

АВИАЦИОНЕН АВАРИЕН РАДИОФАР

AVIATION EMERGENCY LOCATOR TRANSMITTER

АВИАЦИОННЫЙ АВАРИЙНЫ РАДИОБУЙ

ст.н.с. д-р инж. Бойчев Б.^{1,2}, проф. д.тн инж. Коробко И.², проф. д.т.н. инж. Петров Н.³,
Бойчев В.¹, Хошинов Б.¹

Институт за космически изследвания - БАН¹, Технически университет – София², Тракийски университет – Ст. Загора³

Abstract: In the paper the hardware and software of an aviation emergency radio beacon for working in the global satellite system Cospas-Sarsat are presented. The technical requirements and working algorithm of the radio beacon are considered. Also in the paper are shown the block and circuit diagrams of the radio beacon. The developed radio beacon is intended for aviation applications but also can be used for marine, land and military purposes only by change of the software and the device corpus.

KEYWORDS: EMERGENCY LOCATOR TRANSMITTER, RADIO BEACON, COSPAS-SARSAT

1. Увод

“Коспас-Сарсат” е спътникова система, предоставяща информация за бедствие и неговото местоположение с цел съдействие на аварийно-спасителните операции. Като оборудване се използват космически апарати (спътници) и наземни станции за засичане и определяне на местоположението на аварийните радиофарове [1]. Местото на бедствието и свързаната с него информация се предава в съответния център за търсене и спасяване чрез центъра за координация на системата. Системата действа в глобален мащаб за взаимодействие на аварийно-спасителните операции, както по море, така и на суша и във въздух. За работа в системата се предлагат сертифицирани аварийни радиофарове.

2. Изисквания към радиофаровете за работа в системата Коспас – Сарсат

Изискванията към радиофаровете са детайлно описани в документите: C/S T001 и приложения А и В към него [2,3,4].

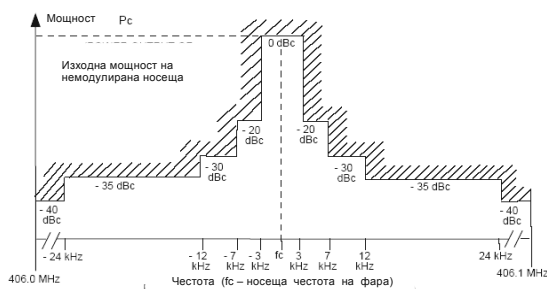
Основните характеристики, на които трябва да отговаря 406 MHz авиационен аварийен радиофар според изискванията на ИКАО и системата Коспас – Сарсат са:

Периода на повторение на излъчването на радиофара е 50 s с толеранс $\pm 2,5$ s. Общото време за предаване, е 440 ms $\pm 1\%$ или 520 ms $\pm 1\%$ за късо или дълго съобщение. Първите 160 ms $\pm 1\%$ от излъчения сигнал съдържат немодулирана носеща.

Честотния диапазон на излъчване е 406.0 - 406.1 MHz.

Изходната мощност е 5 W ± 2 dB на антенен товар от 50 Ω . Тя трябва да се поддържа при включване едно денонощие в пълния температурен диапазон на работа.

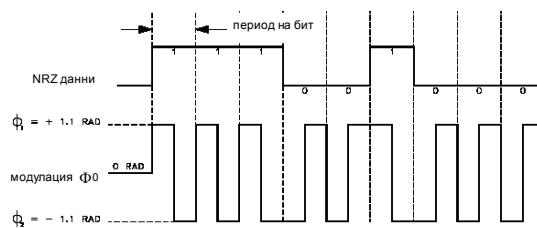
Страничните емисии на излъчване на радиофара трябва да не превишат нивата определени от маската на сигнала, представена на Фиг. 1. Данните се кодират двуфазно, както е показано на Фиг. 2 Превключването на фазата на модулирания сигнал се променя по средата на времетраенето на всеки бит от данните в NRZ формат.



Фиг. 1: Маска на допустими паразитни емисии

Носещата честота се модулира с изпреварване и закъснение на фазата от 1.1 ± 0.1 радиана спрямо немодулираната носеща. Поставени са и строги изисквания за скоростта на промяна и симетрията на модуляцията.

Чрез радиофара мотат да се излъчват «късо» и «дълго» съобщения. Данните са кодирани в «късото» съобщение, разширението на «дългото» съобщение или някоя от двете части на съобщението според един от методите, определен в Annex A на документ C/S T001 [3]. Идентификационните данни и кодираните данни за местоположението се защитават от 21 или 12 бита BCH код (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) за поправка на грешки.



Фиг. 2. Кодирани на данните и модуляция на сигнала

В режим на самотестване сигналът трябва да има циклична кадрова синхронизация във вид 011010000. Предаването трябва да е ограничено само в един пакет. Времетраенето на предаването на самотествания се режим е 440 ms (+1%) за късо съобщение и 520 ms (+1%) за дълго съобщение.

Параметрите на цифровите съобщения, предавани от радиофара са:

При късо съобщение - последните 280 ms $\pm 1\%$ от излъчения сигнал съдържат 112 битово съобщение със скорост на предаване 400 bps $\pm 1\%$;

При дълго съобщение - последните 360 ms $\pm 1\%$ от излъчения сигнал съдържат 144 битово съобщение със скорост на предаване 400 bps $\pm 1\%$;

Битовата синхронизация е съставена само от "1" (единици) и заема първите 15-битови позиции.

Рамковата синхронизация се състои от 9 бита, които заемат битовите позиции от 16 до 24. Рамковата синхронизация при излъчване на сигнал за бедствие е 000101111, а в самотестващ се режим 011010000.

Индикация за дължината на съобщението се предава в 25-я бит от поредицата. Стойност "0" означава късо съобщение, а "1" дълго съобщение.

Късото съобщение има информационно поле от 87 бита, а дългото има информационно поле от 119 бита. Полетата са разделени на следните пет групи:

(1) Първите 24 бита, позиции 1 до 24, са системни битове и се използват за битова и кадрова синхронизация.

(2) Следващите 61 бита, позиции 25 до 85, са информационни битове. Тази битова съвкупност е първото защитено поле данни (PDF-1).

(3) Следващите 21 бита, позиции 86 до 106, са BCH (82,61) код за поправяне на грешки. Тази битова съвкупност е първия BCH поправящ грешки код (BCH-1). Този код е скъсена форма на BCH (127,106) и може да разкрие и коригира до три битови грешки в 82 бита (PDF-1 + BCH-1). Комбинацията на PDF-1 и BCH-1 е представена като първо защитено поле.

(4) Следващата съвкупност се състои от информационни битове, при късо съобщение последните 6 бита от съобщението в позициите 107 до 112 не са защитени, а при пълно съобщение следващите 26 бита от съобщението в позициите 107 до 132 са определени като второ защитено поле данни (PDF-2).

(5) Последните 12 бита от дългото съобщение, позиции 133 до 144, са BCH (38,26) код за поправяне на грешки и може да разкрие и коригира до 2 битови грешки в 38 бита (PDF-2 + BCH-2).

3. Структура на разработвания радиофар

Сложната циклограма на работа на радиофара, представляваща сравнително кратки импулси на излъчване на сигнал с точни времеви характеристики и дълги паузи между импулсите, както и необходимостта от много ниска консумация в дежурен режим, поставят тежки изисквания към електронната част и захранването на радиофара. В структурата са обособени предавателен модул, блок за управление, представляващ хардуерен автомат и микропроцесорен модул. За минимизация на консумацията управлението на блоковете се осъществява както от логически сигнали, така и по захранващо напрежение, в зависимост от режима на работа.

3.1 Предавателен модул

За изпълнение на представените изисквания се разработи предавателен блок, който включва в структурата си:

- кварцов задаващ генератор, от които чрез умножение да се получава необходимата честота на излъчване.

- нискоchetотен филтър, включен на изхода на блок за умножение на честотите, за подтискане на кратни и комбинационни честоти,

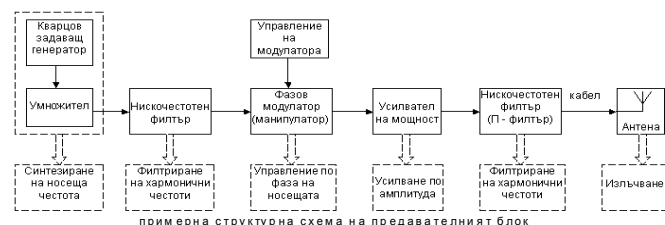
- фазов модулатор, чрез който носещата честота да се манипулира фазово в съответствие с изискванията, представени по горе.

- усилвател на мощност.

- нискоchetотен филтър, включен между изхода на мощния усилвател и антената за намаляне нивото на излъчените хармонични честоти на сигнала.

- фидер за предаване на високочестотния сигнал от изхода на нискоchetотния филтър до антената и антена.

Структурата на блока е представена на Фиг. 3.



Фиг. 3. Структурна схема на предавателния блок

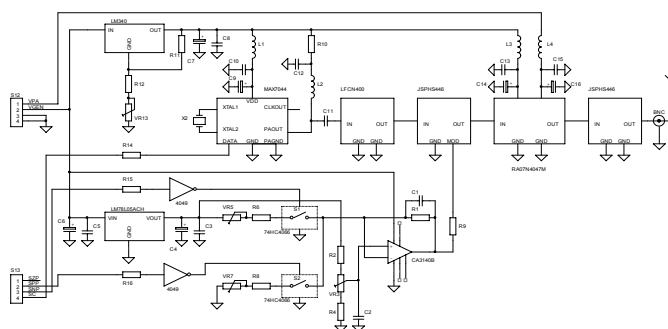
3.1.1. Задаващ генератор

Схематехниката на този блок зависи от работния диапазон и честотите, на които той работи. В нашия конкретен случай се работи на 1 честота – 406,025 MHz. В реализацията се използва интегрална схема тип MAX7044 [5], генератор-модулатор с кварцова стабилизация, работещ в диапазона 300 – 450 MHz с

изходно ниво на сигнала – 13 dBm. Изходното стъпало на схемата работи в клас C, поради което консумацията е ниска (7,7 mA). Изходния сигнал се синтезира от кварцов генератор с честота 12,68828 MHz след 32кратно умножение. Схемата позволява модулацията или манипулацията на изходния сигнал със скорост до 100 kbps. Изходната мощност може да се регулира чрез резистора (R10). Схемата на свързване е представена на Фиг. 4., като част от схематехниката на предавателния модул.

3.1.2. Филтрация на хармонични и комбинационни честоти

Тъй като изходният сигнал се получава от еднотактен усилвател, клас C, нивото на 2 и 3 хармоник в изхода му имат значителни стойности от -30 - 40 dB от нивото на носещата. За филтрация на хармоници в тази разработка могат да бъдат използвани корпусирани нискоchetотни филтри на Mini-circuits от типа PLP-450 и SCLF-420 или керамичния безкорпусен филтър LFCN-400 [6]. Филтърът се включва директно в изхода на генератора MAX7044 и предава сигнала със затихване от 0,5 dB към следващия блок.



Фиг. 4. Принципна схема на предавателния модул

3.1.3. Манипулация на фазата на носещата честота

За формиране на изходния сигнал за излъчване е необходимо след излъчване на сигнал с нулева фаза да се извърши манипулация на носещата честота по фаза от цифровото съобщение. Манипулацията се свежда до рязка промяна на опорната фаза с + 1,1 rad и - 1,1 rad, еквивалентно на +, - 63°, без промяна на амплитудата на сигнала.

Задачата може да се реши по няколко начина, но в случая е предпочетен монолитен фазов модулатор (phase shifter) тип JSPHS-446 [6] на Mini-circuits. Устройството е в 14 изведен корпус за повърхностен монтаж, с аналогово управление и минимално затихване на сигнала. Фазата на обработвания сигнал може да се управлява по напрежение с честота на промяна до 50 kHz, като при управляващ сигнал в диапазона 0,5 – 10 V тя се променя от 0 до 200°. Изхождайки от нея може да се види, че ако се използва линейния участък от модулационната характеристика и се приеме за нулева фаза тази при управляващо напрежение +3,35 V, то променяйки напрежението на +0,5 V ще получим промяна на фазата - 63° спрямо нулевата, а при +5 V ще получим + 63° спрямо нулевата. Затихването на модулатора за честота в рамките на управляващите напрежения се променя от 1.1 до 1,45 dB, като общото затихване е 1,5 dB.

3.1.4. Управление на фазовия модулатор

За управляването на модулатора по напрежение е необходимо да се осъществи преобразуване на изходните цифрови сигнали от микропроцесора в аналогови нива. Това управление е реализирано на 1 операционен усилвател, 2 аналогови ключа и два CMOS инвертора тип CD4049 [7]. Схемата работи по следния начин:

Операционния усилвател е захранен от захранващото напрежение 9,5 V. Той е свързан по схема на инвертиращ преобразувател ток – напрежение, като входните му

управляващи токове се превключват от аналогови ключове. Опорното напрежение е получено от интегрален стабилизатор LM78L05ACH [8]. Когато двата аналогови ключа са в изключено състояние, изходното напрежение е равно на зададеното от делителя R_2 , VR_3 и R_4 . То се подава в модулятора за получаване на условната нулева фаза на изходния сигнал и е със стойност $+3,35 \text{ V} \pm 0,5 \text{ V}$.

От стойността на паралелно включения на R_1 кондензатор C_1 в обратната връзка на ОУ тип СА31340В [9] зависи скоростта на нарастване на изходното напрежение. Модулирания изходен сигнал трябва да е симетричен в рамките на всеки предаден бит и фронта на промяна на фазата да е $150 \pm 100 \mu\text{s}$, измерено на ниво 90%. Това закъснение се нормира от тази RC група.

Необходимите за управление входни токове се осигуряват от групите резистори R_5R_6 и R_7R_8 , чрез които се задава необходимия управляващ ток, като чрез аналоговите ключове S_1 и S_2 се осъществява превключването на тези токове. Избирана е интегрална CMOS интегралната схема 74HC4066 - 4 аналогови ключа [9]. Резистора R_9 в схемата има защитни функции.

3.1.5. Мощен изходен усилвател

Необходимата изходна мощност на радиофара в антената е 5 W. Тъй като съществува затихване в изходния филтър, куплунизите и кабела за свързка с антената то тази мощност трябва да бъде завишена с приблизително 1 dB, ако е използван коаксиален кабел тип RG213/U и филтър за подтискане на хармониците тип LFCN-400. При това затихване необходимата изходната мощност на изхода на усилвателя е максимално 6,4 W или 38 dBm. Мощността на изхода на фазовия модулатор, която е входна за усилвателя на мощност е 14 dBm. Този сигнал трябва да се усили от усилвател на мощност на честота 406,025 MHz със следните параметри: Входна мощност $\leq 25 \text{ mW}$ или 14 dBm; Изходна мощност $\geq 6,4 \text{ W}$ или 38 dBm; Входен и изходен импеданс 50Ω; Захранващо напрежение 7,5 – 12 V; Усилване 24 dB.

В радиофара е приложен един от гамата двустъпални MOSFET усилватели в хибридно изпълнение на Mitsubishi Electric. За типа RA07N4047M захранващото напрежение е 9,6 V, а необходимата входна мощност е 30 mW при изходна мощност 7 W и гейтово напрежение 3,5 V. Коефициентът на усилване може да се регулира от гейтовото напрежение. Задаващия генератор MAX7044 и гейтовото напрежение на RA07N4047M е от стабилизатор на напрежение от типа LM340 [10], стабилизиращ на 1,25 V без включени външни резистори. Чрез външния делител R_{11} и R_{12} VR_{13} се задава изходно напрежение 3,5 V, като с промяна на стойността на VR_{13} тази стойност може да бъде променена в интервала +100, - 400 mV. Така при регулировките се променя изходната мощност от MAX7044 в диапазона от 16 до 14 dBm и едновременно с това се променя коефициента на усилване на усилвателя с 2 до 4 dB.

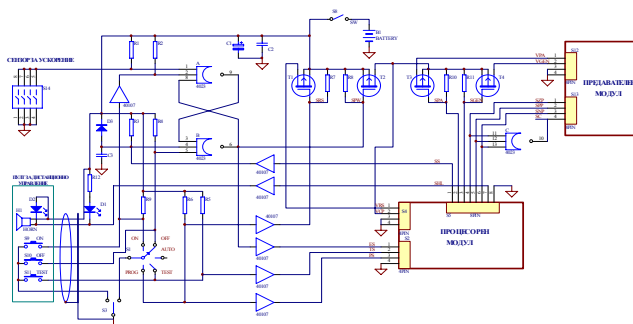
3.2. Блок за управление на радиофара.

Този блок се използва за общо управление на радиофара и за генериране на цифровото съобщение, което ще бъде излъчено. В него се изработват логическите сигнали, които управляват ключа за управление на носещата честота и фазовия модулатор в предавателната част на радиофара. Фарът има 3 активни режима на работа при включено основно захранване:

1. Изключен, с включено захранване в режим на очакване на ръчно или автоматично включване.
2. Включен (ръчно или автоматично) и излъчващ съобщение с необходимата периодичност до изтощаване на батериите му, ако не бъде изключен принудително.
3. Тестов режим, при който фарът излъчва съобщение еднократно и със съдържание, съответстващо на този режим. Циклограмата на работа започва с индикация на излъчване без да има такава. Излъчване се осъществява по време на втория цикъл, след което фарът се изключва сам.

3.3. Режим на програмиране

За осъществяване на изискването за много ниска консумация на енергия от батериите, докато фарът е в режим на очакване на автоматично или ръчно включване, е необходимо електронната част да е изпълнена като хардуерен автомат на CMOS елементи с много ниска консумация на енергия. За реализиране на включено и изключено състояние на фара е използван RS тригер, изпълнен на 2 тривходови елемента И-НЕ от интегрална схема тип CD4023В [9]. Началното установяване на тригера е чрез RC група плюс диод, така че при включване на захранването изхода б да бъде във високо ниво. Към двата входа на U1A - 1 и 2 се подават сигналите за принудително или автоматично включване на фара. Те идват от автоматичния включвател или през буфер от бутон или от позиция ON на превключвателя за управление на режимите. При превключване към ниско ниво на някой от сигналите тригера се обръща, от изхода му се подава сигнал за управление на мощния електронен ключ T2 – изпълнен на r-канален MOSFET транзистор тип IRF9630 [11], който подава захранване на микропроцесорния модул. Той управлява чрез другите ключове от схемата захранването и модулациите в предавателя.



Фиг. 5. Блок за управление на радиофара

В схемата е включен и електронния ключ T1, тип IRF9630, който се управлява от ключовете за режим на работа през логически елемент U2B. Този ключ подава захранване също в микропроцесорния модул в режим на програмиране, когато към процесорната част се включва и интерфейса RS232C.

В схемата на автомата са включени общо 7 логически елемента, които имат изход отворен дрейн, тип CD40107 [7]. С използването на тези елементи е реализирано взаимното управление на микропроцесорния модул със захранване +5V с хардуерния автомат, който се захранва от батериите. За да се гарантират необходимите логически нива за управлението на логическите елементи, на техните входове и изходи към захранване са включени резистори със стойност 10 kΩ.

В схемата на блока има още 2 ключа - T3 и T4, тип IRF9630. Те се управляват от изходи на микропроцесора и чрез тях се подава и изключва захранването на генераторната и усилвателната част в предавателния модул.

3.4. Микропроцесорен модул

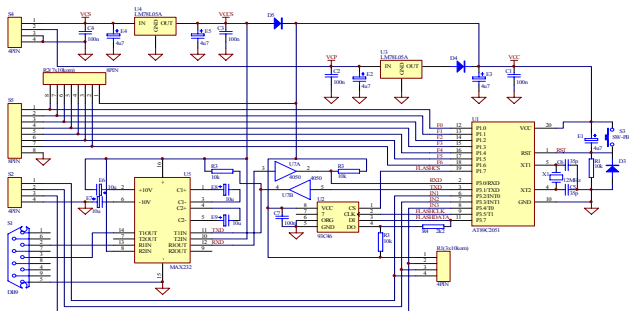
Функциите на този блок са да формира необходимата циклограма на излъчване и управление на захранването на предавателния блок, както и изключване на фара след излъчване на 1 импулс в режим "тест".

Продължителността на импулсите, подавани в модулятора на предавателния блок е $1,25 \mu\text{s}$ с точност 5%. Това изисква употреба на микропроцесор с повишено бързодействие. Избран е микропроцесор с ниска консумация AT89C2051 с външна електрически препрограмируема памет със сериен интерфейс към процесора от типа 93C46 [12]. В нея се записва кода за излъчване в аварийен и тестов режим. В режим на програмиране към микропроцесорната система се включва и интегрална схема – драйвер за комуникация по RS232 интерфейс с външно устройство – преносим персонален компютър. Схемата на

блока е представена на Фиг. 6. Системата се управлява от 3 логически сигнала, подавани към процесорния модул чрез буфери U2E, U2C и U2D, по които програмно се разпознава режима на работа на процесора и 2 електрически сигнала, комутиращи захранването на процесорната част и RS232 интерфейса през ключове T1 и T2.

Захранването се осъществява от 2 броя 5-волтови стабилизатори LM78L05A, захранващи съответно процесора AT89C2051 плюс свързаната към него електрически препрограмируема памет (EE-PROM) - 93C46 и RS232 интерфейса – MAX232 [5] по отделно. В основния режим на работа се захранва само микропроцесорната част.

Исходните сигнали от блока са 7 броя. Три логически сигнала се използват за формиране на циклограмата на управление на фазовия модулатор, а 2 се използват за управление на електронни ключове в захранването на генераторната част и мощният изходен усилвател. Индикацията на излъчването е чрез светодиодна и звукова индикация.



Фиг. 6. Принципно схема на процесорния модул

Циклограмата на работа се стартира с подаване на захранване на блока. Системата за начално утановяване задържа работата за 50 ms до установяване на захранването. Проверят се логическите нива и съответствие на входните сигнали и ако няма противоречие се преминава в някой от режимите:

Аварийно излъчване. В този режим процесора инициализира изпълнимите блокове и променливи. Стартира се вградения таймер, прочита записаната информация за режима аварийно излъчване от EE-PROMа и я записва във вградения RAM. Чрез таймера се стартира циклограмата на излъчване, като се пропуска първия пакет без да се прекъсва индикацията, което осигурява защита от случайно включване. Този цикъл се поддържа до принудително изключване чрез логически сигнал OFF или спадане на захранващото напрежение.

Тестово излъчване. В този режим се изпълняват процедурите, описани в предната точка като програмно се осигурява промяна на кода на излъчване.

Режим на програмиране. Режим се използва при начално програмиране на радиофара, когато се задават всички параметри участващи в цифровото съобщение, излъчвано в аварийен режим. Към фара се включва преносим персонален компютър през съществуващия RS232 интерфейс. Тези параметри се задават в програма, инсталирана в персонален компютър, която изчислява битовата последователност, която трябва да бъде излъчена в аварийен режим. Тази информация се записва в EE-PROMа на процесорната част.

4. Програмиране на авиационния радиофар

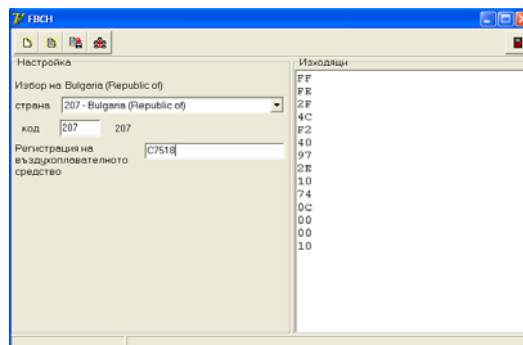
Програмата, с помощта на която от компютър през порта RS232 цифровото съобщение да бъде записано в паметта EE-PROM на радиофара е с име FBCH, като изгледа на основния и прозорец е представен на Фиг. 7. Програмният продукт FBCH е съвместим с програмните продукти на Microsoft като Windows 98, Windows 2000, Windows XP. Принципът на работа с софтуера FBCH по програмирането на радиофара се осъществява в следната последователност:

-Превключвателя на радиофара се поставя в положение “Запис”.

-Към порта RS232 на персоналният компютър постредством кабел се включва радиофара;

-Стартира се приложението BСH.exe;

-От прозореца на FBCH първо се избира държавата, към която е регистрирано въздухоплавателното средство. Това става след натискане на маркера срещу надписа “страна” отляво в подпрозорец “Настройка”. Появява се списък със всички държави и съответните им кодове според Коспас – Сарсат, определени от Международния телекомуникационен съюз (ITU) Избира се съответната държава, към която е въздухоплавателното средство. В случая на Фиг.7. е избрано “207-Bulgaria”. Въвежда се регистрационния номер на самолета до седем символа в прозорец “Регистрация на въздухоплавателното средство” ;



Фиг.7. Екранно меню за програмиране на радиофара.

-Програмата изчислява BСH кода за корегирание на грешки. В подпрозорец “Изходящи” се появява съобщението, което ще се програмира в радиофара в шестнадесетичен код;

-Избира се икона запис и прехвърлянето на съобщението в радиофара започва като се появява съответната индикация;

-След приключване на записа в EE-PROM-а, програмата ни уведомява. Откачаме кабела от порта RS232. С това радиофарът е програмиран и готов за употреба.

5. Заключение

Разработената електронна част на аварийен авиационен радиофар отговаря по електрически параметри за работа в системата Коспас-Сарсат. Влагането на микропроцесорна система в общото управление за осигуряване на времевите параметри на обработваните сигнали в устройството позволява лесното му модифициране, за авиационни, морски или персонални цели само с промяна на софтуера. За пълната окомплектованост на радиофара е необходимо разработването на конкретни корпус, антена, захранващ блок и сензори за автоматично включване, които ще бъдат различни в зависимост от приложението му.

6. Литература

- [1]. ICAO, Anex 10, www.icao.int
- [2]. Specification for 406 MHz beacon, C/S T001, www.cospas-sarsat.org
- [3]. Anex A, C/S T001, www.cospas-sarsat.org
- [4]. Anex B, C/S T001, www.cospas-sarsat.org
- [5]. Data Sheets MAX7044, MAX232, www.maxim-ic.com
- [6]. Data Sheets LFCN400, JSPHS446, www.minicircuits.com
- [7]. Data Sheets CD40107, CD4050, CD4049, CD4066, www.rca.com
- [8]. Data Sheets LM7805, LM340, LM117, www.national.com
- [9]. Data Sheets CA3140, 74HC4066, www.harris.com
- [10]. Data Sheets RA07N4047M, www.mitsubishielectric.com
- [11]. Data Sheet IRF9630, www.irf.com
- [12]. Data Sheets AT89C2051, 93C46, www.atmel.com