

# РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПЕРЕДАЧИ, ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ RADIO ELECTRONIC FACILITIES FOR SIGNAL TRANSMISSION, RECEPTION AND PROCESSING

<https://doi.org/10.32603/1993-8985-2019-22-2-5-12>

УДК 621.396.621.59

**А. А. Прасолов** ✉

Санкт-Петербургский государственный университет  
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
пр. Большевиков, д. 22, корп. 1, Санкт-Петербург, 193232, Россия

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВОЙ АРУ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ С ФИКСИРОВАННОЙ ТОЧКОЙ

### Аннотация

**Введение.** Системы связи на сегодняшний день в основном являются цифровыми. Одной из задач автоматической регулировки усиления в цифровых приемниках является поддержание аналоговых сигналов на уровне, не допускающем насыщения аналого-цифрового преобразователя. Большинство численных алгоритмов основаны на арифметике с плавающей точкой, а полностью цифровая автоматическая регулировка усиления обычно реализуется с помощью устройств, работающих на арифметике с фиксированной точкой, таких, как микросхемы программируемой логики и сигнальные процессоры. Вследствие использования арифметики с фиксированной точкой и аппаратного ограничения выходные значащие биты должны быть корректно усечены. Хотя во многих исследованиях упоминается цифровая автоматическая регулировка усиления, ее характеристики подробно не рассматривались в условиях конечной разрядности вычислителей.

**Цель работы.** Анализ динамических характеристик цифровой автоматической регулировки усиления для реализации на вычислителе при операциях над числами с фиксированной точкой.

**Материалы и методы.** В рамках исследования разработана математическая модель цифровой автоматической регулировки усиления в математическом пакете MATLAB и ее реализация на микросхеме программируемой логики.

**Результаты.** Показаны отличие характеристик и особенности работы цифровой автоматической регулировки усиления при операциях над числами с фиксированной точкой. Произведена оценка влияния сигналов с фиксированной точкой на стабильность работы цифровой автоматической регулировки усиления. Проведен анализ причин возникновения паразитных колебаний управляющего сигнала.

**Заключение.** В результате данного исследования предложен алгоритм компенсации колебаний управляющего сигнала за счет коррекции опорного уровня цифровой автоматической регулировки усиления. В дальнейшем требуется проверка предложенного алгоритма на реальных сигналах. Результаты этой работы актуальны в задачах разработки цифровых приемников для систем связи различного назначения.

**Ключевые слова:** цифровая АРУ, операции с фиксированной точкой, округление чисел, управляющий сигнал, паразитные колебания

**Для цитирования:** Прасолов А. А. Характеристики цифровой АРУ при операциях с фиксированной точкой // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2019. Т. 22, № 2. С. 5–12. doi: 10.32603/1993-8985-2019-22-2-5-12

**Источник финансирования.** Инициативная работа.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 22.02.2019; статья принята к публикации 18.03.2019; опубликована онлайн 24.04.2019

© Прасолов А. А., 2019



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License

Aleksandr A. Prasolov ✉

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications  
22/1 Prospect Bolshevikov St. Petersburg, 193232, Russia

## CHARACTERISTICS OF DIGITAL AGC IN FIXED-POINT OPERATIONS

### Abstract

**Introduction.** Nowadays, communication systems are mostly digital. One of the tasks of automatic gain control in digital receivers is to maintain analog signals at the appropriately fixed level, which prevents saturation of the analog-to-digital converter. Most numerical algorithms are based on floating point arithmetic, and digital automatic gain control is usually implemented using fixed-point arithmetic devices such as programmable logic chips and signal processors. As consequence of fixed-point arithmetic and hardware constraints usage, the out-put significant bits should be truncated correctly. Although many studies mention digital automatic gain control, its characteristics are not considered in detail in terms of the finite capacity of calculators.

**Objective.** The purpose of the study is to analyze dynamic characteristics of digital automatic gain control implemented on a computer for operations on numbers with fixed-point.

**Materials and methods.** Within the frames of the study in Matlab software was developed a mathematical model of digital automatic gain control. The model was implemented on a programmable logic chip.

**Results.** The paper shows the difference in characteristics and features of the digital automatic gain control during operations on fixed-point numbers. The study provides the assessment of the effect of fixed-point signals on the stability of the digital automatic gain control and includes the analysis of causes of spurious oscillations of the control signal.

**Conclusion.** The study proposes the algorithm for compensation of the control signal oscillations by means of correction of the reference level of the digital automatic gain control. Further is required to verify the proposed algorithm on real signals. The results of the study are relevant in development of digital receivers for communication systems of various purposes.

**Key words:** digital AGC, fixed point operations, rounding of numbers, control signal, parasitic oscillations

**For citation:** Prasolov A. A. Characteristics of Digital AGC in Fixed-Point Operations. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2019, vol. 22, no. 2, pp. 5–12. doi: 10.32603/1993-8985-2019-22-2-5-12 (In Russ.)

---

**Source of financing.** Initiative work.

**Conflict of interest.** Authors declare no conflict of interest.

Received 22.02.2019; accepted 18.03.2019; published online 24.04.2019

---

**Введение.** В настоящее время системы связи в большей степени являются цифровыми [1], [2]. В таких приемниках аналоговый сигнал дискретизируется и квантуется с использованием аналого-цифрового преобразователя (АЦП), как правило, на промежуточной частоте [3]. Для предотвращения насыщения АЦП максимальное значение аналогового сигнала на промежуточной частоте поддерживается на фиксированном уровне, обеспечивающем максимально возможное отношение сигнал/шум при отсутствии нелинейных искажений, цепью автоматической регулировки усиления (АРУ) [4].

Большинство численных алгоритмов обработки сигналов основаны на арифметике с плавающей точкой, а полностью цифровая АРУ обычно реализуется с помощью устройств, работающих на арифметике с фиксированной точкой, таких как программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) и цифровые сигнальные процессоры [5]. В силу дискретной сетки отсче-

тов для этих устройств характерно наличие ошибки квантования аналогового сигнала.

Слабые сигналы, принимаемые антенной, после выполнения аналого-цифрового преобразования на промежуточной или высокой частоте сначала поступают на цифровой понижающий преобразователь для переноса на нулевую частоту, а затем – в многоступенчатые фильтры-дециматоры. Задача последних заключается в снижении скорости цифрового потока до значения, соответствующего условиям теоремы о полосовой дискретизации. Чем больше коэффициент децимации, тем выше разрядность сигнала на выходе фильтра-дециматора [6]. Из-за использования арифметики с фиксированной точкой и ограниченной разрядности регистров вычислителя разрядность выходных сигналов уменьшается без существенного ухудшения отношения сигнал/шум.

Описанию базовой структуры и теории полностью цифровой АРУ (ЦАРУ) посвящено много

исследований. Например, в [7] дана общая структура АРУ, проанализирован динамический диапазон. Анализ стабильности и времени регулирования ЦАРУ в приемнике цифрового телевидения с учетом характерного для этого применения мультиплексирования и ортогонального частотного разделения выполнен в [8]–[10]. Необходимо отметить, что, несмотря на использование ЦАРУ в различных приложениях, достигнутая к настоящему времени точность ее работы, определяющая, в частности, появление искажений сигнала, не соответствует требованиям систем реального времени. Кроме того, характеристики ЦАРУ подробно не рассматривались с учетом конечной разрядности вычислителей [5].

Целью настоящей статьи является анализ динамических характеристик ЦАРУ при реализации алгоритма на ПЛИС и описание моделирования ее работы в математическом пакете Matlab.

**Структурная схема ЦАРУ при фиксированной разрядности.** В [11] рассмотрены параметры ЦАРУ, полученные в результате ее моделирования в математическом пакете MATLAB при вычислениях с двойной точностью (64 бит). Однако при реализации ЦАРУ в реальном устройстве придется столкнуться, с одной стороны, с ограничением разрядности, а с другой – с выполнением всех вычислений над числами с фиксированной точкой. Поэтому далее рассмотрены параметры ЦАРУ при указанной реализации.

На рис. 1 показана структурная схема ЦАРУ при фиксированной разрядности шин: разрядность входного сигнала  $x(n)$  – 16 бит, а разрядность управляющего сигнала  $A'(n)$  – 6 бит. Следовательно, разрядность неусеченного сигнала  $y(n)$  составит 22 бит.

Схема ЦАРУ при фиксированной разрядности шин и регистров (рис. 1) имеет небольшие отличия от структурной схемы ЦАРУ, промоделированной

в [11]. Во-первых, вместо операции умножения на коэффициент  $\alpha$  используется операция деления, так как  $\alpha$  является коэффициентом фильтра и принимает значения, не превосходящие 1. Тогда  $\alpha$  вычисляется как  $\alpha = 1/\alpha^*$ , где  $\alpha^*$  – заданное значение постоянной времени. Во-вторых, в структурную схему добавлен блок масштабирования, в котором выполняется операция деления управляющего сигнала на константу  $2^{(22-6)}$  для перевода значения управляющего сигнала из 22-разрядного представления в 6-разрядное. Основное отличие заключается в том, что коэффициент передачи ЦАРУ регулируется только в одном направлении: увеличивается от 1 до  $2^n$ , где  $n$  – разрядность шины управления.

При моделировании результаты математических операций округляются к ближайшему значению разрядной сетки, что соответствует методу, обычно используемому в цифровых процессорах [12]. При выходе результата за пределы разрядной сетки оно округляется до этого предела, поскольку в большинстве вычислителей, в том числе и в ПЛИС, вычисление выполняется циклически по модулю  $2^n$ , т. е. при  $n = 8 \quad 255 + 1 = 0$ . Такой режим вычисления в математическом пакете MATLAB называется "wrap" [13].

**Сравнение характеристик ЦАРУ при моделировании в математическом пакете MATLAB и реализации на ПЛИС.** Основными характеристиками системы АРУ в статическом режиме являются: амплитудная  $U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$  и регулировочная  $K_0(U_p)$  зависимость общего коэффициента усиления всех регулируемых каскадов от регулирующего напряжения.

Цепь обратной связи характеризуется статической зависимостью  $U_p(U_{\text{вых}})$ . Эффективность системы АРУ оценивается динамическим диапазо-

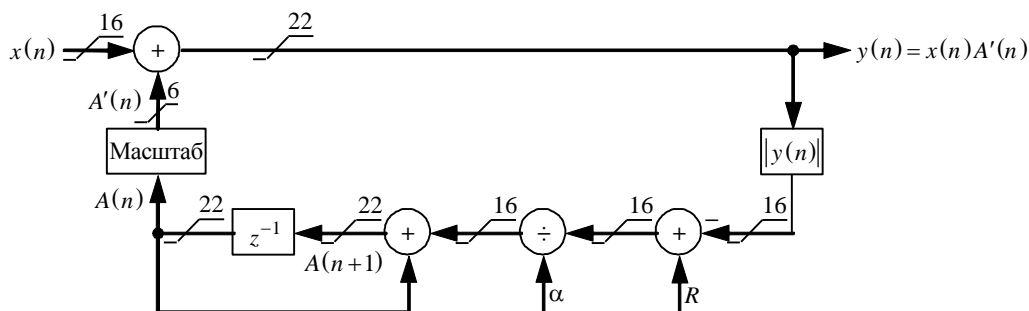


Рис. 1. Структурная схема ЦАРУ  
Fig. 1. Block diagram of digital automatic gain control

ном, связанным с регулировочной характеристикой:

$$D_p = K_{0\max}/K_{0\min} = m/p, \quad (1)$$

где  $m = U_{\text{ВХ max}}/U_{\text{ВХ min}}$ ,  $p = U_{\text{ВЫХ max}}/U_{\text{ВЫХ min}}$  – динамические диапазоны входного и выходного сигналов соответственно.

Показатели качества, определяемые по кривой переходного процесса, называют прямыми оценками качества [14]. К этим показателям относятся: ошибка регулирования, быстродействие, перерегулирование.

Для оценки точности системы управления используется ошибка регулирования [14]:

$$\Delta(n) = R - h(n),$$

где  $R$  – опорный уровень сигнала ЦАРУ;  $h(n)$  – переходная характеристика. Таким образом, ошибка регулирования является зеркальным отображением переходной характеристики относительно опорного уровня.

Ошибка регулирования с течением времени стремится к некоторому постоянному значению, называемому статической ошибкой:

$$\Delta_{\text{ост}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \Delta(n).$$

Статическая ошибка является одной из основных количественных характеристик процессов системы управления [14].

Быстродействие ЦАРУ характеризуют длительностью переходного процесса  $t_n$  – временем перехода от начала процесса до момента достижения установившегося значения со статической ошибкой  $\Delta_{\text{ост}}$ , не превышающей заданного значения. В качестве установившегося значения примем значение переходной характеристики в момент времени  $T_{\text{уст}}$ , который удовлетворяет условию:  $T_{\text{уст}} \gg t_n$ . Тогда длительность переходного процесса вычисляется как [14]

$$t_n = \min [t_i | h(n) - h(T_{\text{уст}}) \leq \Delta, n \geq t_i].$$

Перерегулирование, характеризующее колебательные свойства системы, определяется как относительное отклонение от установившегося значения [5]:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h(T)}{h(T)},$$

где  $h_{\max}$  – максимальное значение переходной функции.

Табл. 1. Показатели качества ЦАРУ с фиксированной точкой

Table 1. Quality indicators of digital automatic gain control with fixed point

Показатель качества Quality indicator	MATLAB		Quartus II	
	$\alpha$			
	0.5	0.1	0.5	0.1
Статическая ошибка $\Delta_{\text{ост}}$ Static error $\Delta_{\text{ост}}$	0	0	0	0
Время переходного процесса $t_n$ , отсчетов Transition time $t_n$ , samples	3	11	3	11
Перерегулирование $\sigma$ , % Overshoot $\sigma$ , %	0	0	0	0

Табл. 2. Показатели качества ЦАРУ с плавающей точкой  
Table 2. Quality indicators of digital automatic gain control with floating point

Показатель качества Quality indicator	$\alpha$		
	0.5	0.1	0.05
Статическая ошибка $\Delta_{\text{ост}}$ Static error $\Delta_{\text{ост}}$	0	$2.2 \cdot 10^{-16}$	$5.5 \cdot 10^{-16}$
Время переходного процесса $t_n$ , отсчетов Transition time $t_n$ , samples	53	332	668
Перерегулирование $\sigma$ , % Overshoot $\sigma$ , %	0	0	0

Корректность модели на основе структурной схемы ЦАРУ (рис. 1) в математическом пакете MATLAB подтверждается реализацией данной ЦАРУ на ПЛИС в среде разработки Quartus II. В табл. 1 приведены результаты реализации рассматриваемой ЦАРУ в MATLAB и Quartus II при различных значениях коэффициента  $\alpha$ . Как видно из табл. 1, модель, полученная в математическом пакете MATLAB, соответствует реализации на ПЛИС в среде разработки Quartus II. Необходимо отметить, что отличием, полученным при моделировании работы ЦАРУ с фиксированной точкой (табл. 1), явилось существенное сокращение времени переходного процесса по сравнению с режимом с плавающей точкой (табл. 2), вследствие возрастания шага регулирования.

**Влияние разрядности сигналов на качественные показатели ЦАРУ.** При увеличении разрядности сигналов (рис. 1) время регулирования приближается к значениям, приведенным в табл. 2. Однако повышение разрядности сигнальных шин без увеличения разрядности управляющего сигнала  $A'(n)$  не приводит к росту времени регулирования, так как точность будет ограничиваться разрядностью шины  $A'(n)$  6 бит (табл. 3). Результаты, приведенные в табл. 3, были получены

Табл. 3. Показатели качества ЦАРУ  
при различной разрядности шин данных  
Table 3. Quality indicators of digital automatic gain control  
with different data bus capacity

Показатель качества Quality indicator	Разрядность шины данных, бит					
	32	22	16	32		
	A(n), бит					
	—				6	
Статическая ошибка Δ <sub>ост</sub> Static error Δ <sub>ост</sub>	1.5× ×10 <sup>-8</sup>	1.5× ×10 <sup>-5</sup>	9.8× ×10 <sup>-4</sup>	0	0	
Время переходного процесса t <sub>n</sub> , отсчетов Transition time t <sub>n</sub> , samples	27	17	11	3	3	
Перерегулирование σ, % Overshoot σ, %	0	0	0	0	0	

при условии, что  $R=1$ ,  $\alpha=0.5$ , а на выходе блока масштабирования сохраняются пределы изменения управляющего сигнала от 0 до 32.

**Показатели качества линейной ЦАРУ при различных значениях уровня входного сигнала.** Поскольку разрядность управляющего сигнала влияет на шаг регулирования, это должно сказываться как на статической ошибке, так и на перерегулировании. Для изучения этого эффекта на вход ЦАРУ подавался сигнал с уровнем, не соответствующим дискретному значению разрядной сетки управляющего сигнала.

В табл. 4 приведены показатели качества линейной ЦАРУ при различных уровнях сигнала на входе, опорном уровне  $R=1$ ,  $\alpha=0.5$  и 0.1. Как следует из приведенных данных, при приближении входного сигнала к дискретным значениям разрядной сетки в петле ЦАРУ возникает перерегулирование. Это связано с дискретным изменением управляющего сигнала между двумя сосед-

Табл. 4. Показатели качества ЦАРУ  
в зависимости от уровня входного сигнала  
Table 4. Quality indicators of digital automatic gain control  
depending on the input signal level

Уровень входного сигнала	$\alpha$					
	0.5			0.1		
	$\Delta_{\text{ост}}$	$t_n$ , от- счетов	$\sigma$ , %	$\Delta_{\text{ост}}$	$t_n$ , от- счетов	$\sigma$ , %
0.01	$1.8 \cdot 10^{-4}$	581	0	$1.8 \cdot 10^{-4}$	3120	0
0.02	$3.1 \cdot 10^{-5}$	228	0	$3.1 \cdot 10^{-5}$	1224	0
0.03	0.01	98	20	0.01	529	20
0.04	0.02	152	20	0.02	822	20
0.05	0	60	0	0	321	0
0.06	0.02	69	20	0.02	375	20
0.07	0.03	21	40	0.03	107	40
0.08	0.02	21	60	0.02	107	60
0.09	0.01	21	80	0.01	107	80
0.10	0	21	0	0	107	0

ними значениями дискретной сетки, характерным для операций с фиксированной точкой.

**Влияние сигналов с фиксированной точкой на стабильность работы ЦАРУ.** На рис. 2 показано изменение управляющего сигнала при входном сигнале  $x(n)=0.03$ ,  $R=1$  и  $\alpha=0.5$ , а на рис. 3 – изменения этого сигнала в зависимости от его среднего уровня. Как видно из рисунков, операции с фиксированной точкой в ЦАРУ не позволяют достичь установившегося режима, так как статическая ошибка составляет половину младшего значащего разряда.

Для борьбы с указанным явлением предложены решения, основанные на введении дополнительных элементов в схему ЦАРУ. В [15] в схему ЦАРУ добавлен блок детектирования колебаний, который устанавливает на выходе цифрового фильтра одно из двух значений сигнала ошибки, между которыми происходят колебания, либо иное значение, сводящее ошибку регулирования к минимуму. В [16] описан алгоритм построения автоматической регулировки усиления с фильтром Калмана в цепи обратной связи АРУ для установки усиления  $K$  в этой цепи.

Аналогичного эффекта можно достичь подстройкой опорного сигнала под минимум ошибки.

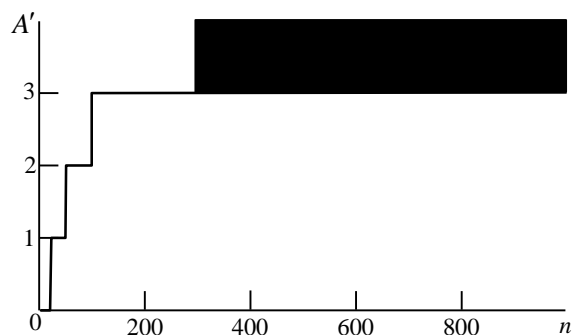


Рис. 2. Управляющий сигнал ЦАРУ при вычислениях с фиксированной точкой  
Fig. 2. The control signal of digital automatic gain control in fixed point calculations

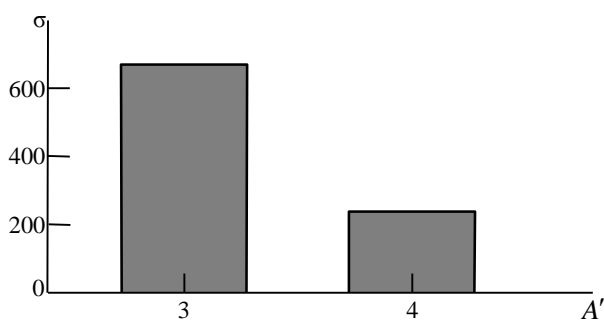


Рис. 3. Перерегулирование управляющего сигнала  
Fig. 3. The overshoot of the control signal

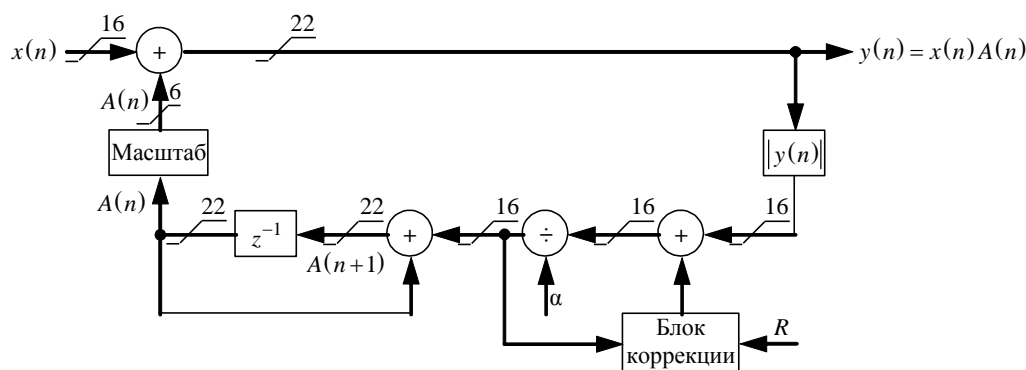


Рис. 4. Структурная схема ЦАРУ с блоком коррекции опорного уровня

Fig. 4. Block diagram of digital automatic gain control with reference level correction unit

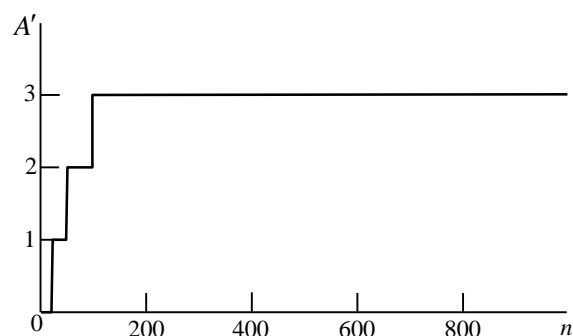


Рис. 5. Управляющий сигнал ЦАРУ при вычислениях с фиксированной точкой и коррекции опорного уровня  
Fig. 5. The control signal of digital automatic gain control in fixed point calculations and reference level correction

На рис. 4 показана модернизированная структурная схема ЦАРУ, в которую добавлен блок коррекции опорного уровня. Этот блок изменяет опорный уровень  $R$  таким образом, чтобы ошибка регулирования не превосходила шаг квантования управляющего сигнала  $A'(n)$ :  $|y(n)| - R < 1/2^b$ , где  $b$  – разрядность управляющего сигнала. Показатели качества цифровой АРУ при этом не изменяются, однако это позволяет устранить колебания управляющего сигнала в установившемся режиме (рис. 5).

**Закключение.** Основное отличие работы ЦАРУ при вычислениях с фиксированной точкой заключается в том, что регулировка ее коэффициента передачи осуществляется только в одном направлении. При работе с фиксированной точкой время переходного процесса заметно сокращается, так как возрастает шаг регулирования, а это сказывается как на статической ошибке, так и на перерегулировании. При увеличении разрядности статическая ошибка уменьшается. Однако операции с фиксированной точкой в ЦАРУ не позволяют достичь установившегося режима, так как статическая ошибка из-за конечного шага регулирования не стремится к нулю, а равна половине младшего значащего разряда. В результате возникают колебания управляющего сигнала.

Предложена модернизированная схема ЦАРУ, в которую добавлен блок коррекции опорного уровня, позволяющий компенсировать статическую ошибку. Проверка предложенного алгоритма на реальных сигналах предусматривается в дальнейшем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Digital Enterprise and Information Systems // Intern. Conf., DEIS 2011, London, UK July 20–22, 2011. Proc.; ed. by E. Ariwa, E. El-Qawasmeh. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 766 p.
2. Sigismondi P. The digital globalization of entertainment: New paradigms in the 21st century global mediascape. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. 138 p. (The Economics of Information, Communication and Entertainment. Vol. 3).
3. Narieda S. AGC and ADC effects on receiver performance in FDM based narrowband wireless systems // 2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conf. (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 11–14 Jan. 2013.

Piscataway: IEEE, 2013. P. 449–454. doi: 10.1109/CCNC.2013.6488482

4. Pan H. Y. M., Larson L. E. Improved Dynamic Model of Fast-Settling Linear-in-dB Automatic Gain Control Circuit // 2007 IEEE Intern. Symp. on Circuits and Systems. New Orleans, LA, USA, 27–30 May 2007. Piscataway: IEEE, 2007. P. 681–684. doi: 10.1109/ISCAS.2007.377900

5. Huang C., Yan X., He L. A high-precision all-digital automatic gain control algorithm for broadband real-time spectrum analyzer // 2013 Intern. Conf. on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS). Chengdu, China, 15–17 Nov. 2013. Piscataway: IEEE, 2013. Vol. 1. P. 240–244. doi: 10.1109/ICCCAS.2013.6765225

6. Yan X., Wang Q., Qin K. A new signal capture method based on real-time multi-domain trigger in communication analyzer // 2009 IEEE Circuits and Systems Intern. Conf. on Testing and Diagnosis. Chengdu, China, 28–29 April 2009. Piscataway: IEEE, 2009. P. 1–4. doi: 10.1109/CAS-ICTD.2009.4960757

7. Vucic M., Butorac M. All-digital high-dynamic automatic gain control // 2009 IEEE Intern. Symp. on Circuits and Systems. Taipei, Taiwan, 24–27 May 2009. Piscataway: IEEE, 2009. P. 1032–1035. doi: 10.1109/ISCAS.2009.5117935

8. Optimized digital automatic gain control for DVB-S2 system / Y. Zhang, J. Cao, C. Wu, J. Han, X. Zeng // 2010 Wireless Telecommunications Symp. (WTS). Tampa, FL, USA, 21–23 April 2010. Piscataway: IEEE, 2010. P. 1–5. doi: 10.1109/WTS.2010.5479628

9. Implementation of automatic gain control in OFDM digital receiver on FPGA / L. Liang, J. Shi, L. Chen, S. Xu // 2010 Intern. Conf. on Computer Design and Applications. Qinhuangdao, China, 25–27 June 2010. Piscataway: IEEE, 2010. Vol. 4. P. V4-446–V4-449. doi: 10.1109/ICCD.2010.5540895

10. Ju C., Ma J. Finite word length analysis and design of digital automatic gain control system for mobile TV

applications // 2009 Intern. SoC Design Conf. (ISOC). Busan, South Korea, 22–24 Nov. 2009. Piscataway: IEEE, 2009. P. 270–273. doi: 10.1109/SOCD.2009.5423800

11. Прасолов А. А., Шпак С. А. Моделирование переходного процесса цифровой автоматической регулировки усиления // Информационные технологии моделирования и управления. 2013. № 1. С. 40–45.

12. Raj A. A. B. FPGA-Based Embedded System Developer's Guide. Boca Raton: CRC Press, 2018. 804 p.

13. Bouganis C. S., Constantinides G. A. Synthesis of DSP algorithms from infinite precision specifications // High-Level Synthesis. Dordrecht: Springer, 2008. P. 197–214.

14. Бесекецкий В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. СПб.: Профессия, 2003. 752 с.

15. Pat. USA 6,292,120. Int.Cl. H03M 1/18 (2006.01.01). Automatic gain control for input to analog to digital converter / D. Painchaud, L. J. Wachter. Publ. 09/18/2001.

16. Azou S., Luca M. B., Burel G. Automatic gain control in a Kalman filter based synchronization chaotic receiver // Proc. of IEEE Communications Conf., Bucharest, Romania, June 3–5, 2004. Piscataway: IEEE, 2004. P. 1–4.

**Прасолов Александр Александрович** – инженер по специальности "Радиосвязь, радиовещание и телевидение" (2004), старший преподаватель кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Автор 18 научных публикаций. Сфера научных интересов – цифровые радиоприемные устройства; ПЛИС.  
E-mail: prasolov.alex@gmail.com

## REFERENCES

1. Digital Enterprise and Information Systems: Intern. Conf., DEIS 2011, London, UK July 20–22, 2011. Proc.; ed. by E. Ariwa, E. El-Qawasmeh. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2011, 766 p.

2. Sigismondi P. The Digital Globalization of Entertainment: New Paradigms in the 21st Century Global Mediascape. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012, 138 p. (The Economics of Information, Communication and Entertainment. Vol. 3).

3. Nareda S. AGC and ADC Effects on Receiver Performance in FDM Based Narrowband Wireless Systems. 2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conf. (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 11–14 Jan. 2013. Piscataway, IEEE, 2013, pp. 449–454. doi: 10.1109/CCNC.2013.6488482

4. Pan H. Y. M., Larson L. E. Improved Dynamic Model of Fast-Settling Linear-in-dB Automatic Gain Control Circuit. 2007 IEEE Intern. Symp. on Circuits and Systems. New Orleans, LA, USA. 27–30 May 2007. Piscataway, IEEE, 2007, pp. 681–684. doi: 10.1109/ISCAS.2007.377900

5. Huang C., Yan X., He L. A High-Precision All-Digital Automatic Gain Control Algorithm for Broadband Real-Time Spectrum Analyzer. 2013 Intern. Conf. on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS). Chengdu, China, 15–17 Nov. 2013. Piscataway, IEEE, 2013, vol. 1, pp. 240–244. doi: 10.1109/ICCCAS.2013.6765225

6. Yan X., Wang Q., Qin K. A New Signal Capture Method Based on Real-Time Multi-Domain Trigger in Communication Analyzer. 2009 IEEE Circuits and Systems Intern. Conf. on Testing and Diagnosis. Chengdu, China, 28–29 April 2009. Piscataway, IEEE, 2009, pp. 1–4. doi: 10.1109/CAS-ICTD.2009.4960757

7. Vucic M., Butorac M. All-Digital High-Dynamic Automatic Gain Control. 2009 IEEE Intern. Symp. on Circuits and Systems. Taipei, Taiwan, 24–27 May 2009. Piscataway, IEEE, 2009, pp. 1032–1035. doi: 10.1109/ISCAS.2009.5117935

8. Zhang Y., Cao J., Wu C., Han J., Zeng X. Optimized Digital Automatic Gain Control for DVB-S2 System. 2010 Wireless Telecommunications Symp. (WTS). Tampa, FL, USA, 21–23 April 2010. Piscataway, IEEE, 2010, pp. 1–5. doi: 10.1109/WTS.2010.5479628

9. Liang L., Shi J., Chen L., Xu S. Implementation of Automatic Gain Control in OFDM Digital Receiver on FPGA. 2010 Intern. Conf. on Computer Design and Applications. Qinhuangdao, China, 25–27 June 2010. Piscataway, IEEE, 2010, vol. 4, pp. V4-446–V4-449. doi: 10.1109/ICCD.2010.5540895

10. Ju C., Ma J. Finite Word Length Analysis and Design of Digital Automatic Gain Control System for Mobile TV Applications. 2009 Intern. SoC Design Conf. (ISOC). Busan, South Korea, 22–24 Nov. 2009. Piscataway, IEEE, 2009, pp. 270–273. doi: 10.1109/SOCD.2009.5423800

11. Prasolov A. A., Shpak S. A. Simulation of the Transient Digital Automatic Gain Control. *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya* [Information Technology Modeling and Management]. 2013, no. 1, pp. 40–45. (In Russ.)

12. Raj A. A. B. FPGA-Based Embedded System Developer's Guide. Boca Raton, CRC Press, 2018, 804 p.

13. Bouganis C. S., Constantinides G. A. Synthesis of DSP Algorithms from Infinite Precision Specifications. High-Level Synthesis. Dordrecht: Springer, 2008, pp. 197–214.

14. Besekerskii V. A., Popov E. P. *Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Theory of Automatic Control Systems]. SPb, *Professiya*, 2003, 752 p. (In Russ.)

15. Painchaud D., Wachter L. J. Pat. USA 6,292,120. Int.Cl. H03M 1/18 (2006.01.01). Automatic Gain Control for Input to Analog to Digital Converter. Publ. 09.18.2001.

16. Azou S., Luca M. B., Burel G. Automatic Gain Control in a Kalman Filter Based Synchronization Chaotic Receiver. Proc. of IEEE Communications Conf., Bucharest, Romania, June 3–5, 2004. Piscataway, IEEE, 2004, pp. 1–4.

**Aleksandr A. Prasolov** – Dipl.-engineering (2004), Engineer in "Radio communications, broadcasting and television", Senior Lecturer of the Department of Radio Communications and Broadcasting of The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications. The author of 18 scientific publications. Area expertise: digital radio receivers; FPGAs.

E-mail: prasolov.alex@gmail.com

---

## Книжные новинки



УДК 621.396.677

ББК 3 845.4

Ш64

Авторы: А. М. Александрин, Р. О. Рязанцев, Ю. П. Саломатов, М. И. Сугак.

Широкополосные линзовые антенны из искусственного неоднородного диэлектрика (практические конструкции) / под. ред. Ю. П. Саломатова.

СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2018. 182 с.

ISBN 978-5-7629-2364-4

Рассмотрены вопросы электродинамического моделирования и конструирования широкополосных линзовых антенн с использованием искусственного диэлектрика на основе плоскостойких сред. Применение в линзовых антеннах искусственного неоднородного диэлектрика позволяет существенно расширить их функциональные возможности. Рассмотрены вопросы практической реализации неоднородного диэлектрика с зависящим от координат коэффициентом преломления с учетом современных технологических возможностей. Освещены вопросы анализа неоднородных плоскостойких сред, таких, как периодические, с перфорацией, радиально-неоднородные, а также вопросы моделирования линзовых антенн из неоднородного искусственного диэлектрика, включая проектирование облучателей. Приведены данные экспериментальных исследований неоднородных линзовых антенн, выполненных на основе предлагаемых в книге моделей.