

О.О. Карпін, В.М. Сокіл, В.Т. Кремінь, А.А. Коновалов
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

МЕТОД ПОБУДОВИ СЕНСОРНИХ ДИСПЛЕЇВ З МОЖЛИВІСТЮ ДЕТЕКТУВАННЯ БАГАТЬОХ ОДНОЧАСНИХ ДОТИКІВ

© Карпін О.О., Сокіл В.М., Кремінь В.Т., Коновалов А.А., 2008

Описано новий метод побудови ємнісних сенсорних дисплеїв з можливістю детектування багатьох одночасних дотиків. Реалізація методу на сучасних сенсорних дисплеях показує його працездатність та ефективність.

In this article the new sensing method of capacitive touchscreens with multitouch detection capability is proposed. The test results of method realization with modern touchscreens show its workability and efficiency.

Постановка проблеми. Використання сенсорних дисплеїв у мобільних та інтелектуальних електронних приладах покращує ергономічність кінцевих приладів та дозволяє організувати прості та зручні рішення взаємодії користувача і системи. Останнім часом значно зросла популярність до приладів із сенсорними дисплеями. Виробники мобільної техніки, своєю чергою, почали “змагання” впровадження сенсорних дисплеїв в своїх виробках. Кожна з провідних фірм (Apple, LG, Samsung тощо) представила на ринок мобільний телефон із сенсорним дисплеєм (Apple iPhone, KF700, F700). Проте, лише продукти фірми Apple застосовують методи для роботи з сенсорними дисплеями, що дозволяють розрізнити одночасно декілька дотиків на поверхні дисплею. Оскільки розробки фірми Apple є патентованими та закритими для всіх інших виробників мобільної техніки, то проблема детектування багатьох одночасних дотиків на сенсорних дисплеях залишається актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вперше сенсорний дисплей з можливістю детектування багатьох одночасних дотиків створено фірмою Bell Labs в 1984 році. Його побудовано шляхом накладання множини прозорих ємнісних давачів на електронно-променеу трубку. Ця розробка не набула широкого вжитку, проте дозволила побачити всі переваги сенсорних дисплеїв з можливістю детектування багатьох одночасних дотиків під час роботи з графічними об'єктами [1].

До 2007 року використання сенсорних дисплеїв з можливістю детектування одночасно багато дотиків у мобільних технологіях було дуже обмежено і мало лише дослідницький характер. Ємнісні технології розвивалися у руслі побудови сенсорних кнопок, слайдерів, дисплеїв для детектування лише одного дотику. У 2007 році фірма Apple випустила мобільний телефон Apple iPhone і, тим самим, значно активізувала ринок сенсорних дисплеїв у мобільній техніці [2]. Провідні фірми, що працюють з технологіями сенсорних дисплеїв, а саме Cypress, Analog Devices, Microchip, PE, Quantum, Omron, Freescale, Synaptics визначили напрямок сенсорних дисплеїв як один з найперспективніших [3–10]. Значні зусилля спрямовано на методи детектування багатьох дотиків на сенсорних дисплеях.

Постановка задачі. Запропоновано новий метод побудови ємнісних сенсорних дисплеїв з можливістю детектування багатьох одночасних дотиків. Показано реалізацію наведеного методу на мікросхемах Cypress PSoC без використання активних компонентів. Наведено результати роботи методу на панелях Apple iPod.

CapSense технологія фірми Cypress

Технологія CapSense фірми Cypress спеціально розроблена для детектування малої зміни ємності (0,1-10пФ) на фоні великої паразитної ємності (10-100пФ). Ця технологія дає змогу визначати наявність та відсутність об'єкта без потреби у прямому контакті із сенсором, створювати інтерфейси людина-машина. Технологія стійка до зовнішніх факторів, таких, як вологість, температура, механічний вплив, працює через різні матеріали з різною товщиною.

До недоліків CapSense технології фірми Cypress можна зарахувати вимірювання суми паразитної ємності C_{par} та ємності дотику C_x :

$$C_s = C_{par} + C_x. \quad (1)$$

Це приводить до того, що для оптимізації використання динамічного діапазону завжди необхідно боротися за зменшення паразитної ємності. Також технологія CapSense не дозволяє визначати декілька одночасних дотиків під час роботи з ємнісними сенсорними дисплеями.

У технології CapSense вимірювання ємності (на прикладі методу CSD CapSense Sigma-Delta) реалізовано на основі схеми з комутованим конденсатором та струмовідвідному резисторі зворотного зв'язку. При тому коефіцієнт заповнення вихідного бітового потоку сигма-дельта модулятора пропорційний вхідній ємності. Структурну схему CSD методу показано на рис. 1.

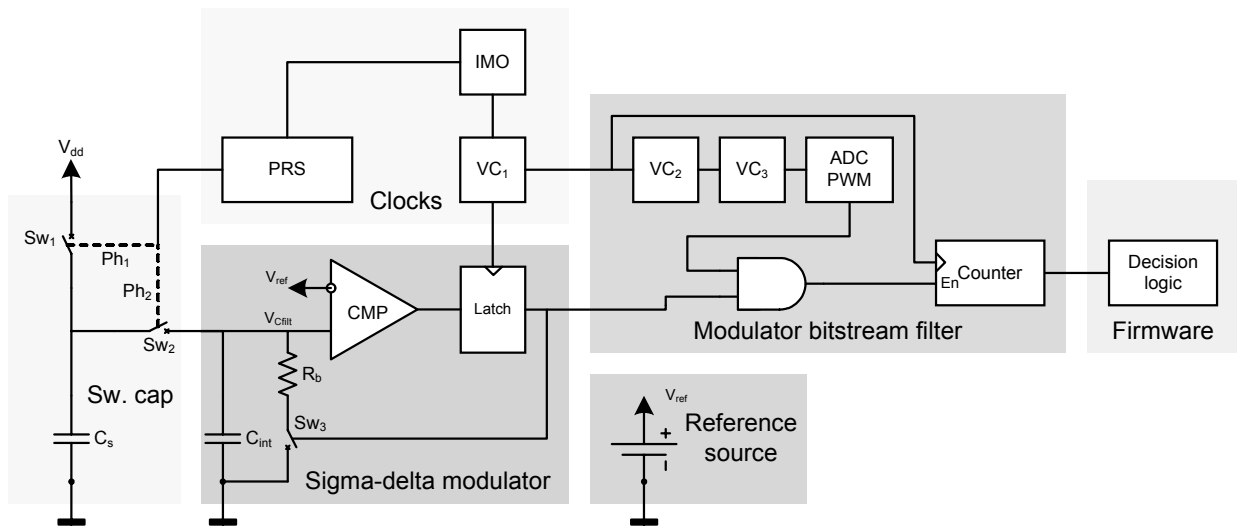


Рис. 1. Структурна схема CSD методу

Основна ідея комутованого конденсатора в CSD методі полягає в тому, що вимірювана ємність C_s між ключами Sw_1 та Sw_2 розглядається як еквівалентний опір (рис. 2).

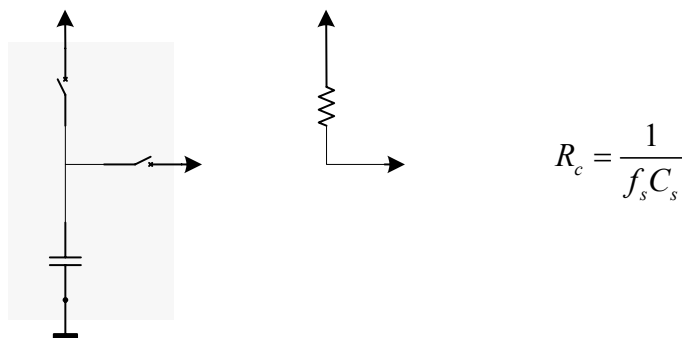


Рис.2. Еквівалентна схема комутованого конденсатора CSD CapSense методу

Структура ємнісних сенсорних панелей

Сенсорний дисплей конструктивно складається з двох частин – самого дисплею та накладеної на нього сенсорної панелі. Сенсорна панель, своєю чергою, складається з двох шарів сенсорів, які ізолювані один від одного та від зовнішнього середовища шарами з півки діелектрика. Класичну структуру ємнісної сенсорної панелі у розрізі показано на рис. 3 [3].

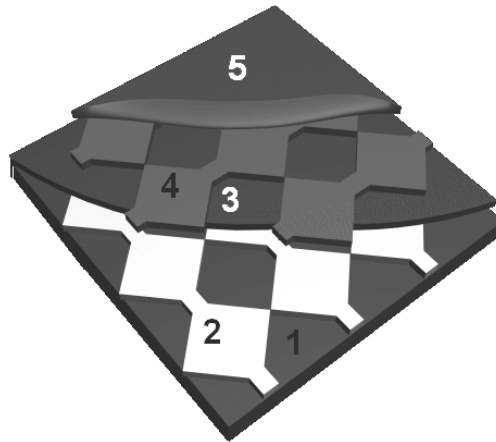


Рис. 3. Вигляд сенсорної ємнісної панелі

На рис. 3 позначено цифрами 1, 3 та 5 шари прозорого діелектрика; цифрами 2 та 4 – горизонтальні і вертикальні електроди. Електроди панелі виготовляються за так званою ІТО технології (Indium Tin Oxide) шляхом напилювання на пластину прозорого діелектрика суміші оксидів індію та олова [11]. Кожен з електродів являє собою окремий ємнісний сенсор.

Під час побудови сенсорних дисплеїв на базі Cypress CapSense технології горизонтальні та вертикальні електроди розглядаються як окремі два “слайдери”. До того ж центри мас внесеної ємності по кожному зі “слайдерів” покажуть координату дотику (x ; y). Це одноелектродний метод вимірювання ємності електрода, що не дає змоги будувати системи з можливістю детектування одночасних дотиків на класичній двошаровій панелі.

Метод побудови сенсорних дисплеїв з можливістю детектування багатьох одночасних дотиків

В основі ємнісних методів детектування багатьох одночасних дотиків лежить принцип матричного сканування двошарової сенсорної панелі з сенсорами орієнтованими у горизонтальному та вертикальному напрямках. Модель двох електродів при матричному скануванні ємнісної панелі наведено на рис. 4.

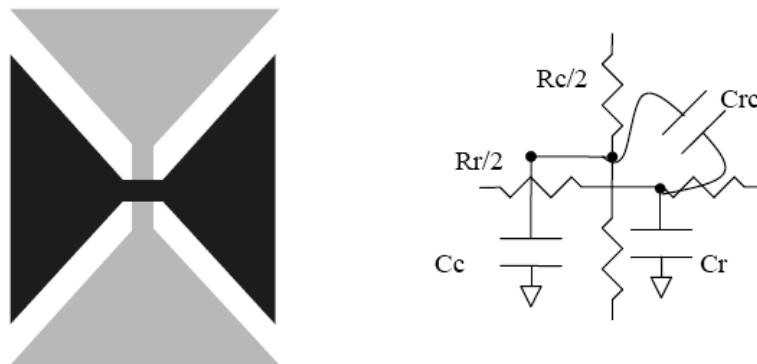


Рис. 4. Модель двох електродів під час матричного сканування ємнісної панелі

На рис. 4 C_c та C_r позначено власні ємності електродів відносно землі, C_{rc} – взаємну ємність двох електродів, R_r та R_c — опори електродів. У разі піднесення пальця до місця перетину

електродів змінюється взаємна ємність C_{rc} [12]. Вимірювання взаємної ємності електродів під час матричного сканування дозволяє будувати системи з можливістю детектування багатьох одночасних дотиків.

Запропонований метод ґрунтується на матричному скануванні та вимірює одночасно сигнали з двох ліній приймачів за однією лінією передавачем. Така диференційна схема вимірювання мала б значно покращити стійкість системи від зовнішніх завад. Функціональну схему запропонованого методу показано на рис. 5.

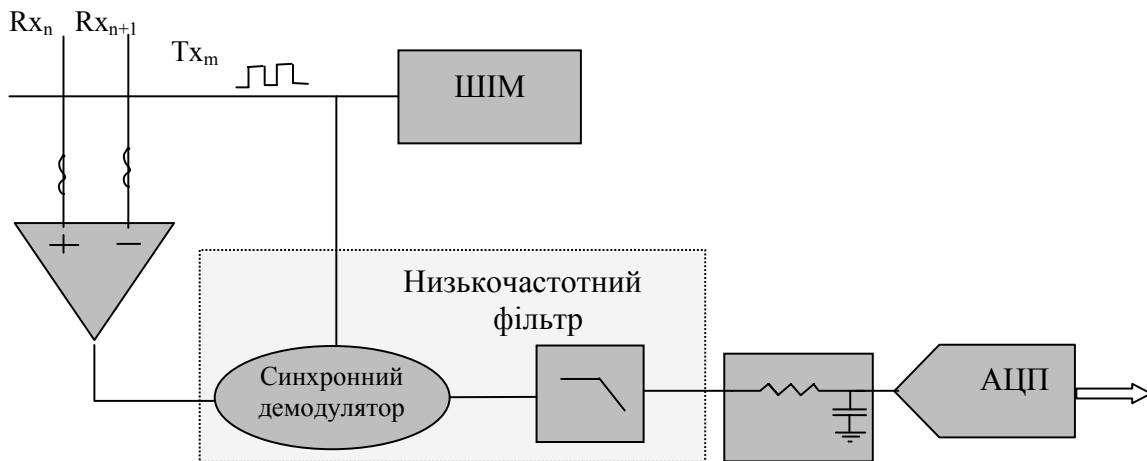


Рис. 5. Функціональна схема запропонованого методу

У разі піднесення пальця до місця перетину електродів передавача (Tx) і приймача (Rx) змінюється їх взаємна ємність C_{rc} , а отже, змінюється і амплітуда сигналу на Rx лінії. Оскільки взаємна ємність електродів дуже мала, то зміну сигналу важко відрізнити від шумів. Задля вирішення цієї проблеми запропоновано використовувати пару Rx електродів, які під'єднано до входу диференційного підсилювача. Це дасть змогу компенсувати зовнішні наведені завади, оскільки при близькому розташуванні електродів завади на них будуть практично однакові. Після синхронного демодулятора-випрямляча зміна сигналу буде пропорційна значенню напруги на виході. За допомогою сигма-дельта АЦП аналогове значення напруги перетворюється у цифрову форму.

Значною перевагою запропонованого методу є можливість його реалізації на одній мікросхемі CY8C24794 PSoC Mixed Signal Array фірми Cypress Semiconductor. Логічну структуру вимірювання (комутації ліній приймачів Rx) показано на рис. 6.

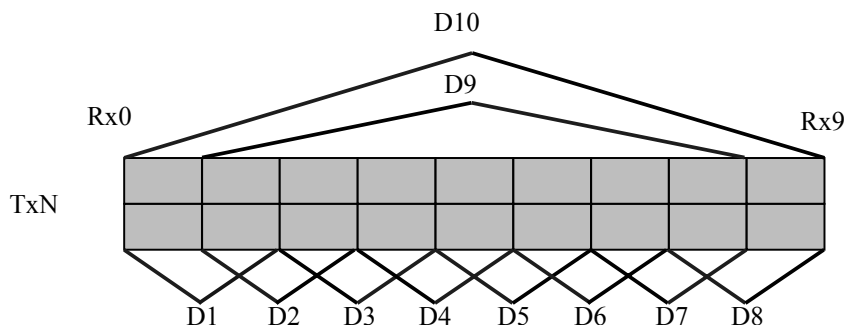


Рис. 6. Логічна структура вимірювання

На рис. 6 наведено структуру для панелі з 10 Rx ліній, Rx0 - Rx9 — лінії приймачі, TxN — лінія передавач. D1 - D10 — різниці сигналів на лініях.

Практична реалізація

Запропонований метод реалізовано на одній мікросхемі CY8C24794 PSoC Mixed Signal Array фірми Cypress Semiconductor. Під час вимірювань лінії Rx комутуються до операційного підсилювача вбудованим аналоговим мультиплексором [13]. Синхронний демодулятор- випрямляч побудовано на базі блока з конденсаторами, що перемикаються [14]. Операційний підсилювач побудовано на основі двох блоків підсилювачів з програмованими коефіцієнтами підсилення. Вибрано 8-бітний сигма-дельта АЦП з 32 циклами наближення. Частоту імпульсної послідовності ШІМ обрано дослідним шляхом - 55 КГц. Ця частота залежить від панелі та має розраховуватися залежно від опорів ліній, власної та взаємної ємності електродів для завершення всіх перехідних процесів у час півперіоду імпульсної послідовності ШІМ.

Тестування методу виконано на сенсорному дисплеї Apple iPod. Макет пристрою показано на рис. 7.

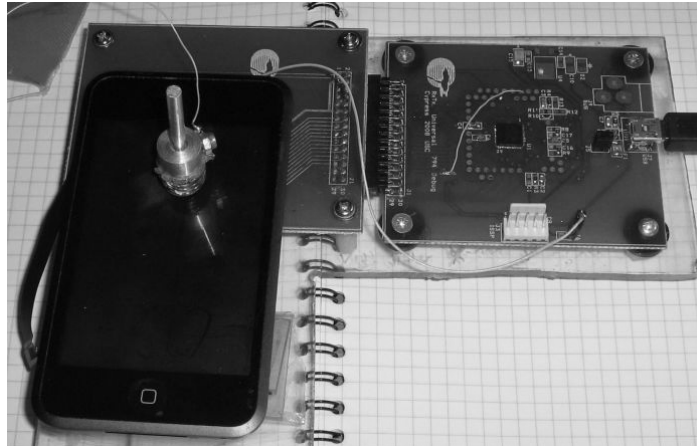


Рис. 7. Пристрій для тестування розробленого методу на базі сенсорної панелі Apple iPod та мікропроцесора CY8C24794 фірми Cypress

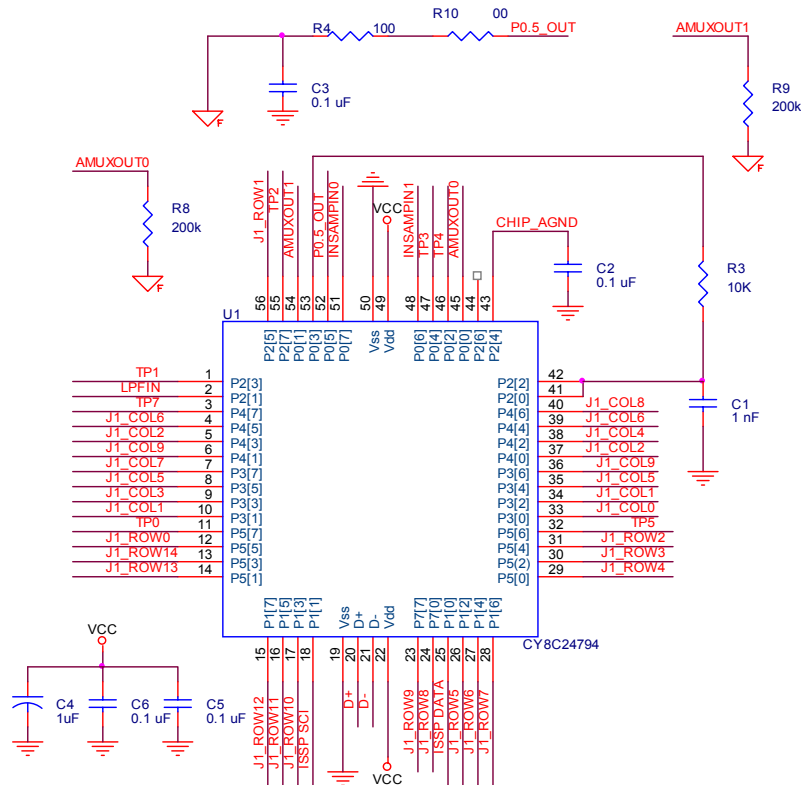


Рис. 8. Схема електрична принципова реалізації методу

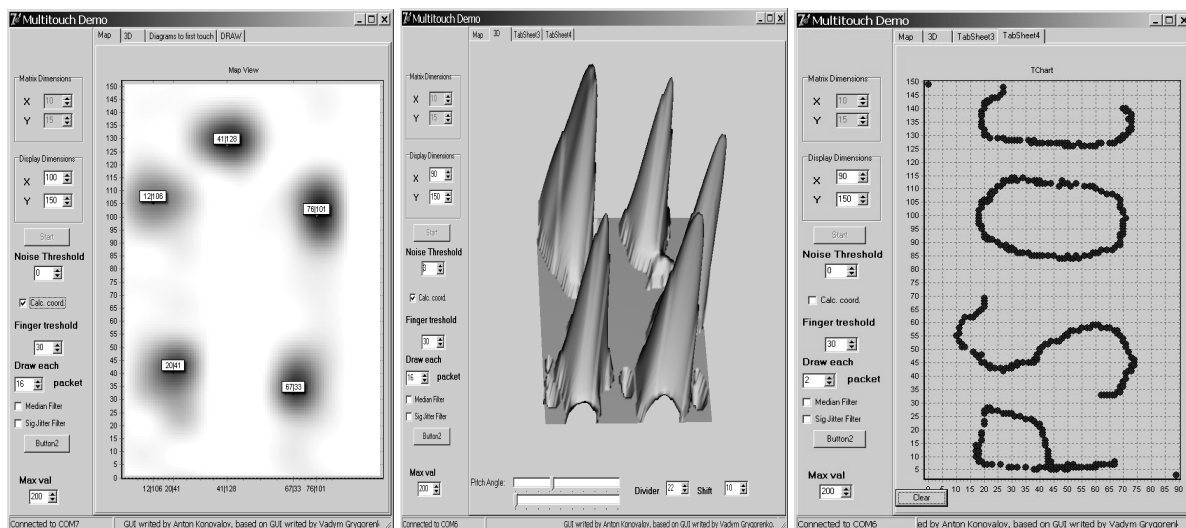


Рис. 9. Приклади роботи методу

Електричну принципову схему плати наведено на рис. 8. Результати роботи методу на сенсорній панелі Apple iPod показано на рис. 9. На рис. 9 значення сигналів, що отримуються під час вимірювання, зображено поверхню та з обрахованими позиціями пальців. Поверхня отримана бі-кубічною апроксимацією двовимірного масиву вимірювань панелі розміром 10x15 сенсорів. Координати дотиків визначаються як центри мас по кожному з локальних максимумів. Зрозуміло, що запропонований метод спроможний визначати декілька одночасних дотиків на ємнісній панелі.

Отримані такі числові результати на панелі Apple iPod:

- Співвідношення сигнал/шум 20дБ
- Ефективна роздільна здатність 400x400
- Час сканування.

Висновки. Запропонований метод дає змогу працювати з сучасними ємнісними сенсорними дисплеями та визначати координати багатьох одночасних дотиків. Наведені результати підтверджують працездатність та ефективність запропонованого методу. Реалізація методу на базі однієї мікросхеми CY8C24794 PSoC фірми Cypress є ефективним рішенням для ринку мобільної техніки.

1. Bill Buxton. "Multi-Touch Systems that I Have Known and Loved", Microsoft Research, <http://www.billbuxton.com/multitouchOverview.html>, 2008. 2. Apple website. <http://www.apple.com/iphone/>, 2008. 3. Cypress website. <http://www.cypress.com/capsense/>, 2008. 4. Analog Devices website. <http://www.analog.com>, 2008. 5. Introducing to mTouch Capacitive Touch Sensing. Microchip website. <http://techtrain.microchip.com>, 2008. 6. PE website. <http://www.pe-icdesign.de>, 2008. 7. QMatrix Technology White Paper, Quantum & Atmel, Quantum <http://data.qprox.com>, 2008. 8. Omron website, <http://www.omron.co.jp>, 2008. 9. Touch Panel System Using MC34940/MC33794 E-Field Sensors, Freescale Semiconductor, www.freescale.com, 2008. 10. Synaptics website, <http://www.synaptics.com/technology>, 2008. 11. Wikipedia, ITO, http://en.wikipedia.org/wiki/Indium_tin_oxide, 2008. 12. Технология CapSense, Рынок микроэлектроники, <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ>, 2008. 13. PSoC Technical Reference Manual. PSoC Designer, www.cypress.com, 2008. 14. David Van Ess. Analog – Signal Rectification Using Switched Capacitor Modulators. Cypress AN2044. www.cypress.com, 2008.