

# Реализација предајника УВФ радио-уређаја који користи технику проширеног спектра

Бранислав М. Тодоровић, Жељко М. Гајић, Ненад В. Поповић, Сениша Тасић

**Садржај** — У раду је приказана реализација предајног дела радио-уређаја са преносом сигнала у проширеном спектру (ППС) методом директне секвенце. Радио-уређај је намењен за пренос управљачког сигнала беспилотне летелице. Разматрана су техничка решења појединих склопова радио-предајника који ради у УВФ опсегу.

**Кључне речи** — Радио-уређај, пренос сигнала у проширеном спектру, директна секвенца, беспилотна летелица.

## I. UVOD

**РАДИО-УРЕЂАЈИ** са преносом сигнала у проширеном спектру [1-5] представљају посебну класу радио-уређаја коју карактеришу две основне особине:

1. Преношени сигнал заузима знатно шири фреквенцијски опсег од минимално потребног да би се пренела порука.

2. Проширење фреквенцијског спектра се у предајнику остварује коришћењем помоћног, псеудослучајног сигнала који је независан од поруке, а познат је пријемнику. С обзиром да је псеудослучајни сигнал, по правилу, изражен у дигиталном облику, у литератури се среће под називом псеудослучајна секвенца или кодна секвенца.

Коришћење ППС технике омогућава бројне предности. [1-5] Поменимо неке од њих:

- (а) Повећана заштита од утицаја сметњи;
- (б) Отежано радио-извиђање;
- (ц) Отежана неовлашћена детекција (прислушкивање);
- (д) Омогућен вишеструки приступ на бази кодног мултиплекса.

Постоји неколико метода за реализацију ППС

Овај рад је реализован у оквиру Пројекта по уговору ЕТ-11037 који финансира Министарство за науку Републике Србије.

Б.М. Тодоровић, Институт за микроталасну технику и електронику "ИМТЕЛ комуникације АД", Бул. Михаила Пупина 165б, Београд, Србија (телефон: 3111215; е-пошта: todorovic@insimtel.com).

Ж.М. Гајић, Институт за микроталасну технику и електронику "ИМТЕЛ комуникације АД", Бул. Михаила Пупина 165б, Београд, Србија (телефон: 3111215; е-пошта: gaja@insimtel.com).

Н.В. Поповић, Институт за микроталасну технику и електронику "ИМТЕЛ комуникације АД", Бул. Михаила Пупина 165б, Београд, Србија (телефон: 3111215; е-пошта: nenad@insimtel.com).

С. Тасић, Институт за микроталасну технику и електронику "ИМТЕЛ комуникације АД", Бул. Михаила Пупина 165б, Београд, Србија (телефон: 3111215; е-пошта: tasa@insimtel.com).

технике, али се данас у пракси најчешће користе следећа два:

- Фреквенцијско скакање (ФС),
- Директна секвенца (ДС).

Фреквенцијско скакање се заснива на дискретној промени фреквенције носиоца у врло широком опсегу, а под контролом псеудослучајне секвенце. Насупрот томе, код директне секвенце фреквенција носиоца је непроменљива, а проширење спектра се остварује операцијом сабирања по модулу два над бинарним еквивалентима поруке и псеудослучајне секвенце. Важан системски параметар сваког ППС радио-уређаја је процесно појачање које се дефинише као однос:

$$\eta = B_{PPS} / B_m \quad (1)$$

где је са  $B_{PPS}$  означена ширина спектра сигнала при ППС преносу, а са  $B_m$  ширина спектра сигнала у случају да се не користи техника проширеног спектра.

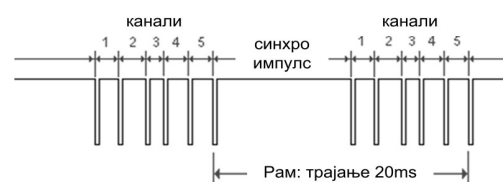
С обзиром на то да процесно појачање узима вредности у врло широким границама, најчешће се изражава у dB:

$$\eta_{dB} = 10 \log \eta, \quad (2)$$

Процесно појачање је мера ефикасности ППС радио-уређаја. Оно директно одређује степен заштите од утицаја сметњи. У реалним радио-уређајима његова вредност се креће у границама од 20-60 dB.

У оквиру истраживања које се врши у Институту за микроталасну технику и електронику "ИМТЕЛ комуникације" реализован је предајник ППС-ДС радио-уређаја који је намењен за пренос управљачких сигнала беспилотне летелице у фреквенцијском опсегу од 432-438 MHz.

Да бисмо одредили погодне карактеристике појединих склопова ППС-ДС радио-предајника пошли смо од структуре поруке која се преноси. На слици 1. је приказан типичан изглед управљачког сигнала беспилотне летелице (БЛ). [6,7]



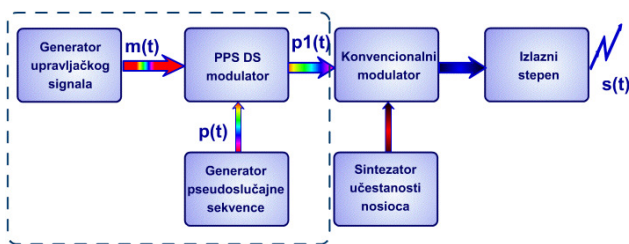
Слика 1. Управљачки сигнал беспилотне летелице

Рам управљачког сигнала БЛ образован је од синхронизационог импулса и  $N$  командних импулса -

канала, где је  $4 \leq N \leq 8$ . Учестаност понављања управљачког рама је 50Hz (20ms), док је ширина командних импулса променљива и креће се од 1 ms до 2ms. Сваки командни импулс носи у себи информацију о позицији једног од серво-мотора који управља неком од управљачких површина на беспилотној летелици, а везана је за промену ширине и положаја импулса. Импулси у раму су међусобно одвојени паузом у фиксном трајању од 0.3 ms. Трајање синхронизационог импулса је променљиво и креће се од 6.3ms до 14.3ms.

## II. ППС-ДС ПРЕДАЈНИК

Блок шема предајног дела радио-уређаја са директном секвенцом приказана је на слици 2.[8] Са ове слике се види да се предајни део састоји од: генератора управљачког сигнала, генератора псеудослучајне секвенце, ППС-ДС модулятора, синтезатора фреквенције носиоца, конвенционалног модулятора и излазног степена. Генератор псеудослучајне секвенце је кључни блок у ППС-ДС предајнику. Његов задатак је да генерише бинарни сигнал веома дуге периоде  $p(t)$ , који је независан од поруке која се преноси  $m(t)$ .



Слика 2. ППС-ДС предајник

Пошто минимална ширина импулса управљачког сигнала беспилотне летелице  $m(t)$  износи 0.3ms, тј. његова максимална брзина сигнализирања је 3.3 kb/s, да бисмо остварили процесно појачање од 25 dB, брзина сигнализирања псеудослучајне секвенце треба да буде 1 Mchip/s. То значи да би у случају примене BPSK модулације, ширина канала била 2 MHz.

Дакле, унутар расположивог фреквенцијског опсега ширине 6 MHz имамо простора за 3 канала који се не преклапају.

Избор процесног појачања од 25 dB сугерише да користимо псеудослучајну секвенцу дужине  $\sim 300$  chip, да бисмо избегли ефекат парцијалне корелације при успостављању кодне синхронизације. Када је реч о структури саме псеудослучајне секвенце, погодно је користити линеарне секвенце максималне дужине јер оне имају најбоље аутокорелационе особине. Максимална дужина линеарне псеудослучајне секвенце генерисане померачким регистром који има  $K$  меморијских елемената износи

$$L = 2^K - 1. \quad (3)$$

У нашем случају одредили смо се да буде  $K=8$ , па је дужина псеудослучајне секвенце  $L=255$ .

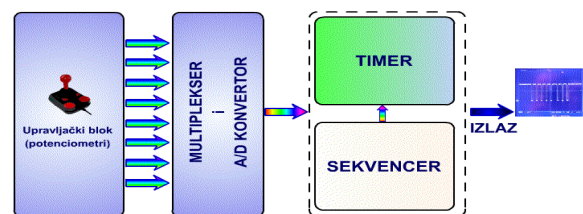
ППС-ДС модулар је склоп карактеристичан за

ППС-ДС предајник. Његов задатак је да прво синхронизује поруку која се преноси са псеудослучајном секвенцом, а затим да изврши операцију сабирања по модулу два над ова два сигнала.

Сигнал са излаза ППС-ДС модулятора  $p_1(t)$  се доводи на конвенционални модулар. И на крају, модулисани сигнал долази на излазни степен.

### A. ППС-ДС генератор

Склоп који смо назвали ППС-ДС генератор у себи обједињује функције генератора управљачког сигнала, генератора псеудослучајне секвенце и ППС-ДС модулятора.[9] На слици 3. је приказана блок шема ППС-ДС генератора.



Слика 3. Блок шема ППС-ДС генератора

Задатак генератора управљачког сигнала је да обезбеди интерпретацију положаја управљача сваког канала, формира информацију за пренос и обезбеди механизам за синхронизацију у пријемнику.

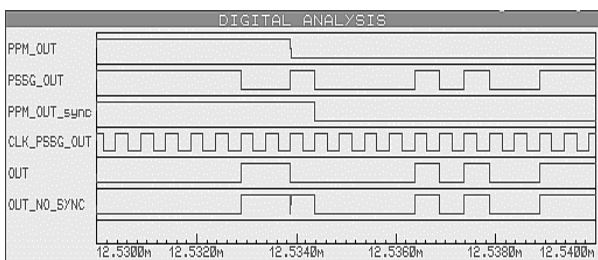
У системима за радио команду, уобичајена је употреба потенциометара као сензора положаја управљачке палице. Информације о положају појединих управљачких палица се преводе у одговарајуће напонске нивое уз помоћ придружених потенциометара. Реализован је кодер са осам канала. Сваки потенциометар тј сваки канал, долази до мултиплексера осам на један. Мултиплексер је саставни део изабраног микроконтролера, заједно са блоком десетобитног аналогно-дигиталног конвертора, при чему се користи виших осам бита. На тај начин се постављени угао сваког управљача преводи у одговарајући број. На основу тог броја, TIMER у саставу микроконтролера генерише импулсе одговарајућег трајања. Софтвер секвенцијално прослеђује канал за каналом, убацујући синхро импулс и паузе. Могуће је управљати генератором управљачких сигнала и уз помоћ рачунара и RS-232 серијске везе.

Сигнал са излаза генератора управљачких сигнала се доводи на улаз блока ППС-ДС модулятора заједно са сигналом из генератора псеудослучајне секвенце.

За реализацију ППС-ДС генератора коришћена су два микроконтролера ATMEGA8 произвођача ATMEL. Први микроконтролер је коришћен за реализацију генератора управљачког сигнала, док је генератор псеудослучајне секвенце реализован уз помоћ другог микроконтролера. Такт генерисане псеудослучајне секвенце је 1MHz, што је био разлог због кога је било неопходно користити посебан микроконтролер. Иако

код ATMEGA контролера највећи број инструкција траје један циклус, 16MIPСа није довољно за имплементацију генератора управљачког сигнала и генератора псеудослучајне секвенце помоћу једног микроконтролера.

Дигитални сигнали у колу приказани су на слици 4.

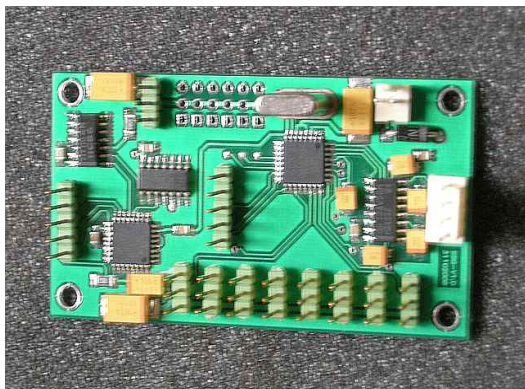


Слика 4. Дигитални сигнали у колу

Иако су управљачки сигнал БЛ (сигнал *PPM\_OUT*) и псеудослучајна секвенца (сигнал *PSSG\_OUT*), који се доводе на улазе ППС-ДС модулятора, синхрони са тактом микроконтролера, они су независни један од другог. Као последица тога, могуће је да до промена стања у поворци управљачког сигнала дође непосредно пре или после ивице псеудослучајне секвенце. Такве промене изазивају кратке импулсе у излазном сигналу и јако прљају спектар (сигнал *OUT\_NO\_SYNC*).

Да би се избегли случајни импулси кратког трајања, врши се синхронизација ове две поворке импулса. Сигнал из генератора управљачких сигнала мења се синхроно са растућом, односно опадајућом ивицом псеудослучајне секвенце уз помоћ једног D флип-флопа и такта двоструко веће фреквенције од такта генератора псеудослучајне секвенце. Последица овог поступка је временско продужење импулса управљачких сигнала максимално за трајање једног чипа псеудослучајне секвенце тј до 0.5μs (сигнал *PPM\_OUT\_SYNC*). Ово продужење практично не уноси никакву грешку у позиционирање серво-мотора који управља неком од управљачких површина на беспилотној летелици, јер је мање од корака промене ширине импулса (најмањи корак је око 3.9μs и диктиран је резолуцијом АД конвертора) у поворци из генератора управљачких сигнала.

Реализована плочица ППС-ДС генератора приказана је на слици 5.



Слика 5. Изглед плочице ППС-ДС генератора

## Б. Синтезатор фреквенције носиоца

Фреквенцијски синтезатори су електронска кола која генеришу скуп могућих излазних фреквенција уз помоћ једног врло стабилног референтног осцилатора.. Задатак синтезатора се математички може описати релацијом

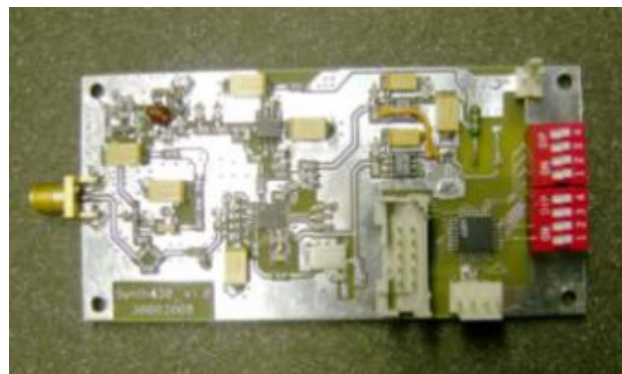
$$f_0 = Nf_{REF}/M, \quad (4)$$

где је са  $f_{REF}$  означена референтна фреквенција, а са  $N$  и  $M$  су означени цели бројеви.

У оквиру овог пројекта реализован је синтезатор са једноструком фазном петљом.[10]

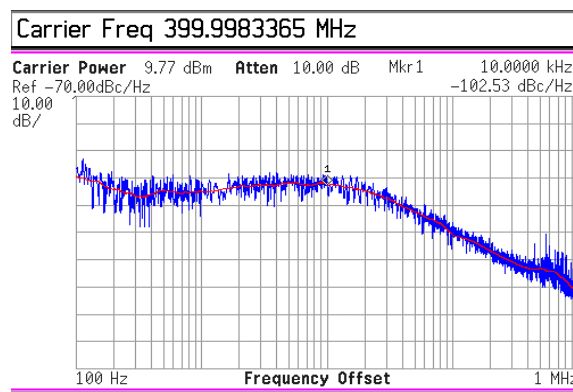
Синтезаторски чип је Analog Device ADF4108. Прорачун параметара петље је извршен применом САД програма, са циљем да се добије оптималан однос између брзине хватања петље и фазног шума. Напонски контролисани осцилатор је такође пројектован у САД програму. Фреквенцијски опсег синтезатора је од 400 MHz до 440 MHz, при чему је корак синтезатора изабран да буде 1MHz, али се он може и променити тако да буде већи или мањи у бинарном односу са изабраним кораком 1MHz.

На слици 6 је приказан изглед реализоване плочице синтезатора.



Слика 6. Изглед плочице синтезатора фреквенција

На слици 7 је приказан измерени фазни шум синтетисаног сигнала на фреквенцији 400 MHz уз помоћ анализатора спектра Agilent E4402. Брзина хватања синтезатора је ≤200 μs.

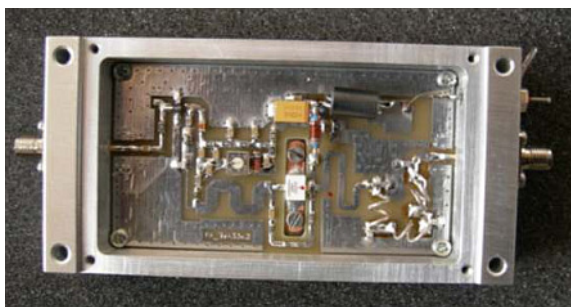


Слика 7. Фазни шум синтетисаног сигнала измерен помоћу анализатора спектра

### В. Излазни степен

Излазни степен је реализован коришћењем Philips-овог LDMOS транзистора BLF1043. Транзистор је намењен за употребу у излазним степенима предајника за фреквенције до 1GHz и снаге до 10W. При тим радним условима обезбеђује око 18dB појачања. На нижим фреквенцијама, транзистор има и веће појачање. На жалост, велико појачање у исто време значи и потенцијалну склоност ка осциловању. Управо на ту особину је указала и почетна САD симулација појачавача са овим транзистором. Највише због тог разлога, изабрана је топологија појачавача са негативном реакцијом. Употреба отпорника у колу повратне спреге је учинила појачавач безусловно стабилним уз губитак појачања од неколико децибела. Због природе сигнала који се обрађује, неопходно је да појачавач буде линеаран. Реализовани појачавач је у класи АБ.

На слици 8. је приказан реализовани појачавач. На истој штампаној плочици, у оквиру излазног степена налазе се предпојачавач и излазни филтер пропусник ниских фреквенција. У склопу предпојачавача се користи ММІС појачавач ERA 3. Његово појачање је око 22 dB на овим фреквенцијама.



Сл.8. Реализовани излазни степен

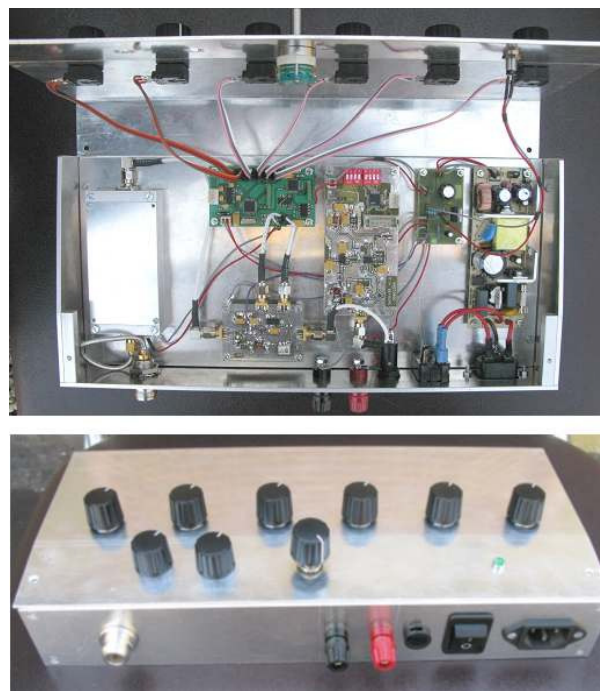
Потребно је истаћи да је LDMOS транзистор предвиђен да ради са напонима напајања од 26V. Са тим напоном могуће је добити излазну снагу од готово 39dBm. Како за конкретну примену није неопходна толика излазна снага, а са друге стране је потребно обезбедити већи степен мобилности и аутономије целог уређаја, кроз употребу акумулаторских батерија, изабрано је напајање од 15V. Са смањеним напоном напајања добијена је излазна снага од око 2W.

### Г. Кућиште ППС-ДС предајника

На слици 9. је приказан изглед реализованог кућишта ППС-ДС предајника.

### III. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је приказана реализација предајног дела радио-уређаја са преносом у проширеном спектру који користи метод директне секвенце, а намењен је за пренос управљачког сигнала беспилотне летелице.



Слика 9. Кућиште предајника

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] R.E. Ziemer, *Fundamentals of Spread Spectrum Modulation*. Colorado Springs: Morgan & Claypool Publishers, 2007.
- [2] M.K. Simon, J. Omura, R.A. Scholtz and B. Levitt, *Spread Spectrum Communications*. Rockville: Computer Science Press, 1985.
- [3] R.E. Ziemer and R.L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum*. New York: MacMillan, 1985.
- [4] D. Torrieri, *Principles of Spread-Spectrum Communication Systems*, Springer, 2005.
- [5] G. R. Cooper and C.D. Mc Gillem, *Modern Communications and Spread Spectrum*. New York: McGraw-Hill, 1986.
- [6] Technical Note - The Model Electronics Company, MTN004, Issue 1.1, 2007.
- [7] K.P. Valavanis (Ed.), *Advances in Unmanned Aerial Vehicles*, Springer, 2008.
- [8] Б.М. Тодоровић, Н.В. Поповић, М.М. Шуњеварић, „Концепција UVF радио-уређаја који користи технику проширеног спектра”, *Зборник радова 16. телекомуникационог форума (ТЕЛФОР)*, Београд, 2008.
- [9] Ж. Гајић, Б.М. Тодоровић, В. Орлић, „Генерисање управљачког сигнала беспилотне летелице који је заштићен применом технике проширеног спектра методом директне секвенце“, *Зборник радова конференције ЕТРАН*, Врњачка Бања, 2009.
- [10] С. Тасић, Б.М. Тодоровић, Н. Митровић, „Једно решење фреквенцијског синтезатора UVF радио-уређаја који користи технику проширеног спектра методом директне секвенце“, *Зборник радова конференције ЕТРАН*, Врњачка Бања, 2009.

### ABSTRACT

In this paper a realization of direct sequence spread spectrum radio transmitter is considered. Radio unit is designed for unmanned aerial vehicle control signal transmission. Technical solutions of some UHF radio transmitter's blocks are presented.

### UHF SPREAD SPECTRUM RADIO TRANSMITTER

B. M. Todorović, Ž. M. Gajić, N. V. Popović, S. Tasić