

## УСТОЙЧИВОСТ НА РАДИОВЗРИВАТЕЛИТЕ СРЕЩУ СМУЩЕНИЯ

Пламен Трендафилов

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

**Keywords:** radio proximity fuse, radio disturbances

**Abstract:** In the paper are discussed the reactions of signal processing algorithms to the effects of various disturbances. It has been shown that a large suppression of their impact is achieved through digital processing.

Освен изискването за стабилизация на височината на задействане към съвременните радиовзриватели се предявява изискване за устойчивост срещу смущения. Смущенията могат да предизвикат задействане на недопустимо по-голяма от оптималната височина, което води до ниска бойна ефективност. Смущенията са пасивни или активни, също така те са неорганизирани или организирани.

Пасивните смущения се предизвикват от различни по характер отразяващи радиосигналите обекти, като облаци, дъжд, снеговалеж, образования или предмети върху грунда. Те не излъчват радиосигнали, а отразяват сондиращия сигнал на СБРЛ и водят до промяна в характера на изходния сигнал на радиосензора. Активните смущения се предизвикват от източници, които излъчват електромагнитни вълни. Неорганизираните активни смущения могат да се предизвикат от гръмотевична дейност, битови или промишлени устройства.

Организираните пасивни смущения могат да се създадат от нарочно поставени върху терена отражатели. Те действат като предизвикват значителни по интензитет отразени сигнали или като водят до появата на многолъчево приемане. Целта е да се получи задействане на СБРЛ на големи височини. От своя страна организирани активни смущения се предизвикват от системите за радиоелектронна борба на противника. Те могат да са заградителни (широколентови) или прицелни (върху работната честота на радиосензора). Особено опасни са имитиращите прицелни смущения. Те създават сигнал, който е аналогичен на сигнала от целта и могат да предизвикат задействане на системата на значителни височини. Тяхната организация изисква наличието на доста сложна система за активна радиоелектронна борба. Към прицелните смущения могат да се причислят тези, които се създават от отражатели или крупни предмети (в това число и бойна техника), разположени върху терена. Те са особено опасни за СБРЛ без модулация на сондиращия сигнал.

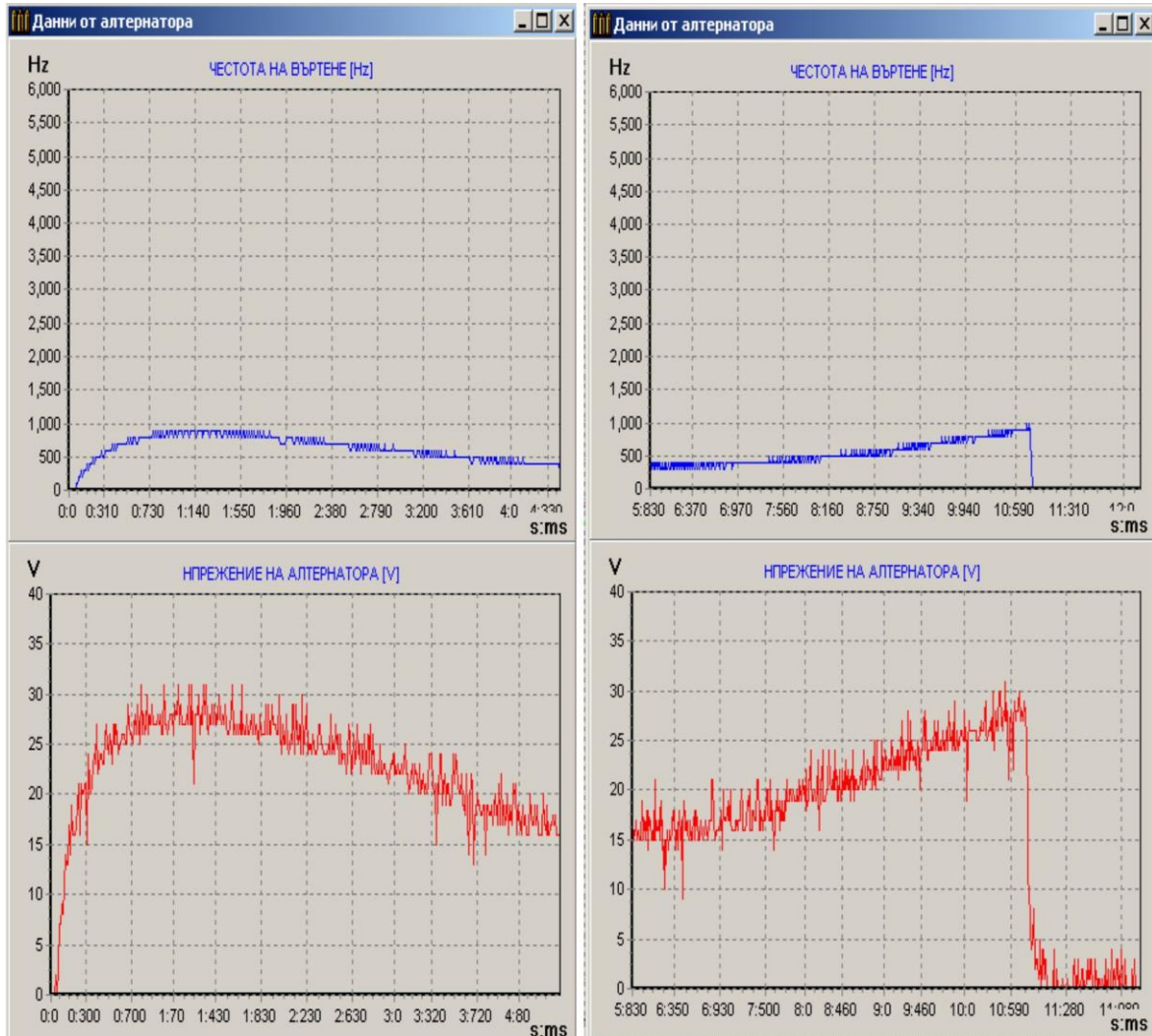
За борба срещу организирани (и част от неорганизираните) смущения преди всичко се прави така, че радиосензорът да се активизира максимално близко до целта. Това най-вече затруднява откриването и анализирането на сигналите на СБРЛ от страна на противника. Освен това веднага след включването на сензора се дава отрязък от време за „ослушване“, през което ако се появи изходен сигнал, това ще е следствие на смущения и неконтактното задействане на системата се забранява.

Включването на радиосензора в подходящ момент може да се организира чрез въвеждане на данни за време преди изстрела, но това усложнява izdelieto и неговото обслужване. Включването може да е автоматично, например при използване на алтернатор в качеството на захранващ токоизточник. Алтернаторът служи и като датчик на скоростта на движение.

Турбината се завърта от преминалия през входното устройство въздушен поток. Принципно при липса на насищане алтернаторът генерира променливо електродвижещо напрежение, чиято амплитуда  $U$  и честота  $F$  са пропорционални на скоростта на въртене (оборотите) на турбината. От своя страна въртенето на турбината зависи от скоростта на въздушния поток, т.е. от скоростта на движение на носителя. При по-големи ъгли на стрелба и

по-слаби заряди е възможно преди апогея на траекторията турбината да спре и след това в низходящия участък отново да се завърти. Това може да създаде проблеми в работата на СБРЛ.

На Фиг.1 е показан запис, направен при реален полет при  $\theta = 45^\circ$  и  $v_0 = 67 \text{ m/s}$ . Вижда се, че след изстрела оборотите на турбината бързо нарастват, добиват някаква максимална стойност, след това до апогея намалват и след него наново растат.

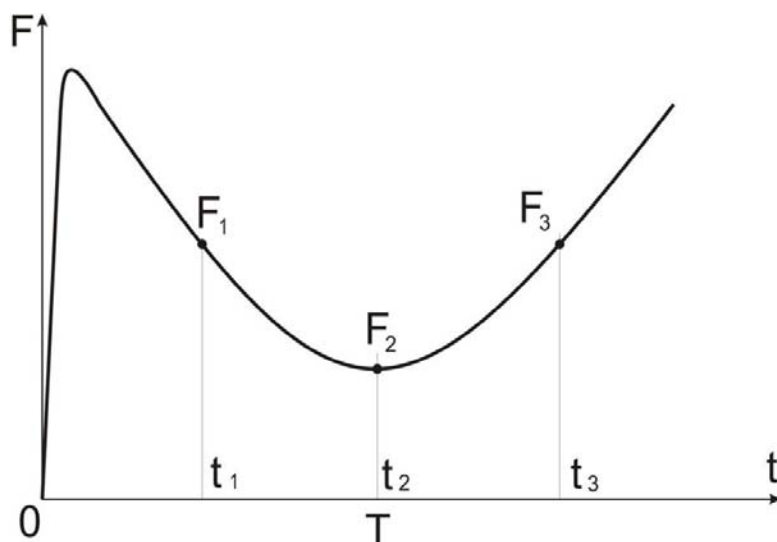


Фиг. 1. Реален запис на сигнала от изхода на алтернатор

Осигуряване включването на радиосензора колкото е възможно по-близо до целта е важна задача, която системата трябва да реши. Това може да стане автоматично ако по някакъв начин системата успее да оцени кога носителят приближава края на траекторията. Принципно има два подхода :

1. Да се открие моментът на преминаване през апогея и по измереното време  $t_2 = T$  да се предвиди кога ще настъпи търсената близост ;

2. Да се измери честотата  $F_1$  на генерираното захранващо напрежение след определен временен интервал  $t_1$  от началото на полета и след непрекъснато следене на  $F$  да се предвиди кога ще настъпи търсената близост. На Фиг.2 върху една примерна траекторна зависимост  $F(t)$  са илюстрирани двата подхода. При първия подход времето за включване на радиосензора  $t_3 = t_{VRF} = (1 + m)t_2$ , а при втория  $t_{VRF}$  съответства на  $F_3 = kF_1$ . Числата  $m$  и  $k$  се избират по целесъобразност.



Фиг. 2. Зависимост на честотата на алтернатор от траекторията на полета

Първият подход изисква спазване на условието работата на алтернатора да не прекъсва по цялата траектория. Както бе установено, последното не винаги е изпълнимо. Освен това при малки стойности на  $\theta$  билото на траекторията е почти плоско и намирането на  $T$  чрез оценка на  $F(t)$  става с недостатъчна точност. По втория подход задачата може да се реши както аналогово, така и цифрово. Освен това той работи и при наличие на прекъсване на захранването, възможно при работа с малки начални скорости на носителя и по-големи стойности на ъгъла на излитане.

На Фиг. 3 е показана типична блокова схема на радиовзривател. Срещу действието на смущенията основна роля има блокът за обработка на сигналите (БОС). Той работи по зададен алгоритъм. В елементарния вариант БОС реагира само на амплитудата на сигнала от сензора по твърдо зададен праг. Този вариант е най-уязвим от смущения, макар че още се използва. Значително по-добра защита срещу широколентови смущения може да се постигне, ако в БОС работи паралелен на основния канал с лента извън лентата на доплеровите сигнали. При поява на такъв (по високочестотен) сигнал дистанционното задействане се забранява.



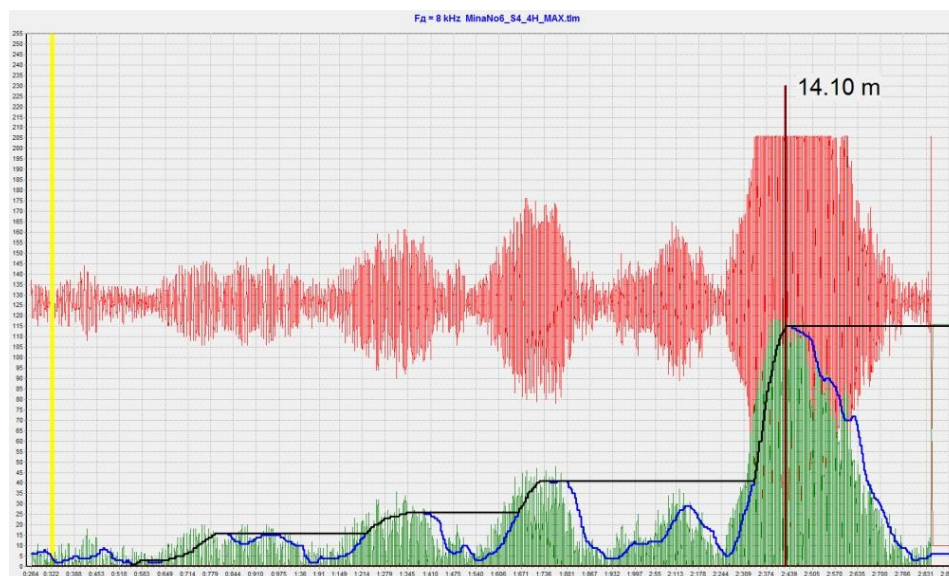
Фиг. 3. Блокова схема на радиовзривател с модулация

Ако БОС извършва цифрова обработка на сигналите, защитата от смущения значително се увеличава. Предлагат се два варианта на алгоритъм за цифрова обработка на сигналите с основна задача за стабилизиране на височината на задействане.

Единият алгоритъм [2] е предназначен за системи без модулация на сондиращия сигнал. Алгоритъмът непрекъснато следи амплитудата на сигнала от радиосензора, като сравнява две стойности, получени при височини с зададена разлика  $\Delta H$ . Височинната разлика се измерва чрез преброяване на периодите на доплеровия сигнал. При огледална отразяваща повърхност се постига търсената стабилност на височината на задействане.

Вторият алгоритъм [3] е предназначен за системи с честотна модулация на сондиращия сигнал. Той открива главния лист на функцията, която отразява зависимостта на амплитудата на сигнала от височината. Алгоритъмът работи като запамятава поредния максимум на амплитудата на сигнала и го сравнява със следващите стойности. След достигане на зададена

относителна амплитудна разлика, получавана при достигане на главния лист, се взема решение за задействане на системата. Това става с много слаба зависимост от отражателните свойства на целта. На Фиг. 4 е илюстрирана работата на алгоритъма с обработка на реален сигнал. Задействането на системата е при 14 метра височина, която е подходяща за крупнокалибрени артилерийски боеприпаси и за авиобомби.



Фиг. 4. Алгоритъм за обработка на честотно модулиран сондиращ сигнал

За проверка на устойчивостта на алгоритмите срещу смущения е направен мащабен експеримент.

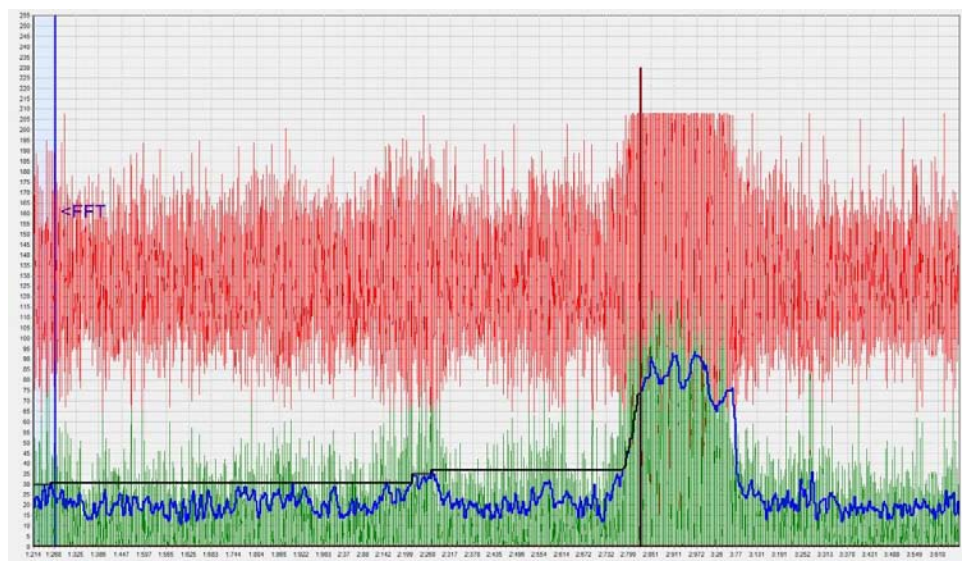
Имитирани са най-характерните смущаващи сигнали:

1. Шум без модулация
2. Синусоида с честота в диапазона на доплер с трионообразна модулация по амплитуда
3. Синусоида с честота в диапазона на доплер без модулация

Както се очакваше алгоритъмът с твърд праг се оказа беззащитен с изключение на случая на широколентово смущение и наличие на паралелен канал.

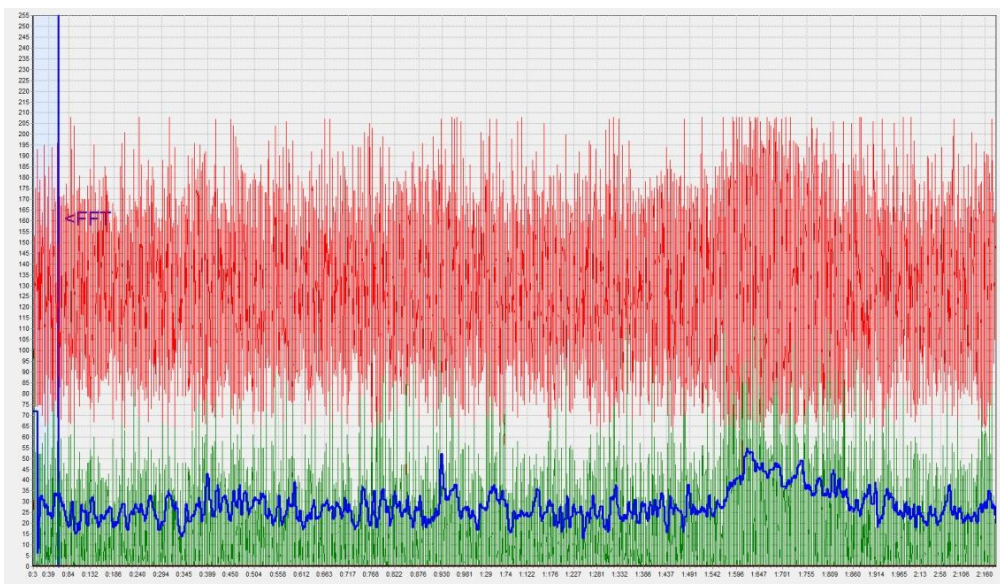
Най-добри резултати относно устойчивостта срещу смущения показва алгоритъм [3].

На фиг. 5 е показан запис на сигнала (виж фиг. 4) с шумово смущение и не много висока амплитуда. В случая системата се задейства правилно в началото на главния лист на сигнала.



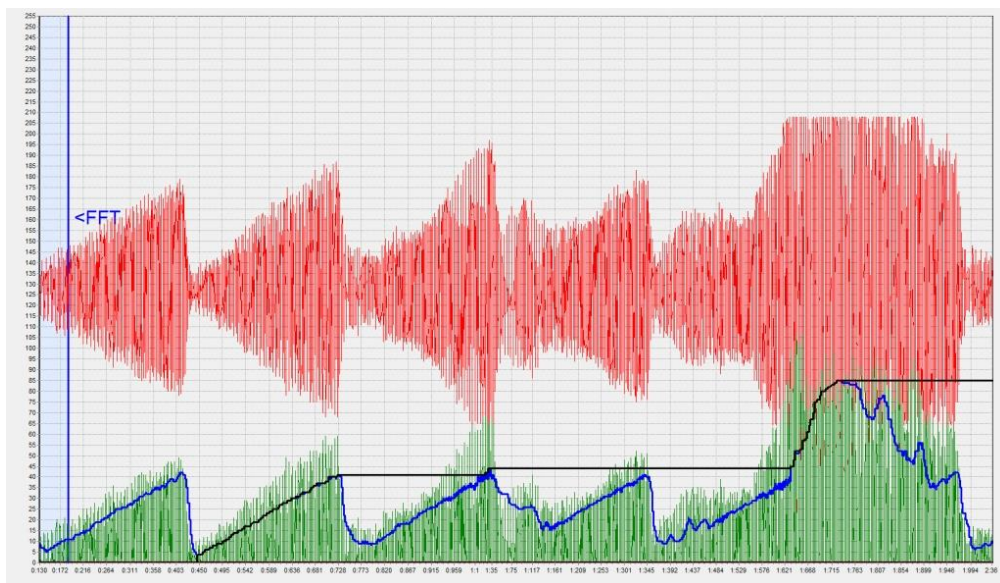
Фиг. 5. Сигнал с шум

При повишаване силата на смущението (фиг. 6) системата не се задейства и взривяването остава да работи в режим на контактно действие.



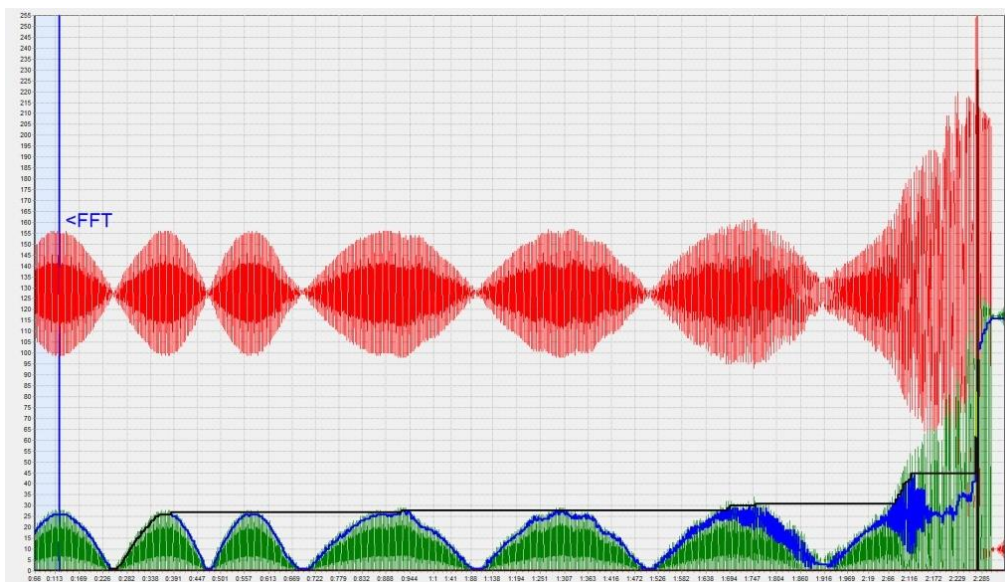
Фиг. 6. Сигнал с голяма амплитуда на смущенията

При смущаващ сигнал с трионообразна модулация по амплитуда алгоритъмът не се задейства при по-силни смущаващи сигнали (фиг. 7) и остава да работи контактно.



Фиг. 7

Ако алгоритъмът се използва за обработка на нулева хармонична, системата може да се задейства при много ниски височини, което е приемливо – фиг. 8.



Фиг. 8. Сигнал без модулация на сондиращия сигнал

**Извод:** Посредством цифрова обработка се постига силно противодействие на смущенията.

#### Литература:

1. Коган, И. М.. Близня радиолокация – теоритическите основи. М . “Соф. Радио”. 1973.
2. Трендафилов, Пл., С. Танев, П. Генов. Метод за стабилизиране на височината на разривите при радиовзривателите. Юбилейна научна конференция ”100 години авиационно образование в България”. Д. Митрополия, 2014.
3. Трендафилов, Пл., С. Танев. Адаптивен метод и алгоритъм за обработка на сигналите в един клас системи на близка радиолокация. Научна конференция “Съвременни тенденции в авиационното обучение”. Д.Митрополия . 18 и 19 май 2017 г.