

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2023)

Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

<https://doi.org/10.48081/ABAC7746>

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*  
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/ILUB9413>

**\*Р. Т. Қасым<sup>1</sup>, А. С. Толегенова<sup>2</sup>,  
Л. А. Соболева<sup>3</sup>, А. Болатбеков<sup>4</sup>, Т. Г. Сериков<sup>5</sup>**

<sup>1,4</sup> Логистика және көлік академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

<sup>2,3,5</sup> С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

e-mail: [kasym.ruslan@gmail.com](mailto:kasym.ruslan@gmail.com)

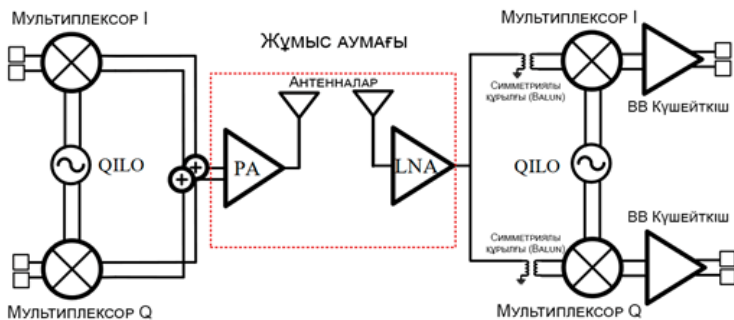
## **ИНТЕРФЕЙСТЕР АРАСЫНДАҒЫ АҚПАРАТТЫ УЛЬТРА КЕҢ ЖОЛАҚТЫ КӨП АНТЕННАЛЫ СЫМСЫЗ ТАСЫМАЛДАУДЫҢ МОДЕЛІ**

Бұл жұмыста 20 мм тарату қашықтығы жағдайында борттағы чиптер арасындағы байланыс үшін 120 ГГц сымсыз байланыс желісі ұсынылған. кең жолақты қосылым үшін бортта Y-тәрізді антенна қолданылады және арна өнімділігін бағалау үшін PA-antenna-LNA байланысы өлшенеді. Ұсынылған байланыс желісі 3,2 дБ шығы мен 14 ГГц өткізу қабілеттілігін 4 дБ күшейтуді көрсетеді. 16-QAM модуляция форматында 50 Гбит/с жылдамдықпен деректерді беруді модельдеу орындалды. Дискретті таңбалар тізбегі 0,2 ауытқу коэффициенті бар жоғары косинусты импульсті қалыптастыру сүзгісі арқылы сигнал пішініне айналады. Содан кейін аналогтық сигнал PA-антенна-антенна-LNA тізбегі мен араластырғыш арқылы беріледі. Сымсыз байланыс желісінің идеалды сипаттамалары таңбалар арасындағы кедергілерді тудырмаса да, кедергілерді сызықтық эквалайзер арқылы басуға болады. Таратқыш пен қабылдағыш арасында деректерді беру бойынша одан әрі жұмыс жүргізілетін болады. Қорытындыда зерттеуде ұсынылған байланыс желісі 3,2 дБ жоғары көрсеткішін және 4 дБ күшейтілген 14 ГГц өткізу қабілеттілігін көрсетеді. 16-QAM модуляция жүйесін қолдана отырып, 50 Гбит/с деректерді беруді модельдеу сандық түрде жүзеге асырылған. Чип аралық ISI-ді ZF сызықтық эквалайзерімен басқаруға болатыны, өнімділік шамамен 2–3 дБ төмендейтіні зерттеліп қорытыланды.

Кілттік сөздер: 120 ГГц, Сымсыз байланыс, CMOS, антенна, чиптен чипке технологиясы, PA-antenna-LNA.

## Кіріспе

Электрондық өнеркәсіп дамыған сайын тұтынушылардың қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін ондаған Гбит /с деректерді беру жылдамдығымен жоғары жылдамдықты байланысқа деген қажеттілік артып келеді. Кәдімгі сымды байланыс жағдайында ондаған гигабит сигналы паразиттік қарсылық пен сыйымдылыққа байланысты өткізгіштік пен диэлектриктің жоғалуына байланысты электр арналарында айтарлықтай әлсіреуге және бұрмалануға әкеледі. Осы шығындардың орнын толтыру үшін сигналдың тиімді деңгейін ұстап тұру үшін бірнеше ретранслятор қажет, бұл үлкен қуат тұтынуға әкеледі және бүкіл жүйенің энергия тиімділігін төмендетеді. Сондықтан «чип-чип» сымсыз байланысы сымды қосылымды ауыстыруға жарамды үміткер болып табылады [1]. Жақында деректерді Гбит/с жылдамдықпен қысқа қашықтыққа беру үшін субтерагерц диапазонындағы CMOS таратқыштары мен ОС қабылдағыштары туралы есептер пайда болды [1]. «Чип-чипке» ультра жылдамдықты сымсыз байланысты жүзеге асыру үшін кең өткізу қабілеттілігін қамтамасыз ететін THz-ден төмен жиілік диапазоны таңдалды. Бұл жұмыс жоғары жылдамдықты сымсыз байланыс желісін бағалау үшін 120 ГГц борттық сымсыз байланыс желісін талдайды.



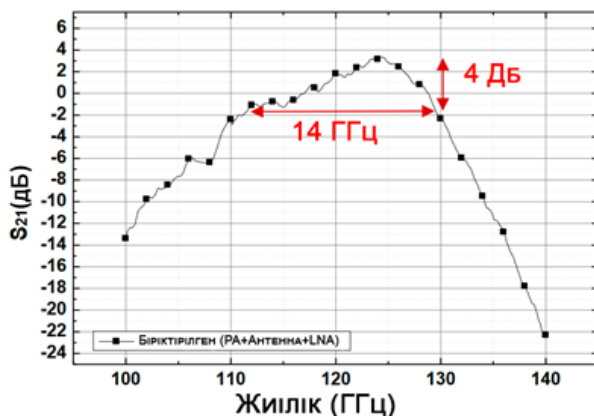
Сурет 1 – 120 ГГц жиіліктегі чиптер арасындағы байланыс арнасының құрылымдық схемасы

## Материалдар және әдістер

Борттағы чиптер арасындағы сымсыз байланыс үшін ұсынылған 16 QAM таратқышы мен қабылдағышының жүйелік құрылымдық схемасы 1 суретте көрсетілген. Ұсынылған таратқыш квадратуралық инъекциялық синхрондау генераторынан (MLO), қуат күшейткішінен (PA) және күшейтетін түрлендіргіш енгізу-шығару араластырғышынан тұрады. Қабылдағыш LNA, белсенді balun, төмендететін түрлендіргіш араластырғыш, квадратуралық инъекциялық блоктау генераторы (QILO) және негізгі жолақты күшейткіштен

тұрады. Бұл мақалада алдын-ала нәтиже ретінде PA-antenna-antenna-LNA арнасы байланыс имитаторы арқылы байланыс арнасын бағалау үшін векторлық желілік анализатормен өлшенеді.

Кең жолақты PA 40 нм CMOS көмегімен жасалған, ол 3 дБ (96,5–135 ГГц) күшейту коэффициентімен 38,5 ГГц өткізу қабілеттілігін және 16 ДБ шыңын күшейтуді қамтамасыз етеді [2]. Кең өткізу қабілеттілігіне толықты басқаратын трансформатор технологиясы арқылы қол жеткізіледі. Кең жолақты CMOS-LNA сонымен қатар 40 нм CMOS көмегімен жасалған, ол 25,2 ГГц өткізу қабілеттілігін 3 дБ (108,9–134,1 ГГц) күшейту коэффициентімен және 20,5 ДБ шыңымен қамтамасыз етеді. Кірістірілген 120 ГГц сымсыз байланыс желісі екі Y-тәрізді ұзын сымды антенналар жиынтығымен жасалған. Y-тәрізді антеннаның сипаттамасы келтірілген [3]. Тефлон субстратының (εr 2,2) қалыңдығы 0,38 мм; антеннаның жалпы ауданы 2×2,2 мм<sup>2</sup> құрайды. 2 см қашықтықтағы борттық байланыс желісінің S21 имитациясы -32 ДБ және 28 ГГц құрайды. Фриис формуласын қолдана отырып, әр антеннаның күшейту коэффициенті 4 дБи құрайды (сурет 2). Борттағы чиптер арасындағы байланыс үшін 120 ГГц сымсыз байланыс желісі үшін S21 өлшенген шамасын көрсетеді. Ұсынылған сымсыз байланыс желісі 3,2 дБ шыңын және 4 дБ күшейту коэффициенті бар 14 ГГц өткізу қабілеттілігін көрсетеді.



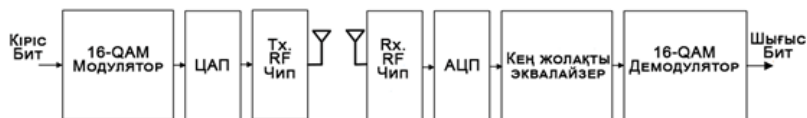
Сурет 2 – Өлшенген шама S21 борттағы чиптер арасындағы байланыс үшін 120 ГГц сымсыз байланыс желісі үшін. Байланыс қашықтығы 20 мм ге тең

### Нәтижелер мен талқылау

PA-антенна-антенна-LNA тізбегін өлшеу нәтижелеріне сүйене отырып, MATLAB симуляторын қолдана отырып, байланыс модельдеу жүзеге

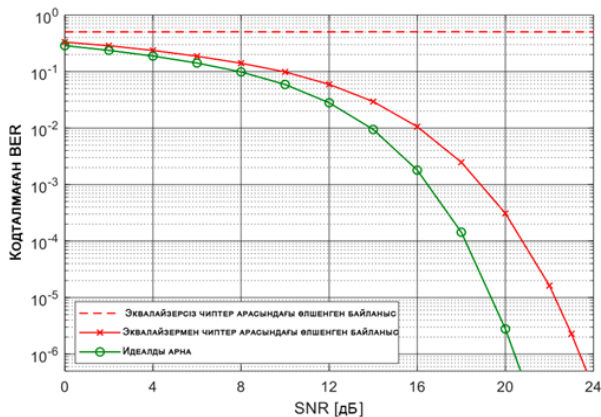
асырылады. Инжір. 3 PA – антенна-антенна-LNA тізбегін қоса, деректер жүйесінің толық құрылымдық схемасын көрсетеді. Құрылған кездейсоқ биттік тізбектер 16-QAM форматында модуляцияланады және сандық аналогтық түрлендіргіштің көмегімен кіріс радиожилілік сигналының формасына айналады. Дискретті таңбалар тізбегі 0,2 ауытқу коэффициенті бар жоғары косинусты импульсті қалыптастыру сүзгісі арқылы сигнал пішініне айналады. Содан кейін аналогтық сигнал PA-антенна-антенна-LNA тізбегі мен араластырғыш арқылы беріледі. Қабылдағышта ШЫҒЫС биттері аналогты-цифрлық түрлендіргіш пен демодуляция процесі арқылы танылады. Жілікті жоғарылататын/төмендететін араластырғыш және негізгі жолақты күшейткіш өте қолайлы деп саналады.

Өлшенген «чип-чип» сымсыз байланыс желісінің импульстік сипаттамасы кері Фурье түрлендіру арқылы алынды. Радиожилілік тізбегінің сипаттамалары 3-суретте көрсетілгендей мінсіз болмағандықтан, арнаның импульстік реакциясы бірнеше таңбалық кезеңдерге бөлініп, таңбааралық кедергілерді (ISI) тудырады. ISI-мен жұмыс істеу үшін ресиверде нөлдік күш сызықтық эквалайзер (ZF) қолданылады [4].



Сурет 3 – Борттық деректерді чиптен чипке беру жүйесін модельдеудің құрылымдық схемасы

Өлшенген «чип-чип» сымсыз байланыс желісінің бер кодталмаған өнімділігі тамаша арнамен салыстырғанда 4-суретте көрсетілген. Идеал емес сымсыз байланыс желісі жағдайында ISI эквалайзермен тежелуі мүмкін және қалдық кедергілер идеалды арналар жүйесімен салыстырғанда өнімділіктің шамамен 2–3 дБ төмендеуіне әкеледі.



Сурет 4 – Өлшенген «чип-чип» байланыс желісі мен тамаша арнаның ber кодталмаған өнімділігі

### Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды, AP14869840 – «Интерфейстер арасындағы ақпаратты ультра кең жолақты көп антенналық сымсыз тасымалдауды зерттеу және құру» жобасы аясында шығарылды.

### Қорытынды

Бұл жұмыс 20 мм тарату қашықтығы жағдайында борттағы чиптер арасындағы байланыс үшін 120 ГГц сымсыз байланыс желісін ұсынады. кең жолақты байланыс үшін бортта Y-тәрізді антенна қолданылады, ал арнаның өнімділігін бағалау үшін PA-антенна-антенна-LNA сызығы өлшенеді. Ұсынылған байланыс желісі 3,2 дБ шыңын және 4 дБ күшейтілген 14 ГГц өткізу қабілеттілігін көрсетеді. 16-QAM модуляция жүйесін қолдана отырып, 50 Гбит/с деректерді беруді модельдеу сандық түрде жүзеге асырылады. Чип аралық ISI-ді ZF сызықтық эквалайзерімен басқаруға болады, өнімділік шамамен 2–3 дБ төмендейді.

### Пайдаланған деректер тізімі

1 DiTomaso, D., Kodi, A., Matolak, D., Kaya, S., Laha, S. and Rayess, W. “A-WiNoC: Adaptive Wireless Network-on-Chip Architecture for Chip Multiprocessors” // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. – 2015. – Vol. 26. – No. 12. – P. 3289–3302.

2 Shamim, M. S., Mansoor, N., Narde, R. S., Kothandapani, V., Ganguly, A. and Venkataraman, J. “A Wireless Interconnection Framework for Seamless

Inter and Intra-Chip Communication in Multichip Systems” // IEEE Transactions on Computers. – Vol. 66. – No. 3. – P. 389–402. – March 1, 2017. – <https://doi.org/10.1109/TC.2016.2605093>.

3 **Narde, R. S., Mansoor, N., Ganguly, A. and Venkataraman, J.** “On-Chip Antennas for Inter-Chip Wireless Interconnections : Challenges and Opportunities” // Proceedings of the EuCAP '18. – 2018.

4 **Laha, S., Kaya, S., Matolak, D. W., Rayess, W., DiTomaso, D. and Kodi, A.** “A New Frontier in Ultra-low Power Wireless Links : Network-on-Chip and Chip-to-Chip. 11. Interconnects” // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. – Vol. 34. – No. 2. – P. 186–198. – February 2015.

5 **Benini, L. and De Micheli, G.** “Networks on chips: a new SoC paradigm” // IEEE Transactions on Computers. – Vol. 35. – No. 1. – P. 70–78. – 2002.

6 **Kim, J., Choi, K., and Loh, G.** “Exploiting new interconnect technologies in on-chip communication” // IEEE J. Emerg. Sel. Topics Circuits Syst. – Vol. 2. – No. 2. – P. 124–136. – June, 2012.

7 **Chen, Y. and Han, C.** “Channel modeling and characterization for wireless networks-on-chip communications in the millimeter wave and terahertz bands” // IEEE Trans. Mol. Biol. Multi-Scale Commun. – Vol. 5. – No. 1. – P. 30–43. – Oct. 2019.

8 **Gade, S. H. and Deb, S.** “HyWin : Hybrid wireless NoC with sandboxed sub-networks for CPU/GPU architectures” // IEEE Transactions on Computers. – Vol. 66. – No. 7. – P. 1145–1158. – 2017.

9 **Chen, Y. and Han, C.** “Channel Modeling and Analysis for Wireless Networks-on-Chip Communications in the Millimeter Wave and Terahertz Bands” // Proceedings of the INFOCOM WKSHPs '18. – 2018.

10 **Kim, J., Choi, K. and Loh, G.** “Exploiting new interconnect technologies in on-chip communication” // IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, 2012.

Материал 20.06.23 баспаға түсті.

\**Р. Т. Қасым<sup>1</sup>, А. С. Толеғенова<sup>2</sup>,*

*Л. А. Соболева<sup>3</sup>, А. Болатбеков<sup>4</sup>, Т. Г. Сериков<sup>5</sup>*

<sup>1,4</sup>Академия логистики и транспорта,

Республика Казахстан, г. Алматы;

<sup>2,3,5</sup>Казахский агротехнический университет исследовательский имени

С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.

Материал поступил в редакцию 20.06.23.



## МОДЕЛЬ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ МНОГОАНТЕННОЙ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ МЕЖДУ ИНТЕРФЕЙСАМИ

*В данной работе представлена беспроводная сеть 120 ГГц для связи между бортовыми чипами в условиях расстояния передачи 20 мм. для широкополосного соединения на борту используется Y-образная антенна, а соединение PA-antenna-LNA измеряется для оценки производительности канала. Предлагаемая линия связи показывает пик 3,2 дБ и усиление полосы пропускания 14 ГГц на 4 дБ. Выполнено моделирование передачи данных со скоростью 50 Гбит/с в формате модуляции 16-QAM. Дискретная последовательность символов преобразуется в форму сигнала с помощью фильтра формирования импульсов с высоким Косинусом с коэффициентом отклонения 0,2. Затем аналоговый сигнал подается через схему PA-антенна-антенна-LNA и микшер. Хотя идеальные характеристики беспроводной сети не создают помех между символами, помехи можно подавить с помощью линейного эквалайзера. Будет проведена дальнейшая работа по передаче данных между передатчиком и приемником. В заключении показано, что сеть связи, представленная в исследовании, показывает более высокий показатель 3,2 дБ и повышенную полосу пропускания 14 ГГц на 4 дБ. Моделирование передачи данных со скоростью 50 Гбит/с с использованием системы модуляции 16-QAM осуществлялось в цифровом виде. Изучено, что промежуточным ISI чипа можно управлять с помощью линейного эквалайзера ZF, производительность снижается примерно на 2–3 дБ.*

*Ключевые слова: 120 ГГц, беспроводная связь, CMOS, антенна, технология «чип-чип», PA-antenna-LNA.*

\*R. T. Kassym<sup>1</sup>, A. S. Tolegenova<sup>2</sup>,

L. A. Soboleva<sup>3</sup>, A. Bolatbekov<sup>4</sup>, T. G. Serikov<sup>5</sup>

<sup>1,4</sup>Academy of Logistics and Transport, Republic of Kazakhstan, Almaty,

<sup>2,3,5</sup>S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,

Republic of Kazakhstan, Astana.

Material received on 20.06.23.

## **A MODEL OF ULTRA-WIDEBAND MULTI-ANTENNA WIRELESS TRANSMISSION OF INFORMATION BETWEEN INTERFACES**

*This paper presents a 120 GHz wireless network for communication between on-board chips at a transmission distance of 20 mm. For broadband connection, a Y-shaped antenna is used on board, and the PA-antenna-LNA connection is measured to evaluate the channel performance. The proposed communication line shows a peak of 3.2 dB and a gain of 14 GHz bandwidth by 4 dB. A simulation of data transmission at a speed of 50 Gbit/s in the 16-QAM modulation format was performed. A discrete sequence of symbols is converted into a signal form using a high-Cosine pulse shaping filter with a deviation coefficient of 0.2. Then the analog signal is fed through the PA-antenna-antenna-LNA circuit and a mixer. Although the ideal characteristics of a wireless network do not create interference between symbols, interference can be suppressed using a linear equalizer. Further work will be carried out on data transmission between the transmitter and receiver. In conclusion, it is shown that the communication network presented in the study shows a higher indicator of 3.2 dB and an increased bandwidth of 14 GHz by 4 DB. Simulation of data transmission at a speed of 50 Gbit/s using the 16-QAM modulation system was carried out digitally. It has been studied that the intermediate ISI of the chip can be controlled using a linear equalizer ZF, the performance is reduced by about 2-3 dB.*

*Keywords: 120 GHz, Wireless, CMOS, antenna, Chip-to-chip technology, PA-antenna-LNA.*

Теруге 20.06.2023 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2023 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

17,5 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,67. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4103

Сдано в набор 20.06 2023 г. Подписано в печать 30.06 2023 г.

Электронное издание

17,5 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,67. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4103

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)