

UDC 621.382-022.532(045)
DOI:10.18372/1990-5548.72.16943

¹O. S. Melnyk,
²V. O. Kozarevych,
³E. I. Kogut

TWO-DIGIT QUANTUM-DOT CELLS MULTIPLIER

^{1,2,3}Department of Electronics, Robotics, Monitoring & IoT Technologies
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

E-mails: ¹oleksandr.melnyk@npp.nau.edu.ua ORCID 0000-0003-1072-5526,
²viktoriia.kozarevych@npp.nau.edu.ua, ³5660220@stud.nau.edu.ua

Abstract—The arrival of the era of nanotechnology was stimulated to the greatest extent by the high rate of development of CMOS-microelectronics. Currently, complementary metal–oxide–semiconductor components have reached quantum-technological limits. In digital nanoelectronics, one bit of information is given by one electron. In the work, computer design using computer-aided design QCADisigner of single-electron arithmetic-logic nanocircuits based on quantum cellular automata is performed. Fragments of three- and five-inputs universal majority elements are used as the basis. It has been proven that the defining property of this class of nanodevices is the group behavior of cells, which is reproduced by the logic of majority functions. The development single-electron full nanoadder and double-bits multiplier have the smallest possible technological nanosizes, ultra-high speed and minimum switching energy consumption.

Index Terms—Quantum-dots automata; majority element; computer- aided design; multiplier.

I. INTRODUCTION

The basis of the operation of single-electron devices is the control of the movement of a small number of charge carriers, sometimes even a single electron. One electron in a digital one-electron system transmits one information bit. The movement of the electron in such schemes is carried out due to tunneling through the potential barrier. A significant advantage of the majority backup method is the ability to identify and change faulty elements and nodes, without interrupting the system's operation according to the main program. The last factor provides a significant increase in the interference resistance index and overall reliability of the system. With the development of simple and reliable schemes of majoritarian integrated elements, the majority principle is becoming more and more widespread in the construction of devices, both in conventional and in single electronics[4], [5].

II. BASICS OF MAJORITARIAN LOGIC

The basis of the functioning of logical nanocircuits on quantum automata is the use of majoritarian elements (ME). The operation of the ME can be described as the "principle of the majority", that is, if the signal at most inputs is equal to the logical unit "1", then the output of the ME will receive a signal "1" and vice versa – if for most inputs the signal is logical zero "0", then and the

output will be "0". Any of the inputs of the majority element can be used as a programmable one.

The logic of building hardware multipliers is inextricably linked with the traditional algorithm for performing the multiplication operation, which is based on the assembly of separate formations of digits of the coefficients [6].

III. FIVE-INPUTS MAJORITARY ELEMENT

When developing Integral Circuits (IC), it is desirable to use a structure that allows increasing the bit rate of input codes by using several circuits of the same type. A similar problem can be solved with the help of a complete one-bit nano adder on a five-way majority element [6]. For this, a corresponding five-inputs ME was created (Fig. 1) and its operation was tested.

The built circuit has dimensions of 0.04 μm², the total number of quantum cells: 31, of which 6 inputs and 3 outputs; quantum cell size: (18x18) nm; distance between the centers of the spacecraft: 20 nm; diameter of the quantum island: 5 nm.

The use of five-input ME (Fig. 1) makes it possible to build the most rational single-digit adder circuit.

$$\begin{aligned} S &= M(x_1, x_2, x_3, \bar{C}, \bar{C}) = x_1\bar{C} \vee x_2\bar{C} \vee x_3\bar{C} \vee x_1x_2x_3 \\ &= \bar{C}(x_1 \vee x_2 \vee x_3) \vee x_1x_2x_3. \end{aligned}$$

The obtained equation completely coincides with the formula of the sum of a single-digit adder. The

structural diagram of a single-digit adder built on one five-input Universal Majoritarian Element and one three-input UME is shown in Fig. 2.

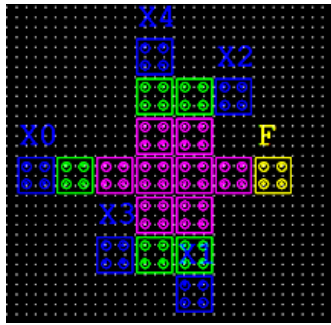


Fig. 1. Nanocircuit with five-inputs majority element

Implementation of this single-digit adder scheme in computer-aided design (CAD) QCADesigner requires: total number of quantum cells: 57, of which 6 inputs and 2 outputs; quantum cell size: (18x18) nm; distance between the centers of the spacecraft: 20 nm; quantum island diameter: 5 nm; total dimensions of the programmed nanocircuit: (338.00x258.69) nm = 87435.96 nm²=0.09μm². The scheme is presented in Fig. 3.

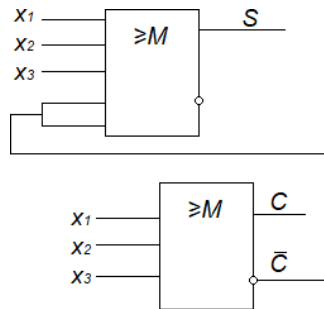


Fig. 2. Schema simplest nano-adder on a five-input ME

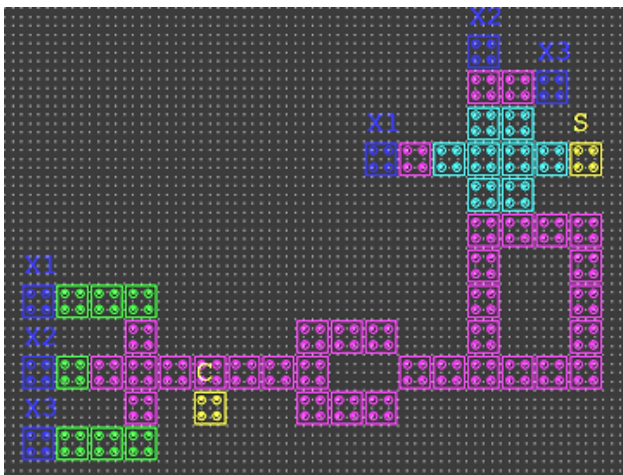


Fig. 3. Computer shema of nano-adder

From this it follows that the nano adder built on a five-input ME is more rational and versatile in use.

This model uses fewer elements and does not require complex calculations.

IV. TWO-DIGIT MULTIPLIER

The operation of a two-digit multiplier can be represented using the formula:

$$S = maj(x_1, x_2, x_3, \bar{C}, \bar{C}) = \bar{C}(x_1 \vee x_2 \vee x_3) \vee x_1 x_2 x_3.$$

The diagram of a two-digit multiplier based on majority elements in CAD QCADesigner is presented in Fig. 4, the simulation results are shown in Fig. 5 and in Table. I.

The dimensions of this nanocircuit are as follows: the total number of quantum cells: 351, which have 6 inputs, 11 programmable inputs and 7 outputs; quantum cell size: (18x18) nm; distance between ka centers: 20 nm; quantum island diameter: 5 nm; total dimensions of the programmed nanocircuit: 0.75 μm².

V. CONCLUSIONS

Qualitative comparative analysis (QCA) is a new concept in computational nanotechnology for the implementation of computers using nano-QCA arrays. These QCA cells are capable of performing all complex computational functions, using the majority function and inversion. The QCADesigner automated programming system facilitates rapid programming and QCA modeling of nanocircuits.

The most universal element of the construction scheme is the majority element. The versatility and reliability of circuits built in the majority basis makes ME the optimal choice for the construction of nanocircuits of any complexity class. With ME, any logical function can be implemented, from "OR-NOT" to "AND" and others.

Another advantage for choosing ME is its excellent circuit immunity. Majority redundancy is an effective method of increasing reliability without overloading circuits. Functions constructed or translated into a majority basis are easier to understand and compact in writing, while they do not lose informativeness.

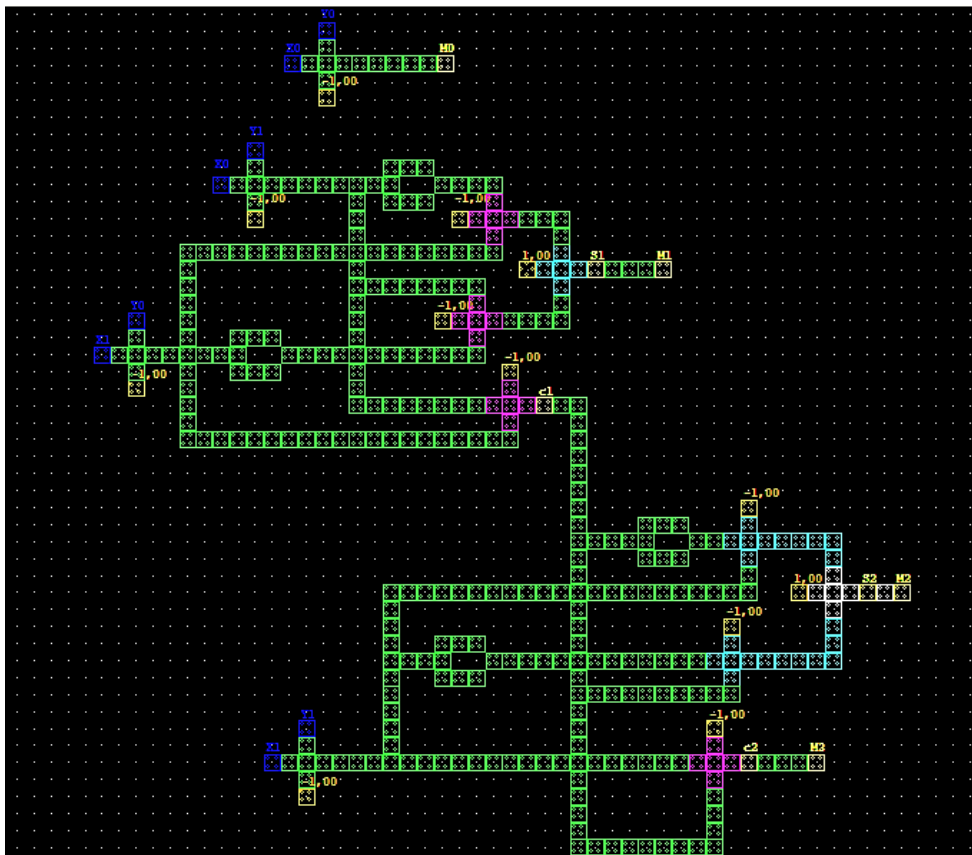


Fig. 4. Scheme of a two-digit multiplier on majority elements

TABLE I. TRUTH TABLE OF TWO-DIGIT MULTIPLIER

x_0	y_0	x_1	y_1	c_2	c_1	S_2	S_1	M_3	M_2	M_1	M_0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1

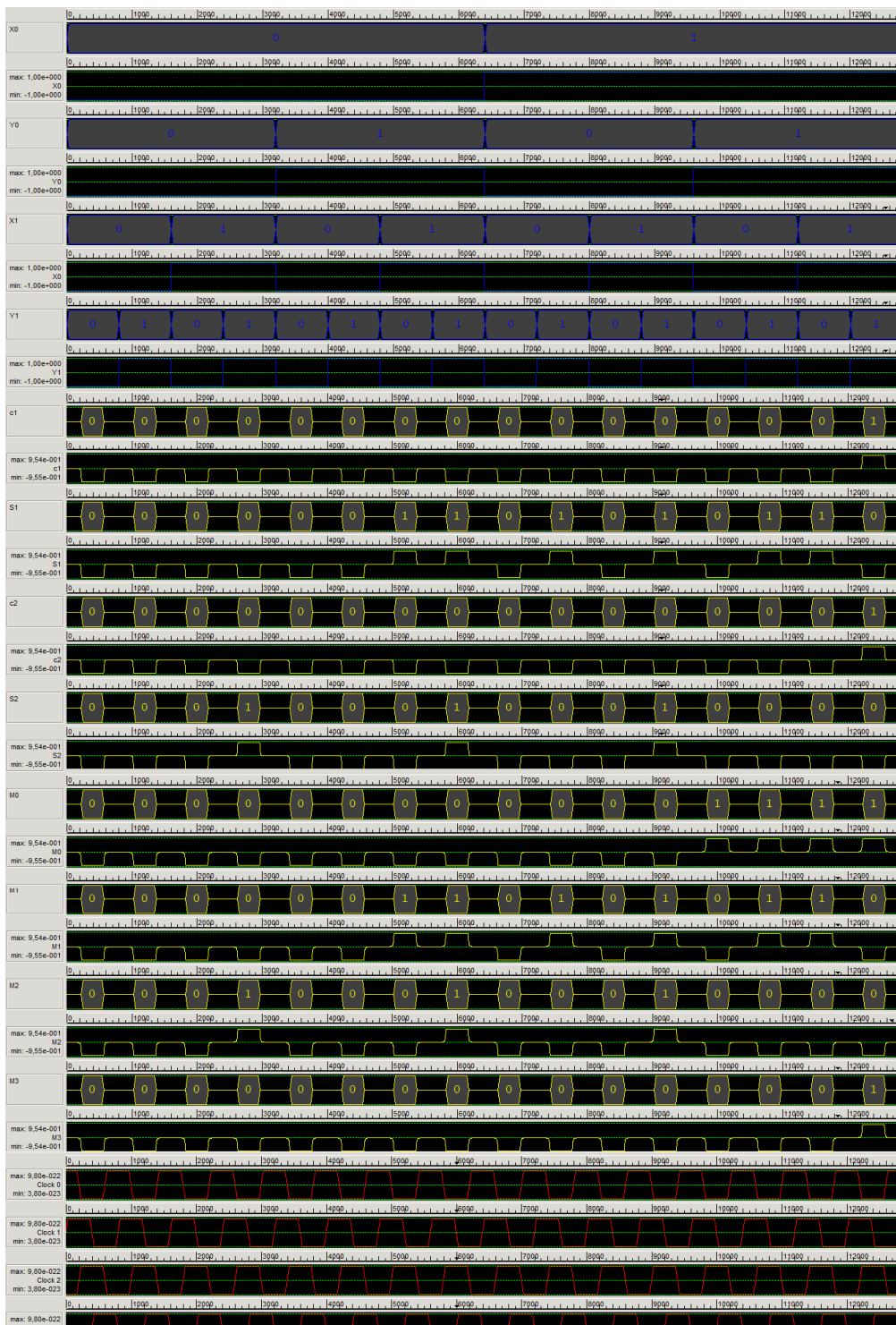


Fig. 5. Simulation results of a two-digit multiplier

REFERENCES

- [1] P. D. Tougaw and C. S. Lent, "Logical devices implemented using quantum cellular automata," *J. Appl. Phys.*, 75 (3) 1818, 1994. <https://doi.org/10.1063/1.356375>
- [2] K. Hennessy and C. S. Lent, "Clocking of molecular quantum-dot cellular automata," *J. Vac. Sci. Technol. B.*, vol. 19, no. 5, pp. 1752–1755, Sept./Oct. 2001. <https://doi.org/10.1116/1.1394729>
- [3] M. Governale, M. Maccuci, G. Iannaccone, and C. Ungarelli, "Modeling and manufacturability assessment of bistable quantum-dot cells," *J. Appl. Phys.*, 85 (5) 2962, 1999. <https://doi.org/10.1063/1.369061>

- [4] O. S. Mel'nyk, V. O. Kozarevych, V. Yu. Romanyuk, "Proektuvannya lohichno-aryfmetychnykh nanoprystroiyiv," *Avtomatyzovani systemy upravlinnya ta prylady avtomatyky, Vseukrayins'kyi mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk*. no. 166, 2014, pp. 21–26. [in Ukrainian]
- [5] M. Gardner, "The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game 'life,'" *Mathematical Games*. Scientific American. 1970, pp. 120–123. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1070-120>
- [6] N. I. Pakulov, V. F. Ukhanov, P. N. Chernyshov, *Mazhoritarnyy printsip postroyeniya nadezhnykh uzlov i ustroystv TSVM*. Moskva: Sov. radio, 1974, 184 s. [in Russian]

Received March 11, 2022

Melnyk Oleksandr. ORCID 0000-0003-1072-5526. Candidate of Sciences (Engineering). Associated Professor. Department of Electronics, Robotics, Monitoring & IoT Technologies, National Aviation University, Kyiv, Ukraine. Education: Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine, (1971). Research interests: Modeling micro- and nanoelectronics devices, computer-aided design, solid-states electronics. Publications: more than 160 papers. E-mail: oleksandr.melnyk@npp.nau.edu.ua

Kozarevych Viktoriia. Senior Lecturer. Department of Electronics, Robotics, Monitoring & IoT Technologies, National Aviation University, Kyiv, Ukraine. Education: National Aviation University, Kyiv, Ukraine, (2007). Research interests: Computer-aided design, single-electron circuits, solid-states electronics. Publications: 27 papers. E-mail: viktoriia.kozarevych@npp.nau.edu.ua

Kogut Evelina. Master's student. Department of Electronics, Robotics, Monitoring & IoT Technologies, National Aviation University, Kyiv, Ukraine. Education: National Aviation University, Kyiv, Ukraine. Research interests: Solid-states electronics. Publications: 1 papers. E-mail: 5660220@stud.nau.edu.ua

О. С. Мельник, В. О. Козаревич, Е. І. Когут. Дворозрядний помножувач на квантових коміркових автоматах

Настання ери нанотехнологій найбільшою мірою був стимульований високими темпами розвитку комплементарної структури метал-оксид-напівпровідникової мікроелектроніки. Наразі КМОН-компоненти досягли квантово-технологічних обмежень. В цифровій наноелектроніці один біт інформації задається одним електроном. В роботі виконано комп'ютерне проектування за допомогою система автоматизованого проектування QCADesigner одноелектронних арифметико-логічних наносхем на основі квантових коміркових автоматів. В якості базових використані фрагменти три- та п'ятиходових універсальних елементів. Доведено, що визначальною властивістю цього класу нанопристроїв є гуртова поведінка комірок, яка відтворюється логікою мажоритарних функцій. Розроблені одноелектронні повний наносуматор та дворозрядний помножувач мають мінімально можливі технологічні нанорозміри, надвисоку швидкодію та мінімальну споживану енергію комутації.

Ключові слова: квантовий автомат; мажоритарний елемент; автоматизоване проектування; помножувач.

Мельник Олександр Степанович. ORCID 0000-0003-1072-5526. Кандидат технічних наук. Доцент. Кафедра електроніки, робототехніки, моніторингу та технологій Інтернету речей, Національний авіаційний університет, Київ, Україна. Освіта: Київський політехнічний інститут, Київ, Україна, (1971). Напрямок наукової діяльності: моделювання пристроїв мікро- та наноелектроніки, автоматизоване проектування, твердотільна електроніка. Кількість публікацій: більше 160 наукових робіт. E-mail: oleksandr.melnyk@npp.nau.edu.ua

Козаревич Вікторія Олександрівна. Старший викладач. Кафедра електроніки, робототехніки, моніторингу та технологій Інтернету речей, Національний авіаційний університет, Київ, Україна. Освіта: Національний авіаційний університет, Київ, Україна, (2007). Напрямок наукової діяльності: системи автоматизованого проектування, одноелектронні схеми, твердотільна електроніка. Кількість публікацій: 27 наукових робіт. E-mail: viktoriia.kozarevych@npp.nau.edu.ua

Когут Евеліна Ігорівна. Магістрант.

Кафедра електроніки, робототехніки, моніторингу та технологій Інтернету речей, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Освіта: Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Напрямок наукової діяльності: твердотільна електроніка.

Кількість публікацій: 1 наукова робота.

E-mail: 5660220@stud.nau.edu.ua

А. С. Мельник, В. А. Козаревич, Э. И. Когут. Двухразрядный умножитель на квантовых ячеичных автоматах

Приход эры нанотехнологий в наибольшей степени был стимулирован высокими темпами развития комплементарной структуры метал-оксид-полупроводниковой микроэлектроники. КМОП-компоненты достигли квантово-технологических ограничений. В цифровой нанoeлектронике один бит информации задается одним электроном. В работе выполнено компьютерное проектирование с помощью системы автоматизированного проектирования QCADisigner одноэлектронных арифметико-логических наносхем на основе квантовых ячеичных автоматов. В качестве базовых использованы фрагменты трех- и пятиходовых универсальных элементов. Доказано, что определяющим свойством этого класса наноустройств является оптовое поведение ячеек, воспроизводимое логикой мажоритарных функций. Разработанные одноэлектронные полный наносумматор и двухразрядный умножитель имеют минимально возможные технологические наноразмеры, сверхвысокое быстродействие и минимальную энергию коммутации.

Ключевые слова: квантовый автомат; мажоритарный элемент; автоматизированное проектирование; умножитель.

Мельник Александр Степанович. ORCID 0000-0003-1072-5526. Кандидат технических наук. Доцент.

Кафедра электроники, робототехники, мониторинга и технологий Интернет вещей, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Образование: Киевский политехнический институт, Киев, Украина (1971).

Направление научной деятельности: Моделирование устройств микро- и нанoeлектроники, автоматизированное проектирование, твердотельная электроника.

Количество публикаций: более 160 научных работ.

E-mail: oleksandr.melnyk@npp.nau.edu.ua

Козаревич Виктория Александровна. Старший преподаватель.

Кафедра электроники, робототехники, мониторинга и технологий Интернет вещей, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Образование: Национальный авиационный университет, Киев, Украина, (2007).

Направление научной деятельности: системы автоматизированного проектирования, одноэлектронные схемы, твердотельная электроника.

Количество публикаций: 27 научных работ

E-mail: viktoriia.kozarevych@npp.nau.edu.ua

Когут Эвелина Игорьевна. Магістрант.

Кафедра электроники, робототехники, мониторинга и технологий Интернет вещей, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Образование: Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Направление научной деятельности: твердотельная электроника.

Количество публикаций: 1 научная работа.

E-mail: 5660220@stud.nau.edu.ua