

Գ.Ռ. ՄԱՐԴՈՅԱՆ, Ժ.Մ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

**ԳՐԵԹԵԿՈՇԵՐԵՆՏ MIMO ԿԱՊԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Նկարագրվում են ծրագրորեն որոշվող ռադիոհամակարգեր, որոնք կարող են գործածվել բազմակի մուտք և բազմակի ելք տիպի (multiple-input multiple-output, MIMO) կապի համակարգերում: Համեմատվում են կոհերենտ և գրեթեկոհերենտ բազմուղի հաղորդիչ-ընդունիչների կառուցվածքները, և հետազոտվում է դրանց ազդեցությունը Ալամոուտի տարածաժամանակային բլոկային կոդերի խանգարումակայունության վրա:

Առանցքային բառեր. SDR, MIMO, կոհերենտ, գրեթեկոհերենտ, PLL, Ալամոուտի կոդ:

G.R. MARDOYAN, J.M. HOVSEPYAN

**PECULIARITIES OF PSEUDO-COHERENT MIMO
COMMUNICATION SYSTEMS**

The types of software defined radios (SDR) that can be used in multiple-input multiple-output (MIMO) communication systems are described. Architectures of multichannel coherent and pseudo-coherent transceivers are compared. The effects of both architectures on the noise immunity of Alamouti space-time block codes are introduced.

Keywords: SDR, MIMO, coherent, pseudo-coherent, PLL, Alamouti code.

ՀՏԴ 621.396

Հ.Գ. ԱՐՁՈՒՄԱՆՅԱՆ

**GPS ԱՋԴԱՆՇԱՆԻ ՄԻՋՈՑՈՎ ԻՐԱԿԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿՈՎ ՏԱԿՏԱՅԻՆ
ԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ (RTC) ԿԱՐԳԱՎՈՐՈՒՄԸ ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՎՈՂ ԻՆՏԵԳՐԱԼ
ՏՐԱՄԱՐԱՆԱԿԱՆ ՍԽԵՄԱՅՈՒՄ (FPGA)**

Դիտարկվել են իրական ժամանակով տակտային գեներատորի (Real-Time Clock) գերճշգրիտ կարգավորման հնարավորությունն ու սկզբունքները: Բերված է ծրագրավորվող ինտեգրալ տրամաբանական սխեմայում (FPGA) մշակված RTC-ի կարգավորման ծրագիրը, որի միջոցով իրագործվում է RTC-ի ռեգիստրների տվյալների գրանցում և չափաբերում գերճշգրիտ աշխատանքի ապահովման համար:

Առանցքային բառեր. իրական ժամանակով տակտային գեներատոր (RTC), GPS, գերճշգրիտ կարգավորում, ռեգիստր, արբանյակ, չափաբերում:

Ներածություն: RTC-ները նախատեսված են էլեկտրոնային սարքերում ժամանակը ճիշտ ֆիքսելու համար: Օգտագործվում են գրեթե բոլոր էլեկտրական սարքերում, որտեղ անհրաժեշտություն կա պահպանել և ցուցադրել ժամանակը, տարեթիվը, շաբաթվա օրը և այլն: Այն սնման աղբյուրից, տակտային գեներատորից և հաշվարկման մեքենայից բաղկացած համակարգ է:

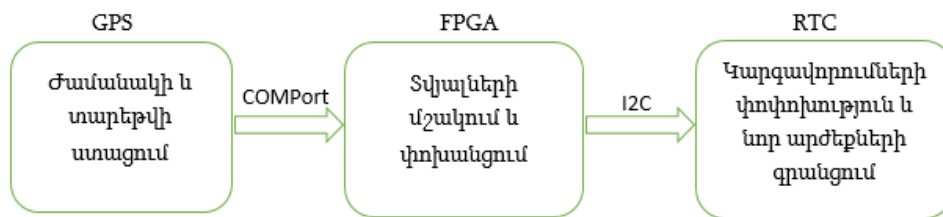
Ներկայումս RTC-ները մեծ կիրառություն ունեն այնպիսի համակարգերում, որտեղ առանց որևէ միջամտության պետք է ապահովել ժամանակի անխափան և ճշգրիտ պահպանում ամիսների ընթացքում: Այսպիսով, այն ավտոմատացված կայաններում, որտեղ անհրաժեշտություն կա իրական ժամանակով գրանցել և պահպանել տվյալ կայանում չափումների արդյունքում ստացված արժեքները, կիրառում են RTC տակտային գեներատորներ [1]:

Խնդրի դրվածքը: Խնդրի լուծման առաջնային նպատակն է մշակված ծրագրի հետագա կիրառումը արբանյակային հաղորդչով և իրական ժամանակով տվյալների պահպանման սարքերում, որոնք իրականացնում են անալոգային և թվային տվիչներից ստացված արժեքների գրանցում, պահպանում և հաղորդում դրանք դեպի արբանյակներ՝ գերճշգրիտ ժամանակով: Տվյալ սարքերում մեծ անհրաժեշտություն կա ապահովելու RTC-ի ճշգրիտ և կայուն աշխատանքը տարիների ընթացքում: Այստեղ հիմնական խնդիրն է RTC-ի ռեգիստրում չափաբերման արժեքի ճշգրիտ հաշվումն ու գրանցումը: Քանի որ GPS արբանյակներում կիրառվում են ատոմային ժամացույցներ, հետևաբար՝ GPS համակարգի օգտագործումը և կիրառումը այս խնդրում հնարավորություն է տալիս բարձրացնել RTC-երի չափաբերման ճշտությունը [2]:

Ներկայումս նմանատիպ սարքերում օգտագործվում են RTC-եր, որոնք չունեն չափաբերման արժեքի գրանցման համար նախատեսված ռեգիստր: Քանի որ տակտային գեներատորները, մի շարք պայմաններից կախված (ամենակարևոր պայմաններից է ջերմության փոփոխությունը), կարող են ժամանակի ընթացքում կորցնել իրենց կայուն աշխատանքը և դրսևորել ժամանակային շեղում իրական ժամանակից, հետևաբար՝ առաջանում են տվյալների ճշգրիտ պահպանման խնդիրներ, առավել ևս՝ հաղորդում դեպի արբանյակներ:

Հետագրոման արդյունքում առաջնահերթ խնդիր է եղել GPS-ից ստացված ժամանակի և տարեթվի ճշգրիտ գրանցումը RTC-ի կարգավորումների ռեգիստրներում՝ FPGA-ի միջոցով [3]: Խնդրի լուծման համար օգտագործվել է PPS (Pulse Per Second/իմպուլս վայրկյանում) ազդանշանը, որն արբանյակների կողմից Երկիր է ուղարկվում վայրկյանում մեկ անգամ, և ուղարկման ճշտությունը կազմում է պիկովայրկյաններ: FPGA-ում մշակված ծրագրի միջոցով այս ազդանշանի «վերելքի ճակատ»-ի որսումը և դրա կիրառումը՝ որպես RTC-ի և GPS-ի ժամանակների սինքրոնացման մեթոդ, հնարավորություն է տալիս ստանալ RTC-ի ժամանակի շտկում նանովայրկյանների ճշտությամբ:

Աշխատանքի սկզբունքը: Նկ.1-ի բլոկ-սխեմայում պատկերված է RTC-ի ռեգիստրներում արժեքների գրանցման սկզբունքը:

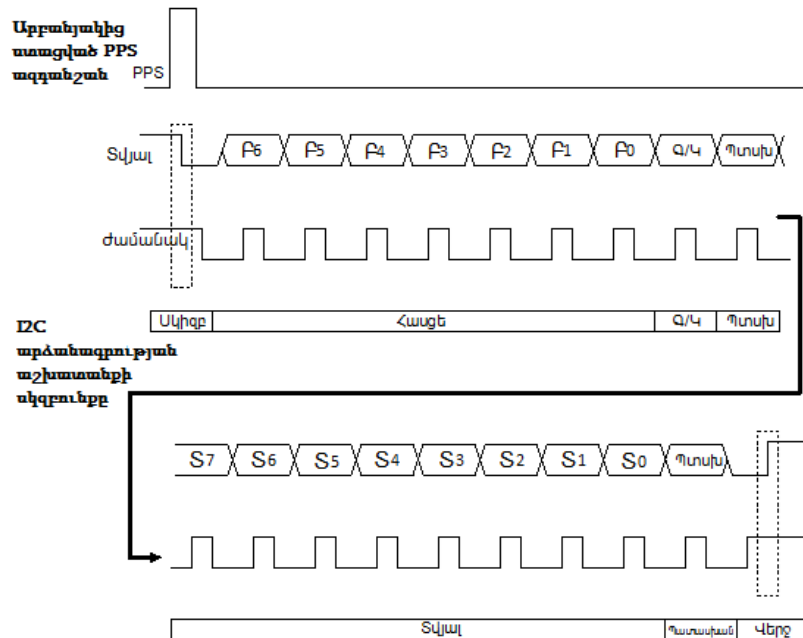


Նկ. 1. RTC-ի ռեգիստրներում արժեքների գրանցման հաջորդականությունը

Ինչպես երևում է նկարից, GPS ընդունիչից տվյալների ստացումը իրականանում է COMPort արձանագրության միջոցով, իսկ տվյալների փոխանցումը RTC-ի ռեգիստրներ՝ I2C արձանագրությամբ: Այսպիսով, FPGA-ում իրականացվել են GPS ընդունիչից տվյալների ստացումը COMPort արձանագրությամբ, ստացված տվյալների մշակումն ու արդյունքում ստացված ժամանակի, տարեվի և այլ կարգավորումների գրանցումը RTC-ի ռեգիստրներում I2C արձանագրության միջոցով և PPS ազդանշանի օգտագործմամբ, որն էլ ապահովում է RTC-ի ժամանակի ճշգրիտ սինքրոնացում GPS-ի ժամանակի նկատմամբ: Մշակված ծրագրով հնարավորություն է առաջանում՝ RTC կարգավորումների ռեգիստրներում փոփոխելու և գրանցելու ժամանակային ցանկացած արժեքներ և աշխատեցնելու RTC-ն նոր կարգավորումներով:

RTC-ների ռեգիստրների արժեքների բիթային հաջորդականությունների ստացումը, I2C և COMPort արձանագրությունները, PPS ազդանշանի վերելքի ճակատի որսումը և տվյալների սինքրոնացված փոխանցումը FPGA-ից RTC իրականացվել են sbRIO-9606 սարքի և LabVIEW ծրագրային փաթեթի միջոցով [4]:

Նկ.2-ում պատկերված է FPGA-ից դեպի RTC արժեքների փոխանցման սկզբունքը PPS ազդանշանի միջոցով: P0-P6 բիթերը ներկայացնում են RTC-ի հասցեն I2C արձանագրությամբ դիմելու համար, իսկ S0-S7՝ տվյալների բիթերը:



Նկ. 2. Տվյալների փոխանցումը FPGA-ից RTC I2C արձանագրության և PPS ազդանշանի միջոցով

Ինչպես երևում է նկ.2-ից, տվյալների փոխանցման սկիզբը սինքրոնացվում է PPS ազդանշանի վերելքի ճակատով: Տվյալների նմանատիպ մեթոդով փոխանցման ճշգրտության մեջ համոզվելու համար կատարվել են փորձեր, որոնց ընթացքում համեմատվել են RTC-ի և GPS-ի ժամանակները PPS ազդանշանի վերելքի ճակատի միջոցով: Այդ ժամանակների տարբերությամբ ստացվել է, որ RTC-ի ժամացույցը կարգավորվում է նվ-ի ճշտությամբ, ինչը լիարժեք բավարարում է արբանյակային հաղորդչի պայմաններին:

Փորձնական արդյունքները: Փորձնական չափումների համար օգտագործվել են HOLUX GR-89 և SIM68 GPS ընդունիչներ և M41T62 RTC ժամացույց [5]:

Նկ. 3-ում պատկերված է M41T62RTC-ի կարգավորման ռեգիստրների ցանկը, որոնք օգտագործվել են տվյալ տակտային գեներատորի կարգավորման համար: Այս ռեգիստրների պատկերը տարբեր տակտային գեներատորների համար կարող է լինել տարբեր, սակայն ռեգիստրների փոփոխման և վերակարգավորվման սկզբունքի իրականացումը FPGA-ում ծրագրավորման տեսանկյունից նույնն է:

Ինչպես երևում է նկարից, ընտրված RTC տակտային գեներատորն ունի չափաբերման համար նախատեսված ռեգիստր՝ «Չափաբերում», որի միջոցով հնարավոր է ապահովել ժամացույցի կայուն աշխատանքը ամիսների և տարիների ընթացքում:

Հասցե									Գործող /դիտարկվող BCD ձևաչափ	
	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0		
00h	0.1 վայրկյան				0.01 վայրկյան				10/100-ական վայրկյան	00-99
01h	ST	10 վայրկյան			Վայրկյան			Վայրկյան	00-59	
02h	OFIE	10 րոպե			Րոպե			Րոպե	00-59	
03h	0	0	10 ժամ		Ժամ (24-ժամանի ձևաչափ)			Ժամ	00-23	
04h	RS3	RS2	RS1	RS0	0	Շաբաթվա օր			Օր	01-7
05h	0	0	10 օր		Ամսվա օր			Ամսաթիվ	01-31	
06h	CB1	CB0	0	10Ա	Ամիս			Դար/Ամիս	0-3/01-12	
07h	10 տարի				Տարի				Տարի	00-99
08h	OUT	0	S	Չափաբերում					Չափաբերում	
09h	RB2	BMB4	BMB3	BMB2	BMB1	BMB0	RB1	RB0	Հետևում	
0Ah	AFE	SQWE	0	Ազդ. 10Ա	Ազդանշանիչի ամիս			Ազդ. ամիս	01-12	
0Bh	RPT4	RPT5	Ազդ. 10 օր		Ազդանշանիչի օր			Ազդ. օր	01-31	
0Ch	RPT3	0	Ազդ. 10 ժամ		Ազդանշանիչի ժամ			Ազդ. ժամ	00-23	
0Dh	RPT2	Ազդանշանիչ 10 րոպե		Ազդանշանիչի րոպե			Ազդ. րոպե	00-59		
0Eh	RPT1	Ազդանշանիչ 10 վայրկյան			Ազդանշանիչի վայրկյան			Ազդ. վրկ.	00-59	
0Fh	WDF	AF	0	0	0	OF	0	0	Դրոշակներ	

Նկ. 3. M41T62 RTC-ի ռեգիստրների պատկերը

Փորձնական չափումների արդյունքում առաջադրվում է չափաբերման արժեքի հաշվարկման հետևյալ բանաձևը (1).

$$N = \frac{\left(\frac{k}{f} \times \frac{\sum F}{N_{PPS}} - k \right)}{2}, \quad (1)$$

որտեղ $k=1000000ppm$ (pulse per million) հաստատուն մեծություն է և ցույց է տալիս չափաբերման ճշտությունը տվյալ RTC-ի համար, f -ը տակտային գեներատորի հաճախության արժեքն է՝ 2ⁿ, որտեղ $n=1,2,...,15$ (չափվում է Հց-երով և որոշվում է RS3-RS0 բիթերով, նկ.3), N_{PPS} -ը՝ PPS իմպուլսների քանակն է, իսկ $\sum F$ -ը հաշվարկվում է FPGA-ում և տակտային գեներատորի հաճախություններիայն գումարային արժեքն է, որքան ժամանակում որ կատարվում է չափաբերումը: Այս հավասարման արդյունքում ստացված արժեքը ցույց է տալիս, թե քանիտակտով է շեղված տակտային գեներատորը:

Որքան տակտային գեներատորի արժեքը (f) մեծ տեղադրվի ռեգիստրում, այնքան ավելի քիչ ժամանակ կպահանջվի չափաբերման համար: Այդ իսկ պատճառով այդ արժեքը փորձերից մեկումտեղադրվել է 512Հց, և չափաբերումը հաշվարկվել է 30րոպե (1800 իմպուլս): Ստացված արդյունքը հետևյալն է (2).

$$N = \frac{\left(\frac{1000000ppm}{512Hz} \times \frac{921610,8Hz}{1800} - 1000000ppm \right)}{2} = 5.859ppm \approx 6ppm: \quad (2)$$

Այսինքն, FPGA-ում տակտային գեներատորի իրական արժեքը հաշվարկվել է 512.006 Հց, իսկ հավասարման արդյունքում ստացվել է, որ 1000000 տակտի ընթացքում RTC-ն ունենում է 6 տակտ «դրական» շեղում, ինչը ժամանակի ընթացքում հանգեցնում է մեծ շեղման: Հավասարման արդյունքում ստացված արժեքը գրանցվում է չափաբերման ռեգիստրում, իսկ S-բիթը որոշում է չափաբերման «+» կամ «-» արժեքը (նկ.3): Այսպիսով, այս արժեքի ճշգրիտ չափման և ռեգիստրում գրանցման արդյունքում RTC-ն ապահովվում է կայուն աշխատանքով:

Եզրակացություն: Իրականացվել է իրական ժամանակով տակտային գեներատորի գերճշգրիտ կարգավորում PPS ազդանշանի և FPGA-ի միջոցով: Փորձերի հիման վրա ստացվել է չափաբերման բանաձև, որի միջոցով հնարավոր է ապահովել RTC-ի կայուն աշխատանք տարիների ընթացքում: Ստացված արդյունքների հիման վրա կարելի է եզրակացնել, որ մշակված ծրագիրը կիրառելի է արբանյակային հաղորդիչներում և այլ գերճշգրիտ համակարգերում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **National Semiconductor Corporation.** Real Time Clock Handbook: 1993.- Pennsylvania State University, 18 Sep. 2009.
2. **James Bao-Yen Tsui.** Fundamentals of Global Positioning System receivers. - John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005.
3. **Clive Maxfield Burlington.** FPGAs Instant Access. - USA, UK, August, 2008.
4. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/210003>.
5. <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00019860.pdf>.

А.Г. АРЗУМАНЯН

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТАКТОВОГО ГЕНЕРАТОРА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ (RTC) С ПОМОЩЬЮ СИГНАЛА GPS В ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЕ (ПЛИС)

Рассмотрены возможность и принципы настройки сверхвысокоточного регулирования тактового генератора в реальном времени (RTC). Приведена программа регулирования RTC в программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС), с помощью которой реализуются запись данных в RTC регистрах и калибровка для обеспечения сверхвысокоточности работы.

Ключевые слова: тактовый генератор в реальном времени (RTC), GPS, сверхвысокоточное регулирование, регистр, спутник, калибровка.

H.G. ARZUMANYAN

REAL-TIME CLOCK CONFIGURATION (RTC) BY THE GPS SIGNAL IMPLEMENTED IN A FIELD-PROGRAMMABLE GATE ARRAY (FPGA)

Highly precise configuration ability and principles of real-time clock (RTC) are reconsidered. The RTC configuration software is introduced in the field-programmable gate array (FPGA), which performs data recording of RTC registers and calibration for providing high precision work.

Keywords: Real-Time Clock (RTC), GPS, highly precise configuration, register, satellite, calibration.

УДК 621.391

Б.Ф. БАДАЛЯН, О.А. ГОМЦЯН

ВЕЙВЛЕТ-РЕКОНСТРУКЦИЯ И ОЧИСТКА СИГНАЛОВ В СРЕДЕ SIMULINK

Рассматриваются теория и методы разложения произвольных функций и сигналов на основе вейвлет-преобразований. Приведены теоретические основы вейвлет-фильтрации и реконструкции. В среде SIMULINK разработана блок-диаграмма системы, реализующая вейвлет-обработку и фильтрацию от шума произвольных сложных сигналов.

Ключевые слова: вейвлет-преобразования, базисная функция, частотный образ, фильтрация шума.

Введение. В последние десятилетия для разложения произвольных непериодических сигналов с сильно локализованными изменениями все чаще применяют функции с графиком типа маленькой волны или всплеска, называемые вейвлетами. Вейвлеты — это обобщенное название функций, имеющих вид волновых пакетов той или иной формы, локализованных по оси независимой переменной (t или x) и способных к сдвигу по ней и масштабированию. Вейвлеты создаются с помощью специальных базисных функций — прототипов, задающих их вид и свойства. В сущности, вейвлеты — это новый алгоритм приближения функций и сигналов произвольной формы.

Вейвлеты имеют явные преимущества в представлении локальных особенностей сигналов по сравнению с рядами Фурье. Вейвлет-обработка сигналов обеспечивает возможность эффективного сжатия сигналов и их восстановления с минимальными потерями информации, а также решение задач фильтрации.

Основная часть. В последнее время наметилась тенденция к использованию широкополосных импульсных и цифровых сигналов (импульсная локация, видеосредства компьютеров и т.д.). Общепринятым подходом к анализу таких сигналов является их представление в виде взвешенной суммы простых составляющих — базисных функций $\psi_k(t)$, помноженных на коэффициенты C_k :