



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-4-38-45>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 621.396.666

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ

Т. М. МАРЧУК, А. А. ДЕНИС, А. В. ГРИНКЕВИЧ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 23.10.2023

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

**Аннотация.** При работе радиолокационных станций на вход приемника поступают радиоимпульсы различной интенсивности в зависимости от типа цели, дальности до цели и других факторов. Регулировка усиления приемника необходима для настройки его чувствительности таким образом, чтобы обеспечить наилучший прием сигналов с амплитудами, изменяющимися в широких пределах. В статье рассмотрена логарифмическая система автоматической регулировки усиления, проведен анализ ее преимуществ и недостатков по сравнению с классической системой автоматической регулировки усиления, выполнено ее моделирование в графической среде программирования Matlab/Simulink.

**Ключевые слова:** амплитудный детектор, система автоматической регулировки усиления, Matlab/Simulink.

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

**Для цитирования.** Марчук, Т. М. Исследование логарифмической системы автоматической регулировки усиления / Т. М. Марчук, А. А. Денис, А. В. Гринкевич // Доклады БГУИР. 2024. Т. 22, № 4. С. 38–45. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-4-38-45>.

## STUDY OF LOGARITHMIC SYSTEM OF AUTOMATIC GAIN CONTROL

TIMUR M. MARCHUK, ANASTASIA A. DENIS, ANTON V. GRINKEVICH

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 23.10.2023

**Abstract.** When radar stations operate, radio pulses of varying intensity are received at the receiver input depending on the type of target, range to the target and other factors. Adjusting the receiver gain is necessary to adjust its sensitivity in such a way as to provide the best reception of signals with amplitudes that vary widely. The article discusses a logarithmic automatic gain control system, analyzes its advantages and disadvantages compared to classical automatic gain control system, and performs its simulation in the graphical programming environment Matlab/Simulink.

**Keywords:** amplitude detector, automatic gain control system, Matlab/Simulink.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Marchuk T. M., Denis A. A., Grinkevich A. V. (2024) Study of Logarithmic System of Automatic Gain Control. *Doklady BGUIR*. 22 (4), 38–45. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-4-38-45> (in Russian).

## Введение

В большинстве радиолокационных приемников для обеспечения линейной обработки сигналов (без ограничения амплитуды) принимаются меры по расширению динамического диапазона усилителя промежуточной частоты с помощью схем автоматической регулировки усиления (АРУ) [1]. Как правило, современные радиолокационные станции содержат несколько каскадов автоматической регулировки уровня усиления сигнала. Часть из них выполняется в аналоговом виде и обеспечивает постоянный уровень сигнала на входе аналого-цифрового преобразователя для наиболее эффективной работы блоков цифровой обработки сигналов. Цифровая часть приемной системы также нередко содержит несколько систем регулировки усиления. От уровня входного сигнала зависят параметры работы петли синхронизации, построенной на основе петли фазовой автоподстройки частоты [2]. Системы АРУ нашли широкое применение в аналоговых и цифровых системах связи [3].

Цель исследований – обзор существующих схем АРУ, моделирование модифицированной логарифмической системы АРУ в Matlab/Simulink.

## Анализ схем классической и логарифмической цифровых систем автоматической регулировки усиления и варианты их совершенствования

Общая структурная схема АРУ показана на рис. 1. Как видно из рисунка, АРУ является замкнутой системой с обратной связью. Амплитудный детектор предназначен для выделения амплитуды высокочастотного радиосигнала. Амплитуда принятого сигнала сравнивается с опорным уровнем (желаемым уровнем, уставкой), формируя ошибку усиления. Далее ошибка усиления поступает на фильтр обратной связи, обеспечивающий требуемые динамические свойства системы АРУ: система АРУ должна реагировать на медленные (паразитные) изменения уровня входного сигнала и не реагировать на быстрые (обусловленные полезным сигналом) [4]. С выхода фильтра обратной связи ошибка усиления поступает на перемножитель, где умножается с входным сигналом для достижения нужного усиления.

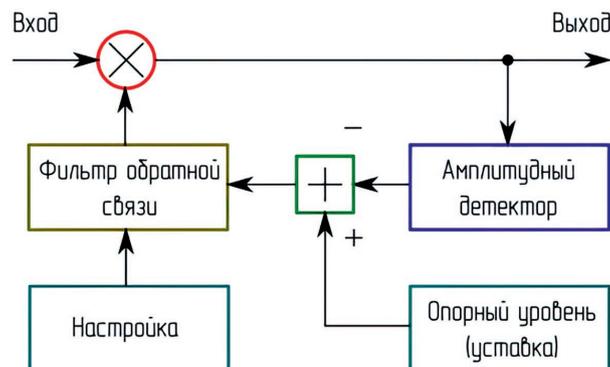
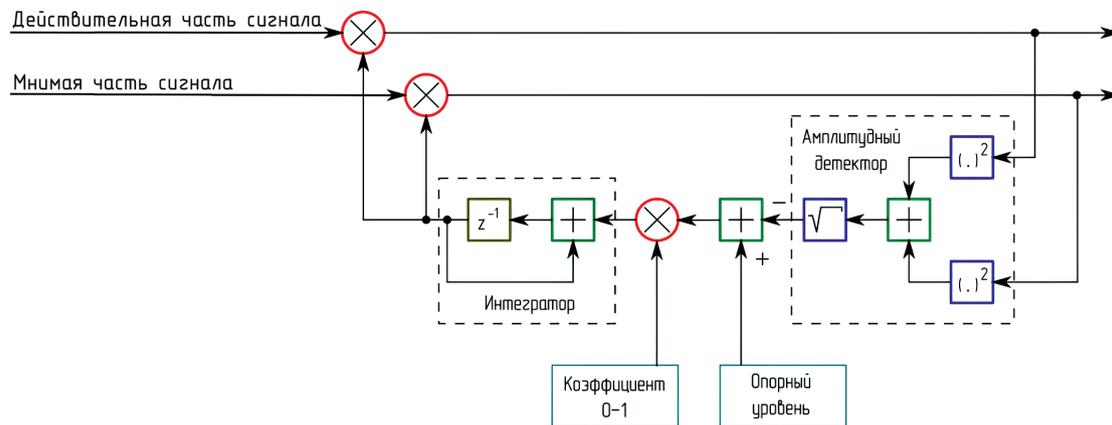


Рис. 1. Общая структурная схема автоматической регулировки усиления  
Fig. 1. General block diagram of the automatic gain control

Представленная на рис. 1 схема показывает общий принцип работы АРУ (как аналоговой, так и цифровой). В отличие от аналоговых, цифровые системы АРУ имеют большую точность регулирования, высокую надежность и стабильность. Так, в [5, 6] рассмотрены цифровые системы АРУ с регулируемым элементом в виде усилителя с переменным коэффициентом передачи, в [7] показана цифровая система АРУ с аттенуатором, а в [8] – цифровая система АРУ без фильтра. Поэтому далее подробно рассмотрим именно виды цифровой системы АРУ.

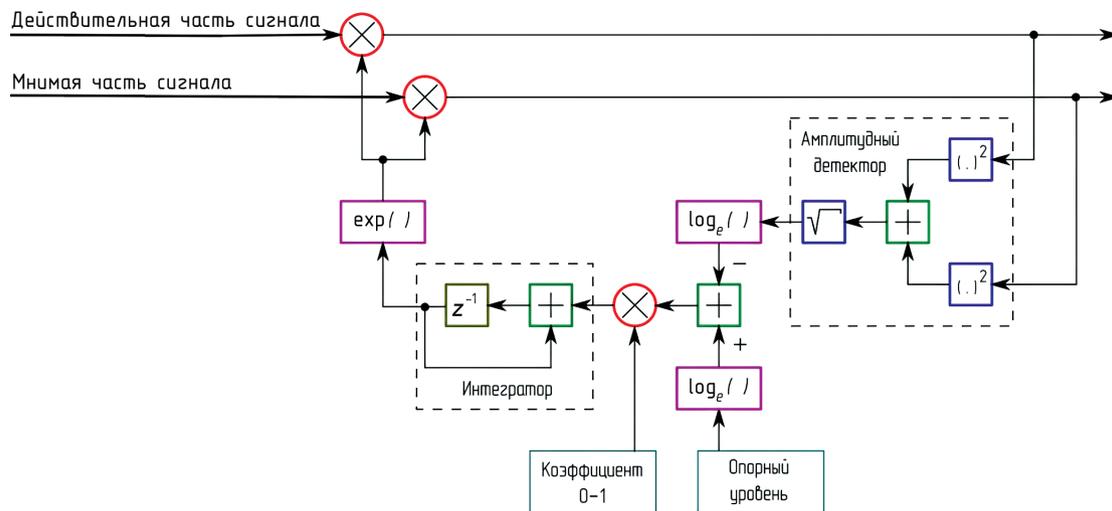
Цифровая система АРУ в зависимости от способа формирования ошибки усиления может быть классической или логарифмической. Структурная схема классической цифровой петли автоматического регулирования уровня комплексного сигнала показана на рис. 2. Анализ источников по данной теме [1–8] показал, что главный недостаток классической цифровой системы АРУ – зависимость параметров работы системы регулирования от уровня входного сигнала. Длительность переходного процесса классической цифровой петли обратно пропорциональна произведению уровня входного сигнала и корректирующего коэффициента. При этом одним из вариантов, позволяющим компенсировать данный недостаток, является использование логарифмической цифровой системы АРУ [2].



**Рис. 2.** Структурная схема классической цифровой петли автоматического регулирования уровня комплексного сигнала

**Fig. 2.** Block diagram of a classic digital loop for automatic control of the complex signal level

Структурная схема логарифмической цифровой петли автоматического регулирования уровня комплексного сигнала показана на рис. 3. При этом схема логарифмической петли АРУ комплексного сигнала, в отличие от классической схемы, оперирует логарифмом амплитуды входного сигнала и опорного уровня, а выходной сигнал фильтра обратной связи (интегратора) является показателем степени, в которую возводится экспонента перед поступлением на перемножитель сигналов. При этом длительность переходного процесса логарифмической цифровой петли АРУ обратно пропорциональна значению коэффициента и не зависит от уровня входного сигнала [2].



**Рис. 3.** Структурная схема логарифмической цифровой петли автоматического регулирования уровня комплексного сигнала

**Fig. 3.** Block diagram of a logarithmic digital loop for automatic control of the complex signal level

Таким образом, приведенные на рис. 2, 3 структурные схемы классической и логарифмической цифровых петель АРУ оценивают амплитуду (мощность) входного сигнала по одному отсчету, что, как показывает практика применения таких схем в реальных системах (например, в телеметрических системах), не обеспечивает эффективность работы системы регулирования. В данном случае теряется плавность работы системы: любые шумы или резкие изменения уровня входного сигнала приведут к резким скачкообразным изменениям выходного сигнала (система очень чувствительна к шумам). Это может вызвать неправильную работу следующих за АРУ функциональных узлов системы. Поэтому целесообразно исследовать возможность применения амплитудного детектора, анализирующего амплитуду (мощность)  $N$  входных отсчетов сигнала. Исходя из преимуществ логарифмической системы АРУ по сравнению с классической, исследуем возможность применения модифицированного детектора в логарифмической системе АРУ.

### Реализация логарифмической цифровой системы автоматической регулировки усиления в Matlab/Simulink

На рис. 4 представлена реализация логарифмической цифровой системы АРУ с модифицированным детектором в Matlab/Simulink, на рис. 5 изображен модифицированный детектор системы АРУ.

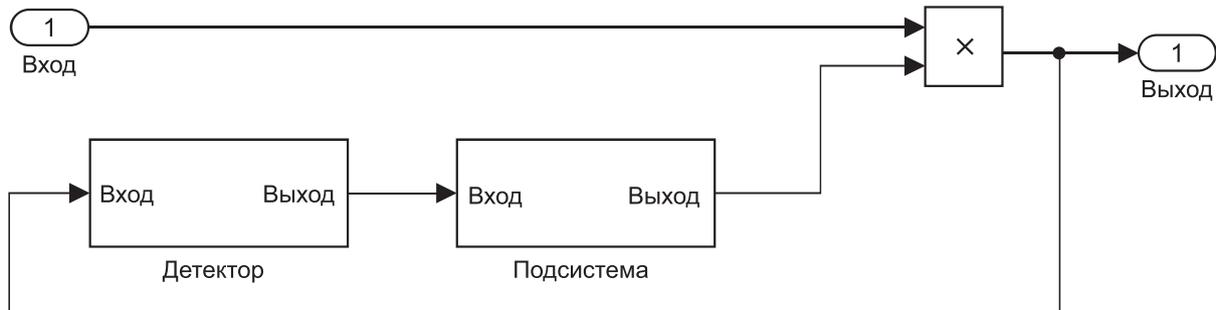


Рис. 4. Реализация логарифмической цифровой системы автоматического регулирования уровня в Matlab/Simulink

Fig. 4. Implementation of a logarithmic digital automatic level control system in Matlab/Simulink

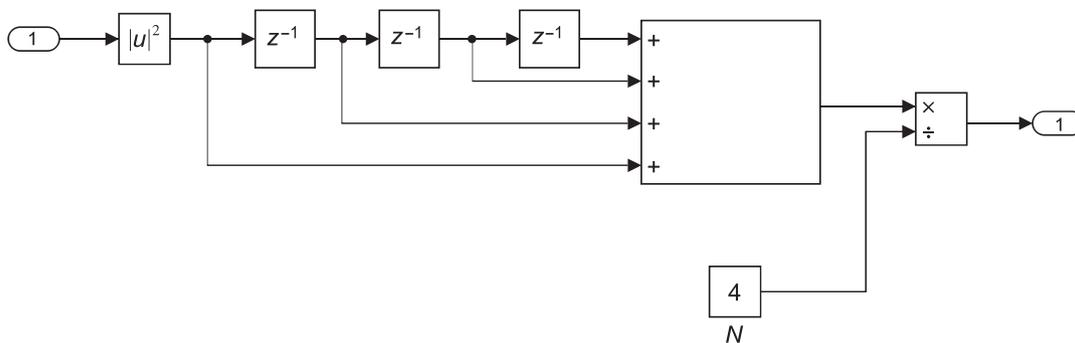


Рис. 5. Детектор системы автоматического регулирования уровня

Fig. 5. Automatic level control detector

Детектор состоит из  $N-1$  ( $N = 4$ ) линий задержек и сумматора. Он вычисляет среднее значение амплитуды (мощности)  $N$  отсчетов входного сигнала, где  $N$  – период обновления (длина окна усреднения в выборках).

Подсистема в АРУ (рис. 6) включает в себя:

А – опорный (желаемый) уровень выходной мощности в ваттах (desired output power);

К – размер шага (step size). При его увеличении АРУ быстрее реагирует на изменение уровня входного сигнала. Размер шага влияет на скорость сходимости мощности к заданному значению (с увеличением шага быстрее сходится). Большой размер шага приводит к менее точной коррекции усиления. К изменяется в диапазоне от 0 до 1;

MaxGain – максимальный коэффициент усиления мощности (maximum power gain), в раз. Если мощность входного сигнала АРУ очень мала, то усиление АРУ будет очень большим. Это может вызвать проблемы, когда мощность входного сигнала внезапно увеличивается. MaxGain используют, чтобы избежать этого, ограничивая усиление, которое АРУ применяет ко входному сигналу.

Расчет нужного коэффициента усиления происходит в подсистеме, представленной на рис. 6.

Входным сигналом для АРУ будет сигнал с двоичной фазовой манипуляцией (BPSK модулированный сигнал). На рис. 7 изображена схема с применением логарифмической системы АРУ для BPSK модулированного сигнала, реализованная в Matlab/Simulink. Блок AGC1 представляет собой логарифмическую систему АРУ, в которой детектор анализирует амплитуду (мощность) одного входного отсчета ( $N = 1$ ). Блок AGC4 представляет собой логарифмическую систему АРУ с модифицированным детектором, в которой детектор анализирует амплитуду (мощность) четырех входных отсчетов ( $N = 4$ ).

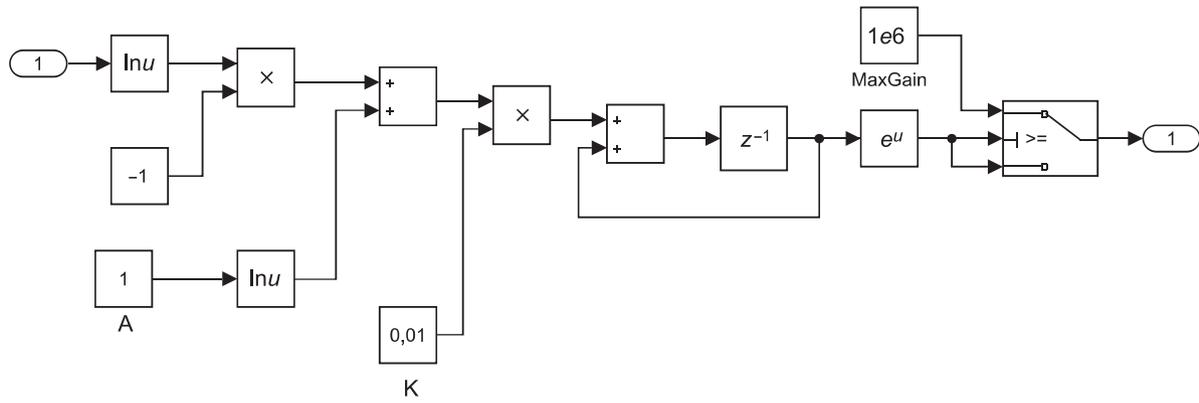


Рис. 6. Подсистема в системе автоматического регулирования уровня  
Fig. 6. Subsystem in an automatic level control system

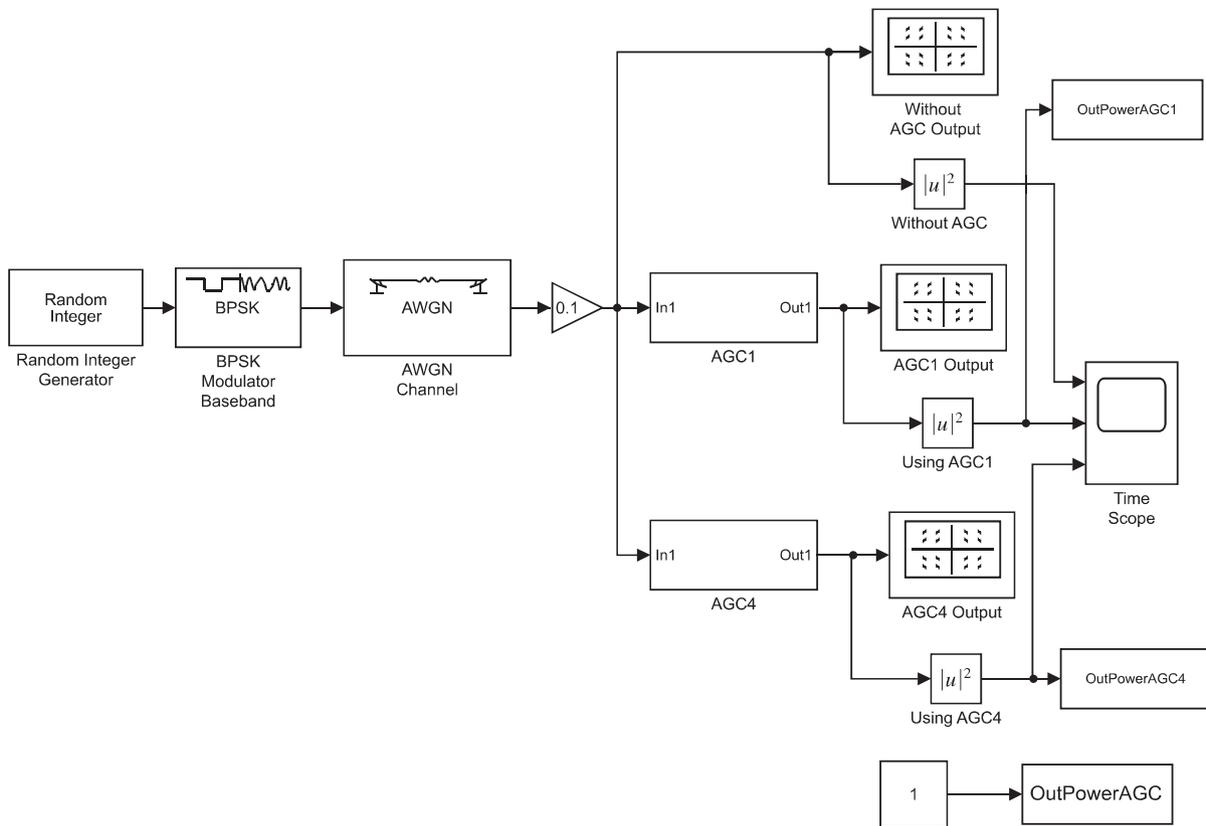


Рис. 7. Схема с применением логарифмической системы автоматического регулирования уровня для BPSK модулированного сигнала  
Fig. 7. Circuit using logarithmic automatic level control system for BPSK modulated signal

Результаты моделирования (при отношении сигнал/шум в канале, равном 10 дБ) показаны на рис. 8. Желаемый уровень выходной мощности на выходе АРУ равен 1 Вт. На рис. 9, 10 показаны результаты моделирования этой же схемы при отношениях сигнал/шум в канале, равных 4 и 0 дБ соответственно.

Из рис. 8–10 следует, что применение модифицированного детектора (увеличение длины усреднения до четырех отсчетов) уменьшает дисперсию мощности выходного сигнала относительно установившегося значения. Применение модифицированного детектора в логарифмической системе АРУ будет более оправдано в системах с низким отношением сигнал/шум.

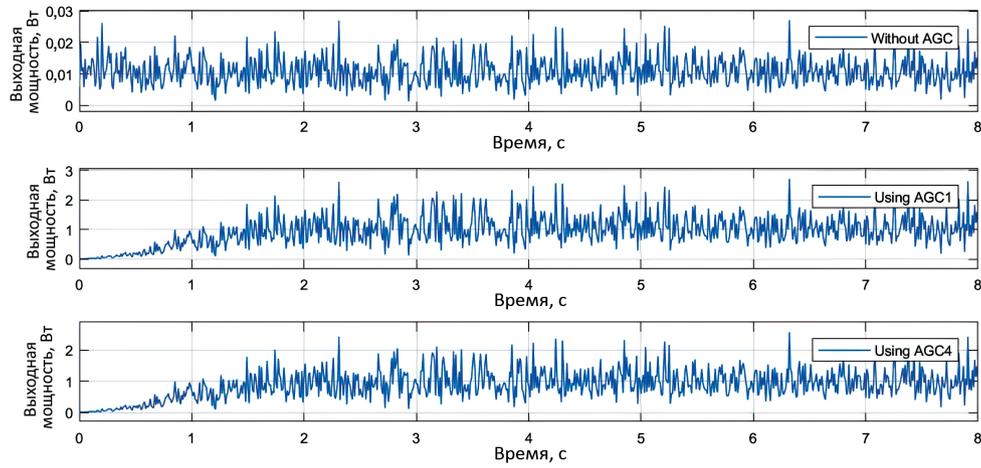


Рис. 8. Результаты моделирования для отношения сигнал/шум в канале 10 дБ  
Fig. 8. Simulation results for signal-to-noise ratio in a 10 dB channel

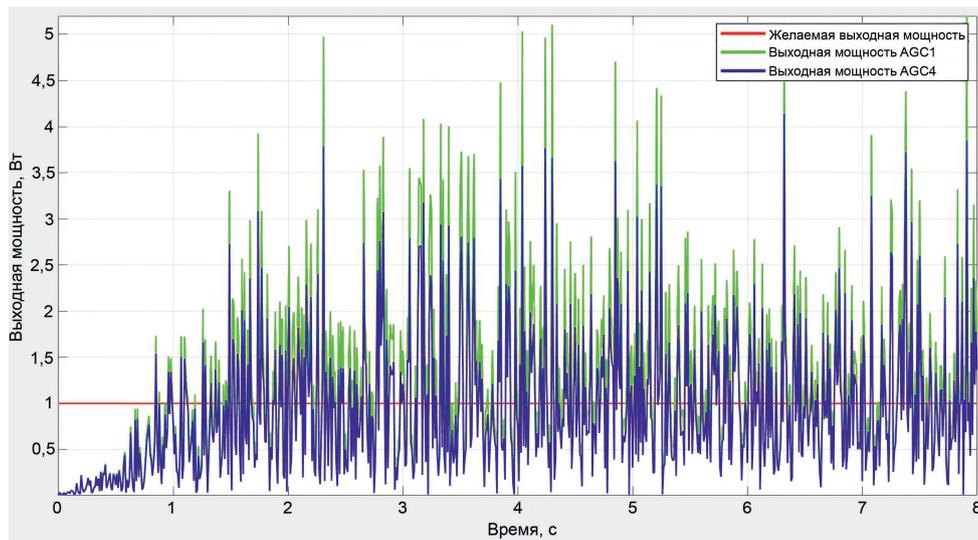


Рис. 9. Результаты моделирования для отношения сигнал/шум в канале 4 дБ  
Fig. 9. Simulation results for signal-to-noise ratio in a 4 dB channel

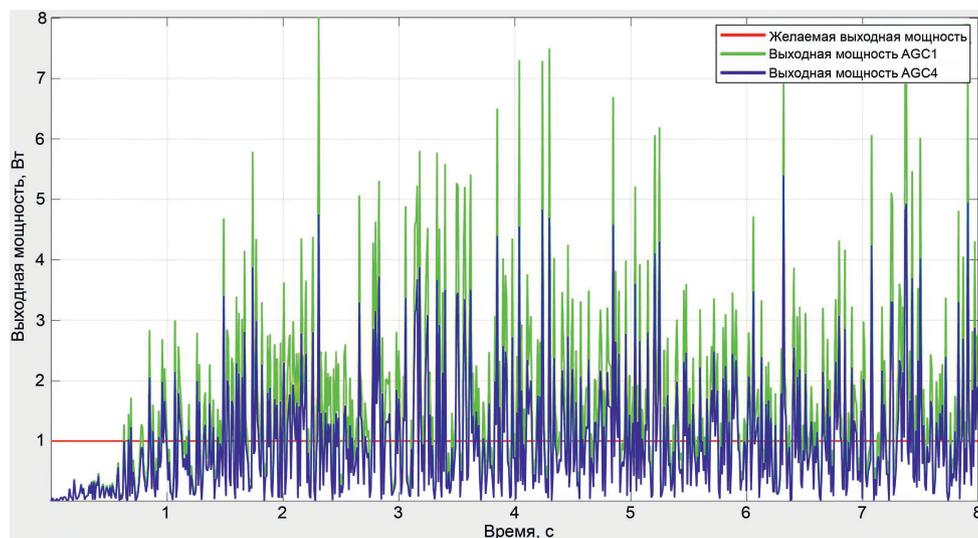


Рис. 10. Результаты моделирования для отношения сигнал/шум в канале 0 дБ  
Fig. 10. Simulation results for signal-to-noise ratio in a 0 dB channel

## Заключение

1. Рассмотрена логарифмическая система автоматического регулирования уровня, проведен анализ ее преимуществ и недостатков по сравнению с классической системой, выполнено ее моделирование в графической среде программирования Matlab/Simulink. Предложен вариант усовершенствования логарифмической системы автоматического регулирования уровня.

2. Преимуществом логарифмической системы является то, что длительность переходного процесса обратно пропорциональна значению размера шага и не зависит от уровня входного сигнала. Ее недостаток – сложность реализации вычисления логарифма и операции возведения в степень. Но данные недостатки легко устранимы с помощью современной элементной базы путем использования высокопроизводительных устройств обработки сигналов.

3. Результаты моделирования показали, что, применяя логарифмическую систему автоматического регулирования уровня с модифицированным детектором и изменяя количество анализируемых отсчетов ( $N$ ), можно обеспечить требуемые динамические свойства для системы регулирования усиления в любой обстановке. Также нужно учитывать, что слишком большое увеличение длины усреднения снижает скорость сходимости мощности к заданному значению и увеличивает вычислительные затраты.

## Список литературы

1. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск / В. Н. Тяпкин [и др.]. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011.
2. Боев, Н. Системы связи. Подвижные системы связи. Лекции / Н. Боев. Красноярск: Электрон, 2013.
3. Pérez, J. P. A. Automatic Gain Control / J. P. A. Pérez, S. C. Pueyo, B. C. López // Springer Fachmedien. 2011.
4. Плаксиенко, В. С. Устройства приема и обработки сигналов. Ч. 3 / В. С. Плаксиенко, Н. Е. Плаксиенко. Таганрог: Изд-во Таганр. гос. радиотех. ун-та, 2001.
5. Vucic, M. All-Digital High-Dynamic Automatic Gain Control / M. Vucic, M. Butorac // 2009 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. 2009. P. 1032–1035.
6. Zhang, H. Analysis and Implementation of Digital Automatic Gain Control for DAB Baseband Decoder / H. Zhang, G. Wang, M. Lu // IEEE Transactions on Consumer Electronics. 2011. Vol. 57, No 2. P. 327–334.
7. Design and Implementation of Synchronization and AGC for OFDM-Based WLAN Receivers / V. P. G. Jimenez [et al.] // IEEE Transactions on Consumer Electronics. 2004. Vol. 50, No 4. P. 1016–1025.
8. Vavra, J. On the Modeling of Automatic Gain Control in SPICE / J. Vavra, J. Bajer // Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering. 2017. Vol. 9, No 2–7. P. 187–190.

## References

1. Тяпкин В. Н., Фомин А. Н., Гарин Е. Н., Фатеев Ю. Л., Бердышев В. П., Наговитсын А. А., et al. (2011) *Fundamentals of Building Radar Stations of Radio Engineering Troops*. Krasnoyarsk, Siberian Federal University (in Russian).
2. Boev N. (2013) *Communication Systems. Mobile Communication Systems. Lectures*. Krasnoyarsk, Electron Pybl. (in Russian).
3. Pérez J. P. A., Pueyo S. C., López B. C. (2011) Automatic Gain Control. *Springer Fachmedien*.
4. Plaksienko V. S., Plaksienko N. E. (2001) *Devices for Receiving and Processing Signals. Part 3*. Taganrog, Publishing House of Taganrog State Radio Engineering University (in Russian).
5. Vucic M., Butorac M. (2009) All-Digital High-Dynamic Automatic Gain Control. *2009 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*. 1032–1035.
6. Zhang H., Wang G., Lu M. (2011) Analysis and Implementation of Digital Automatic Gain Control for DAB Baseband Decoder. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. 57 (2), 327–334.
7. Jimenez V. P. G., Garcia M. J. F.-G., Serrano F. J. G., Armada A. G. (2004) Design and Implementation of Synchronization and AGC for OFDM-Based WLAN Receivers. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. 50 (4), 1016–1025.
8. Vavra J., Bajer J. (2017) On the Modeling of Automatic Gain Control in SPICE. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*. 9 (2–7), 187–190.

## Вклад авторов

Марчук Т. М. реализовал логарифмическую цифровую систему автоматического регулирования уровня в Matlab/Simulink, выполнил ее моделирование, оформил результаты моделирования.

Денис А. А. провела анализ существующих схем автоматического регулирования уровня, участвовала в подготовке рукописи статьи.

Гринкевич А. В. осуществил постановку задачи для проведения исследования, руководил процессом написания статьи.

#### **Authors' contribution**

Marchuk T. M. implemented a logarithmic digital automatic level control system in Matlab/Simulink, performed its simulation and compiled the simulation results.

Denis A. A. carried out an analysis of existing automatic level control schemes, participated in the preparation of the manuscript of the article.

Grinkevich A. V. carried out the formulation of the task for the research, supervised the process of writing the article.

#### **Сведения об авторах**

**Марчук Т. М.**, асп., Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)

**Денис А. А.**, асп., БГУИР

**Гринкевич А. В.**, канд. техн. наук, доц., доц. каф. информационных радиотехнологий, БГУИР

#### **Information about the authors**

**Marchuk T. M.**, Postgraduate, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR)

**Denis A. A.**, Postgraduate, BSUIR

**Grinkevich A. V.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Radiotechnologies, BSUIR

#### **Адрес для корреспонденции**

220025, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Космонавтов, 38, к. 2  
Тел.: +375 29 221-23-31  
E-mail: Timur23Martschuk@yandex.ru  
Марчук Тимур Михайлович

#### **Address for correspondence**

220025, Republic of Belarus,  
Minsk, Cosmonauts St., 38, H. 2  
Tel.: +375 29 221-23-31  
E-mail: Timur23Martschuk@yandex.ru  
Marchuk Timur Mikhailovich