

О.С. Мельник, к.т.н., доцент, В.О. Козаревич
(Національний авіаційний університет, Україна)

Одноелектронні арифметико - логічні наносистеми

Робота присвячена комп'ютерному моделюванню з використанням автоматизованої системи проектування QCADesiner дворозрядного арифметико-логічного пристрою на квантових коміркових автоматах, до складу якого входять виключно мажоритарні логічні суматори та інвертори.

В квантових коміркових автоматах інформація представляється певною конфігурацією електронів в комірці, яка складається з однієї чи двох окремих молекул. Орієнтація пари квантових комірок така, що їхнє взаєморозміщення визначає взаємний вплив. Дана взаємодія зарядів дає змогу обробляти і передавати інформацію.

Феноменологічні моделі одноелектронних наноелементів

Прилади на квантових коміркових автоматах складаються з комірок-діелектриків. Сама діелектрична комірка КА містить чотири напівпровідникові чи металеві квантові точки (острівці), які геометрично розміщені по куткам квадрату. Окрема комірка забезпечує тунельний перехід з потенціальним бар'єром, який контролюється локальним електричним полем. Величина цього поля або збільшується для перешкодження руху електронів, або зменшується для його спонукання. Таким чином окрема комірка може перебувати в одному з наступних станів: *нульовий стан* або стан невизначеності (потенціальний бар'єр зменшений, і рухомий електрон може зайняти будь-яку з вакансій) та в *двох станах поляризації* (виникають, коли величина потенціального бар'єру зростає і зберігає свій рівень, щоб мінімізувати енергетичний рівень комірки).

На рис. 1 зображена базова комірка квантового автомата, способи її розміщення в просторі та поляризації ($P \pm 1$)

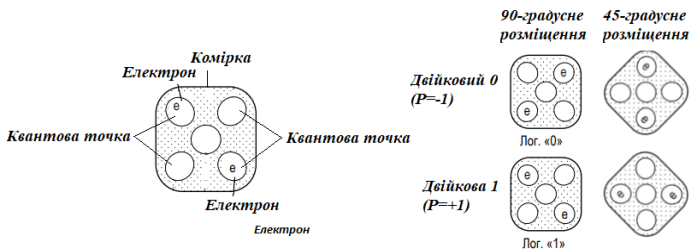


Рис. 1. Окрема комірка квантового автомата (а), способи розміщення в просторі (б) і поляризації ($P \pm 1$)

За допомогою квантових коміркових автоматів можуть бути сконструйовані різні елементи для виконання арифметичних і логічних операцій. Основними логічними елементами в теорії коміркових автоматів є мажоритарний елемент та інвертор (рис. 2).

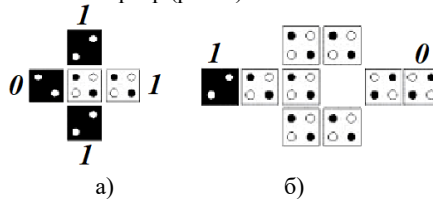


Рис. 2. Мажоритарний елемент (а) та інвертор (б) на базі коміркових автоматів

Однобітний повний суматор на квантових коміркових автоматах може бути складений з трьох мажоритарних елементів і двох інверторів (рис.3). Вирази для суми S і переповнення цього суматора C_{out} наступні:

$$S = maj(C_{out}, x_0, maj(x_1, x_0, C_{in}))$$

$$C_{out} = maj(x_0, x_1, C_{in}),$$

де x_0, x_1, C_{in} – входи, S і C_{out} – виходи суматора.

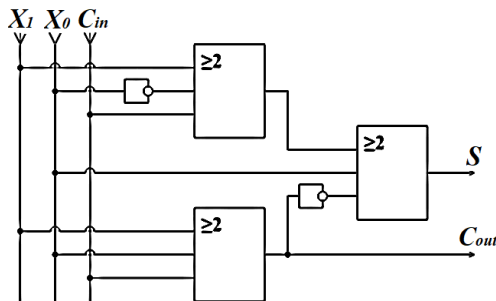


Рис. 3. Схема однорозрядного суматора на мажоритарних елементах

На рис. 4 зображено наносхему на квантових коміркових автоматах однорозрядного суматора споектовану в QCADesigner. Для конструювання вхідних провідників використані комірки з 45-градусною орієнтацією, які створюють інвертуючий ланцюг. Кожна комірка такого ланцюга протилежно поляризована до сусідніх комірок. Якщо провідник з однаково поляризованих комірок перетинає інвертуючий провідник, провідники не взаємодіють між собою, тому можуть працювати незалежно на одному рівні (компланарний перетин).

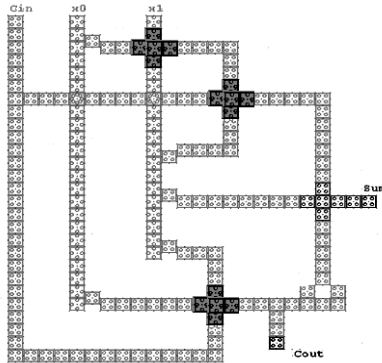


Рис. 4. Наносхема суматора на квантових коміркових автоматах

Проектування дворозрядного перемножувача є складнішим. Вираз для чотирьох виходів дворозрядного перемножувача, реалізованого на чотирьох мажоритарних елементах і двох повних суматорах, має вигляд:

$$\begin{aligned}
 P_0 &= x_0 y_0 = maj(x_0, y_0, 0); \\
 P_1 &= \bar{x}_1 x_0 y_1 \vee x_1 x_0 \bar{y}_0 \vee x_1 \bar{y}_1 y_0 \vee x_1 \bar{x}_0 y_0 = \\
 & maj(\bar{maj}(maj(x_0, y_1, 0), maj(x_1, y_0, 0), C_1), maj(maj(x_0, y_1, 0), maj(x_1, y_0, 0), \bar{C}_1), C_1); \\
 P_2 &= x_1 y_1 \bar{y}_0 \vee x_1 \bar{x}_0 y_1 = maj(C_2, maj(\bar{C}_2, maj(maj(x_0, y_1, 0), maj(x_1, y_0, 0), C_1), maj(x_1, y_1, 0)), \\
 & \bar{maj}(C_2, maj(maj(x_0, y_1, 0), maj(x_1, y_0, 0), C_1), maj(x_1, y_1, 0))); \\
 P_3 &= x_1 x_0 y_1 y_0 = maj(C_2, maj(x_1, y_1, 0), (C_1, maj(x_0, y_1, 0), maj(x_1, y_0, 0))),
 \end{aligned}$$

де x_0, x_1, y_0, y_1 – вхідні сигнали, P_0, P_1, P_2, P_3 – відповідні біти вихідного добутку, C_1, C_2 – перенесення з попереднього стану.

Дворозрядний перемножувач, спроектований на вищезгаданих принципах, складається з двох однорозрядних суматорів і чотирьох мажоритарних елементів з фіксованими входами. Наносхема дворозрядного перемножувача представлена на рис. 5.

Комп'ютерна модель цієї наносхеми на квантових коміркових автоматах показана на рис.6. Швидкодія такого перемножувача складає три тактові цикли. Наносхема містить шість коміркових рівнів задля уникнення проблем компланарного перетину (що пов'язані з низьким рівнем передачі сигналу між двома провідниками).

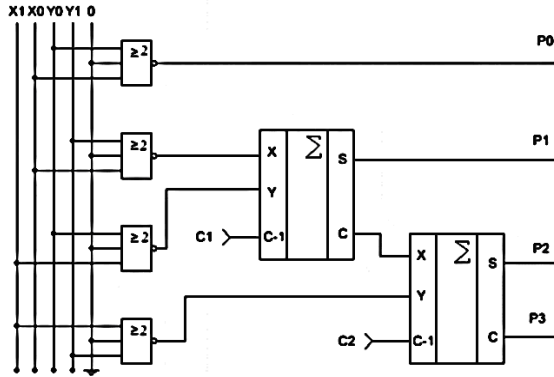


Рис. 5. Наносхема дворозрядного перемножувача

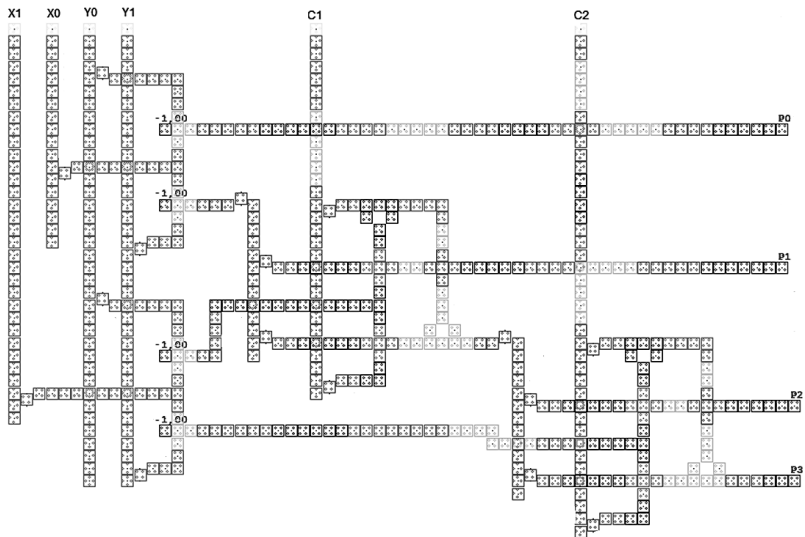


Рис. 6. Модель наносхеми дворозрядного перемножувача

Результати комп'ютерного моделювання роботи перемножувача наведені на рис. 7.

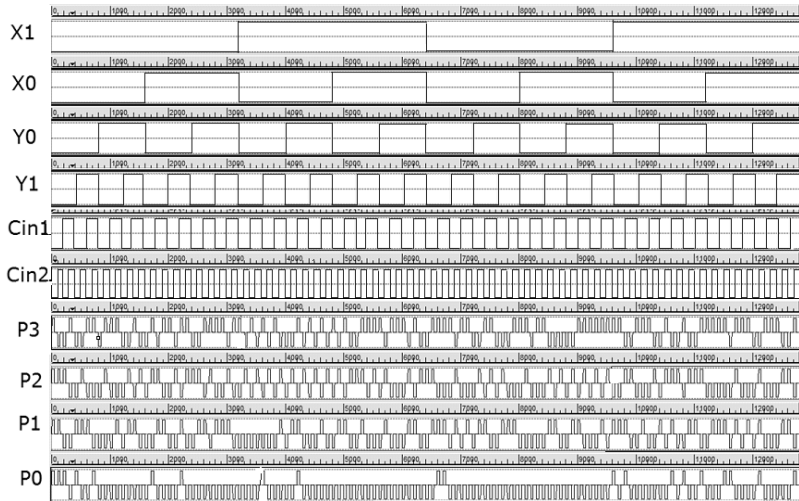


Рис. 7. Моделювання форми сигналів дворозрядного перемножувача

Застосування багаторівневого перетинання провідників дозволяє уникнути проблем компланарного перетину. Визначено, що необхідно три повних тактових цикли для завершення операції перемноження. Досягнута мета проєктування надійного розшарування наносхеми дворозрядного перемножувача і підвищення його експлуатаційної надійності.

Список літератури

1. Tougaw, P.D., Lent C.S .Logic devices implemented using quantum cellular automata / Tougaw, P.D., Lent C.S //J. Appl. Phys., American Institute of Physics. – 1994.
2. Мельник О.С. Автоматизоване моделювання наносхем на квантових коміркових автоматах / О.С. Мельник, В.В. Івахнюк // Електроніки та систем управління. – 2010, - №2, – с. 81-84.
3. K. Walus, T.J. Dysart, G.A. Jullien, and R.A. Budiman. Qcadesigner: a rapid design and simulation tool for quantum-dot cellular automata. IEEE Transactions on Nanotechnology, 3(1):26–31, 2004.