да се отчита при построяването на СБРЛ.

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

$$(3) \quad U_{ИЗХСМ}(t) = \beta(t)U_{ОПО}U_{СО} \left(1 + m_U \sin \Omega_M t\right) \left[1 + m_U \sin \Omega_M (t - \tau)\right] \cdot \sin \left( \omega_o t + \frac{\Delta \omega}{\Omega_M} \sin \Omega_M t \right) \sin \left[ \omega_o (t - \tau) + \frac{\Delta \omega}{\Omega_M} \sin \Omega_M (t - \tau) \right].$$

Тук:

$\beta(t)$  – обобщена величина, свързана с чувствителността на автодина,

$U_{СО}$  – приведена амплитуда на отразения сигнал при  $E_Y = E_{YO}$ ,

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

$r$  – разстояние до целта,

$c$  – скорост на светлината.

Тъй като  $\tau \ll T_M = \frac{2\pi}{\Omega_M}$ , за  $m_U \ll 1$  може от (3) да се получи следният опростен

израз:

$$(4) \quad \frac{U_{ИЗХСМ}(t)}{\beta(t)U_{ОПО}U_{СО}} \approx (1 + 2m_U \sin \Omega_M t)a(t)$$

Съответно

$$(5) \quad a(t) = \sin \left( \omega_o t + \frac{\Delta \omega}{\Omega_M} \sin \Omega_M t \right) \sin \left[ \omega_o (t - \tau) + \frac{\Delta \omega}{\Omega_M} \sin \Omega_M (t - \tau) \right]$$

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

$$(6) \quad U_{ИЗХСМ}(t) \approx \beta_o U_{ОПО} U_{СО} [a(t) + b(t)],$$

$$\text{като } \beta(t) = (2m_U \sin \Omega_M t)a(t).$$

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 [1] и при изменение на разстоянието до целта със скорост  $V$  се представя с израза:

$$a(t) = J_o(x) \cos(\Omega_D t - \omega_o \tau_o) - J_1(x) \left\{ \sin[(\Omega_M - \Omega_D)t + \omega_o \tau_o] - \sin[(\Omega_M + \Omega_D)t - \omega_o \tau_o] \right\} +$$

$$\begin{aligned}
& + J_2(x) \left\{ \cos[(2\Omega_M - \Omega_D)t + \omega_o \tau_o] + \cos[(2\Omega_M + \Omega_D)t - \omega_o \tau_o] \right\} - \\
& - J_2(x) \left\{ \cos[(3\Omega_M - \Omega_D)t + \omega_o \tau_o] + \cos[(3\Omega_M + \Omega_D)t - \omega_o \tau_o] \right\} \\
& - J_n(x) \left\{ \cos[(n\Omega_M - \Omega_D)t + \omega_o \tau_o] + \cos[(n\Omega_M + \Omega_D)t - \omega_o \tau_o] \right\}
\end{aligned}$$

Съответно:

$$x = \frac{2\Delta\omega}{\Omega_M} \sin\left[\Omega_M \frac{\tau}{2}\right] \approx \Delta\omega\tau, \quad r = r_o - Vt,$$

$$\tau = \frac{r_o}{c} - 2\frac{Vt}{c} = \tau_o - 2\frac{Vt}{c},$$

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

$$\Omega_D = \frac{2\omega_o V}{c} \quad \text{– Доплерова честота.}$$

Спектърът на  $b(t)$  по състав съвпада със спектъра на  $a(t)$ , но отделните му компоненти зависят от  $r$  значително по-сложно. Аналитичното представяне на  $b(t)$  при  $V \neq 0$  е тежко и ненагледно.

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

1. В спектъра на изходния сигнал присъства много силна паразитна компонента с модулационната честота  $\Omega_M$ , което налага вземане на сериозни мерки за нейното филтриране преди входа на усилвателя на полезния сигнал.

2. За честоти  $n\Omega_M$ , където  $n = 2, 3, 4, \dots$ , също 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.

3. Амплитудата на полезния доплеров сигнал, спектрално разположен около честотите  $n\Omega_M$ , зависи от разстоянието до целта по сложен закон, който се определя от едновременното действие на няколко Беселови функции.

#### Литература:

1. Коган, И.М.. Близня радиолокация (теор.основы) . М. „Сов. радио”, 1973.
2. Смольский, С.М. Некоторые вопросы теории и расчета частотно-модулированных автодинных систем ближней радиолокации. (доклад ЦИНТИ) .