

Ємнісний датчик присутності

Дослідження основних параметрів, можливостей та проблем використання ємнісних датчиків у якості датчиків присутності

Мельник^f А. В., ORCID [0000-0001-6202-3169](https://orcid.org/0000-0001-6202-3169)

Бевза^g О. М., ORCID [0000-0002-0903-1263](https://orcid.org/0000-0002-0903-1263)

Факультет електроніки

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Київ, Україна

Анотація—Метою даної роботи є дослідження можливості використання ємнісного датчика як пристрою, що фіксує присутність людини у приміщенні при проектуванні систем енергозбереження; визначити його основні параметри та способи застосування. У роботі досліджено ємнісний датчик, робота якого основана на чутливості до зміни діелектричної проникності середовища, у якому знаходиться чутливий елемент.

Дана стаття описує особливості роботи, основні параметри, проблеми та способи застосування такого датчика на основі проведеного експерименту.

Ключові слова — ємність; ємнісний зв'язок; діелектрична проникність; система енергозбереження; датчик; генератор електричних коливань; детектор присутності.

I. ВСТУП

При проектуванні систем енергозбереження виникає питання яким чином відслідковувати ті чи інші зміни у контрольованому приміщенні, щоб у подальшому вплинути на системи енергоспоживання – автоматично увімкнути світло у разі присутності та автоматично вимкнути його у разі відсутності людини у кімнаті тощо. Пристрої, що слідкують за такими подіями – називаються датчиками або сенсорами.

Існує багато видів датчиків, які, в основному, відрізняються за тим, що вони відслідковують та у яких цілях їх застосовують. Основна задача датчика – перетворити фізичну величину у сигнал, частіше всього в електричний. Конкретно яку фізичну величину потрібно перетворити – залежить від поставленої задачі.

У ролі датчика присутності обраний ємнісний датчик, оскільки він простий у конструюванні, має досить просту схему вимірювання й може фіксувати наявність рухомих та статичних об'єктів у зоні чутливості.

Відомо, що ємність між двома об'єктами прямо пропорційна їхнім геометричним розмірам та обернено пропорційна відстані між ними. Система визначення наближення або величини об'єктів складається з чутливого елемента, блоку вимірювання ємності датчика і схеми, що реагує на зміну ємності при наближенні або зміні розмірів об'єкта. Як чутливий елемент використовується провід, металева пластина, друкований провідник на платі або частина корпусу. Такі датчики можуть мати один або два чутливих елемента.

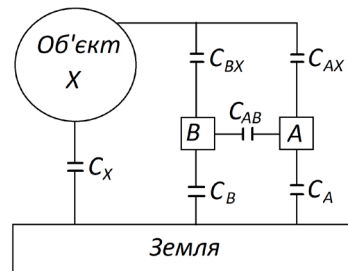


Рис. 1 Датчик з двома чутливими елементами.

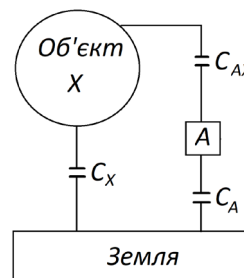


Рис. 2 Датчик з одним чутливим елементом

Принцип роботи датчика з двома чутливими елементами пояснюється на Рис. 1. Взаємна ємність елементів C_{AB} збільшується в залежності від наближення об'єкта до датчика за рахунок збільшення ємностей між C_{AX} та C_{BX} - чутливим елементом і об'єктом. За зміною C_{AB} судять про наближення об'єкта. Недоліком даного підходу є невисока чутливість.

Схема датчика з одним чутливим елементом показана на Рис. 2. При наближенні об'єкта ємність

між ним і датчиком C_{AX} та, відповідно, ємність самого датчика C_A збільшуються. Чутливість такої схеми вище, у ніж попередній, що дозволяє розпізнавати об'єкти на більшій відстані. Однак обидві схеми характеризуються дуже низькою заводстійкістю і можуть давати помилкові спрацьовування при наявності сторонніх металевих предметів. Разом з тим ємнісні датчики мають просту конструкцію без намотувальних деталей (котушок, контурів і т.д.), що робить їх зручними і технологічними у виготовленні [1][2].

Датчик представляє собою конденсатор, де роль обкладок відіграє робоча поверхня чутливого елемента й земля (під словом «земля» мається на увазі будь-який великий об'єкт, такий, як земля, озеро, автомобіль, корабель, літак і т.д.). Характеристики ємності, як і у звичайному конденсаторі, залежать від його обкладок та діелектрика між ними. У ємнісному датчику присутності роль діелектрика відіграє внутрішній простір приміщення, де наявність або відсутність того чи іншого об'єкта впливає на діелектричну проникність діелектрика, внаслідок чого спостерігається зміна ємності такого конденсатора.

На основі даного явища розроблено різноманітні чутливі елементи, які можуть реагувати на дотик, рух, присутність, приближення, кількість речовини тощо. Один із яскравих прикладів – це сенсор дисплея сучасних смартфонів, який фіксує зміну ємності між сенсором та користувачем у місці дотику.

Конструкції таких датчиків різноманітні та не є досить складними. Схеми вимірювання ємності теж мають чимало варіантів, що відрізняються як за принципом роботи, та і за складністю побудови [3].

II. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Особливістю ємнісного датчика є те, що при збільшенні контрольованого простору для забезпечення потрібної чутливості необхідно збільшувати розміри робочої поверхні датчика. Очікувано, що при цьому на результати вимірювання будуть впливати дестабілізуючі фактори – шуми, наводки, паразитні ємності тощо.

В літературі [1]–[8] приведено різноманітні конструкції ємнісних датчиків та схеми їх увімкнення, які відрізняються типом і формою чутливого елемента (пластина, дріт, частина корпусу тощо), кількістю чутливих елементів та розмірами. До основних параметрів датчика можна віднести чутливість, власну ємність (при відсутності людини у приміщенні) та динамічний діапазон (мінімальне та максимальне значення ємності). До основних методів вимірювання можна віднести методи, що основані на використанні подільників, мостів, на змінах бокової вітки резонансної кривої, на застосуванні автоматичних компенсаторів та використанні схем з частотною модуляцією.

Враховуючи малу ємність датчиків, для вимірювання таких величин часто застосовуються високочастотні схеми. Найбільш поширеним є метод, при якому змінюється форма резонансної кривої коливального контуру. Такий спосіб є досить давнім,

оскільки використовувався ще в початковий період розробки схем вимірювання електричних ємностей, проте він закладений в основу роботи багатьох сучасних приладів [4].

У роботі взято датчик, що складається з одного чутливого елемента та має вигляд металевої пластини. Такий датчик реагує на ємність між самою пластиною та землею. При появі людини у зоні чутливості діелектрична проникність середовища змінюється, і, як наслідок, ємність датчика. Як метод вимірювання ємності обрано метод із застосуванням схем з частотною модуляцією, за яким зібрано вимірювальну установку. У якості приладу відображення змін у системі обрано частотомір.

III. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи – дослідити параметри обраного типу ємнісного датчика у взаємодії з схемою частотної модуляції.

Для досягнення поставленої задачі потрібно дослідити вплив на ємність наступних факторів:

- розміру об'єкту;
- зміни сумарної площі датчика;
- інших об'єктів безпосередньо за ним.

IV. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСУТНОСТІ ЛЮДИНИ У ПРИМІЩЕННІ

Тіло людини являє собою середовище з високою діелектричною проникністю (на частоті 40 МГц діелектрична константа м'язів, шкіри і крові приблизно дорівнює 97, а жиру і кісток – 15), між ним і навколишніми предметами виникають різні ємнісні зв'язки. Величина перехідних ємностей, що з'являються, зазвичай лежить в діапазоні від декількох пікофарад до декількох нанофарад. На Рис. 3 [5] показано, що спочатку ємність між тестовою пластиною і землею дорівнює C_1 . При вторгненні людини в зону чутливості цієї пластини формуються два додаткових конденсатора: C_a – між пластиною і тілом, та C_b – між тілом і землею. Тому сумарна ємність між пластиною і землею збільшиться на величину ΔC :

$$C = C_1 + \Delta C = C_1 + \frac{C_a C_b}{C_a + C_b}. \quad (1)$$

Ця зміна ємності може бути зафіксована за допомогою відповідної апаратури й використовуватися для детектування присутності людей в зоні, що контролюється [5][6].

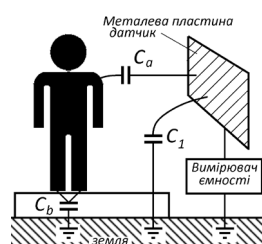


Рис. 3 Схема фіксування присутності за допомогою ємнісного датчика з одним чутливим елементом

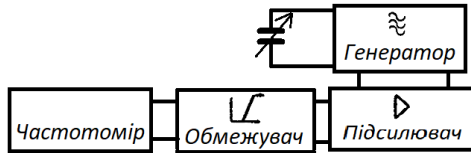


Рис. 4 Структурна схема системи вимірювання ємності

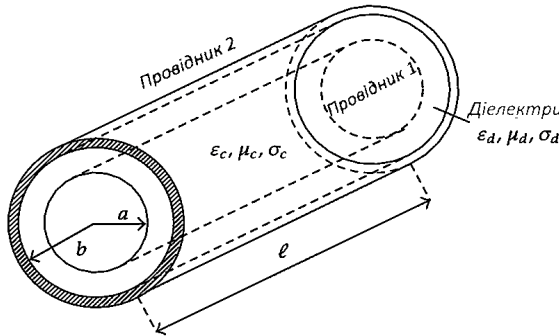


Рис. 5 Відрізок коаксіального кабелю

V. ВИМІРЮВАЛЬНА СХЕМА ДАТЧИКА ЄМНОСТІ

Загальна схема вимірювання ємності датчика показана на Рис. 4. Частота генератора змінюється під дією датчика, а його вихідний сигнал подається на вхід вимірювального приладу через кабель, довжина якого у загальному ролі не грає. Тут сигнал підсилюється, обмежується і випрямляється, тому на виході він має характеристики, які дозволяють його без подальшого підсилення підводити безпосередньо на пластину осцилографа чи іншого вимірювального приладу. При цьому відпадає потреба підсилення по постійному струму, котре ускладнює схеми та погіршує стабільність. Частота несучої у подібних схемах зазвичай лежить від сотень кілогерц до десятків мегагерц [4].

VI. З'єднання датчика з вимірювальною схемою

Важливим питанням є спосіб з'єднання датчика з вимірювальною схемою. Найкращий варіант це у безпосередній близькості до схеми. Однак такий спосіб не завжди підходить для конкретних цілей. Іноді потрібно сам датчик розмістити на певній відстані, під'єднавши його до схеми за допомогою кабелю. Тут грає значну роль ємність кабелю, яка буде змінюватися при його скручуванні, утворюючи витки, або при наближенні його до металевих чи інших струмопровідних предметів. Найкраще застосувати коаксіальні двохжильні кабелі. На Рис. 5 показано схематичне зображення коаксіального кабелю та параметрів, за якими можна обчислити його погонну ємність за наступною формулою:

$$C' = \frac{2\pi\epsilon_d}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (2)$$

де C' – погонна ємність [Ф/м], ϵ_d – діелектрична проникність діелектрика, що знаходиться між двома провідниками [Ф/м], a – радіус центральної жили [м], b – радіус зовнішньої жили [м].

Відповідно, щоб знайти сумарну ємність кабелю у фарадах, потрібно помножити його погонну ємність на довжину l у метрах.

Використання коаксіальних кабелів дозволяє зменшити вплив на сигнал зовнішніх факторів таких як наводки, паразитні ємності тощо. Такий тип провідників має низьку погонну ємність (близько 50 пФ/м), що менше впливає на чутливість датчика до малих ємностей [7].

VII. ЕКСПЕРИМЕНТ

A. Опис вимірювальної установки

Для дослідження датчика обрано схему, наведену на Рис. 6, яка є генератором коливань, що побудована за схемою ємнісної трьохточки. На схемі видно елементи $C1$ і $L1$ – це паралельний коливальний контур. Елементи $C1$ – $C4$ підключені послідовно-паралельно до LC-контур, тому вони теж впливають на його ємність.

До точки з'єднання контуру та базового конденсатора $C2$ під'єднано ємнісний датчик $WA1$, який складається з металевої пластини. У якості пластини обрано фольгований міддю склотекстоліт з площею 345 см^2 . Транзистор підійде будь-який малопотужний високочастотний з оберненою провідністю (у даному випадку обрано $KT315$). $C1$ взято 10 пФ , а $L1$ – $0,39 \text{ мкГн}$. У якості вимірювального приладу використаний частотомір, який підключено до виходу генератора. Схема попередньо заземлена [8].

Датчик у даному випадку знаходиться на відстані до 50 см від схеми. З'єднання виконано через коаксіальний кабель, де центральна жила під'єднана до пластини, а зовнішня – на мінусовий контакт блоку живлення. Однак можна використати і звичайний мідний провід, але в такому випадку на точність будуть більше впливати електричні завади та паразитні ємності між кабелем та навколишнім середовищем.

Ємність, утворена між землею та пластинною $WA1$, паралельна конденсатору $C1$ і буде впливати на резонансну частоту контуру. Сумарна ємність контуру при цьому буде сумою ємності датчика і $C1$.

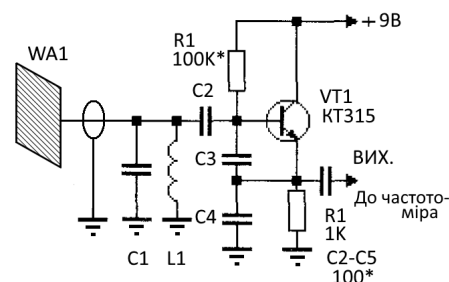


Рис. 6 Схема вимірювального пристрою

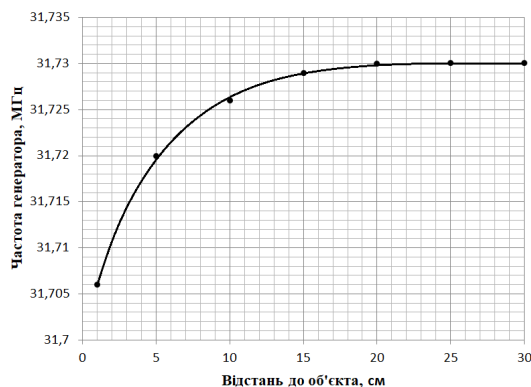


Рис. 7 Залежність вихідної частоти генератора від відстані між датчиком та об'єктом впливу (при заданих параметрах системи)

При увімкненні схеми без датчика частотомір показав значення 38,344 МГц, а з ним – 31,730 МГц. Експериментально можна визначити, що ємність датчика становить близько 30 пФ. При цьому пластина була розташована так, що перед нею та збоку не було ніяких об'єктів, а позаду неї – стіна, що знаходилась на відстані 1 м.

У даному експерименті досліджувалась чутливість датчика. Результатом значення чутливості є відстань від пластини до об'єкта впливу, при якій зміна частоти генератора була хоча б на 2 кГц. Усі значення частоти отримані з допуском ± 1 кГц. Отримані результати є оціночними. В ході експерименту досліджувався вплив на ємність розміру об'єкту, зміни сумарної площі датчика, а також вплив на ємність датчика інших об'єктів безпосередньо за ним

В. Реакція системи на зміну геометричних розмірів об'єкта

Варто звернути увагу на зміну частоти генератора при відсутності чи наявності об'єкту перед датчиком або при зміні його масогабаритних параметрів. При відсутності об'єкта частота становить 31,730 МГц, при наявності на відстані 1 см пластмасової тари з водою, об'ємом 1 л – 31,728 МГц, а при збільшенні тари до 5 л – 31,726 МГц.

С. Реакція системи на віддалення об'єкта

У подальшому для визначення чутливості датчика використовувалася вода об'ємом 1 л у пластиковій тарі та людина з середньою вагою 70 кг. Було виявлено, що на тару з водою, датчик починає реагувати на відстані до 15 см, на людину – до 60 см.

На Рис. 7 наведено графік залежності частоти генератора від відстані. У якості об'єкта впливу використано пластикову тару з водою ємністю 1 л. При впливі на систему людини вигляд графіка аналогічний отриманому. При цьому діапазон відстані та частоти буде дещо більший.

Д. Реакція системи на зміну робочої площі датчика

При збільшенні сумарної площі датчика шляхом під'єднання додаткових пластин з фольгованого м'якого склоплекстоліту чутливість лещо збільшується.

але лише при об'єктах великих розмірів. Площа поверхні датчика була збільшена з 345 см² до 1625 см². Власна ємність датчика при цьому значно зросла. Власна частота датчика становить 14,292 МГц, отже ємність дорівнює близько 300 пФ. При такій площі датчика на 1 л води він реагує на відстані 20 см, а на людину з масою 70 кг – до 95 см. Тобто при збільшенні робочої площі датчика покращується чутливість, але, оскільки власна ємність при цьому теж зростає, то, відповідно, об'єкти з меншим об'ємом він починає фіксувати гірше. Отже, дальність приладу зростає, але зменшується роздільна здатність.

Е. Реакція системи на появу сторонніх об'єктів навколо робочої зони (позаду датчика)

При розташуванні датчика безпосередньо біля стіни, частота генерації зменшилася з 31,730 МГц до 31,258 МГц, тобто власна ємність зросла на декілька пікофарад. При цьому датчик спрацьовує на 1 л води на відстані до 15 см, а на людину – до 60 см. Отже, розміщення датчика на стіні не вплинуло на його параметри, оскільки зростання власної ємності при цьому не суттєве. Однак при використанні датчиків з великою робочою площею це зростання буде значно більшим, і реагувати на малі, порівняно з розмірами людини, об'єкти він практично не буде.

ВИСНОВКИ

За отриманими результатами експерименту можна зробити висновок, що ємнісний датчик може фіксувати присутність людини у приміщенні на відстані до 1 м, що, у порівнянні із середніми розмірами кімнати, є досить мало. Вирішенням такої проблеми може бути розміщення чутливого елемента на підлозі. В такому випадку відстань від датчика до людини буде достатньою для того, щоб прилад міг фіксувати присутність. Розміри робочої поверхні датчика у даному випадку обмежуються площею підлоги, а не стіни, і, відповідно, буде задіяна уся площа кімнати. У якості чутливого елемента можна взяти не лише металеву пластину, а і звичайну фольгу, яку можна легко розстелити під шаром лінолеуму або ковровину. Такий спосіб реалізації дуже добре підходить для приміщень, під якими немає нижніх поверхів, оскільки практично зникає явище хибного спрацювання датчика.

Дана система є дуже чутливою до завад, до наявності інших об'єктів поряд та може дати хибне спрацювання, коли зафіксовано об'єкт поза приміщенням, тобто за стіною або під підлогою, оскільки екрануючої здатності підлоги або стіни може бути недостатньо і датчик почне фіксувати ємнісні зв'язки поза ними. У такому разі потрібно з'єднувати чутливі елементи зі схемою вимірювання за допомогою коаксіальних кабелів, які мають хороші екрануючі якості, що добре впливає на точність даних, що вимірюються. Довжина кабелю при цьому повинна бути мінімальною.

Однак, передавати вже вихідні електричні сигнали зі схеми вимірювання можна на далекі відстані. Сигнал найчастіше отримується частотно-модульований, оскільки схема вимірювання, що базується на такому методі, є досить простою та стабільною.

Незважаючи на недоліки, у ємнісного датчика є певні переваги: велика чутливість, яка при правильно побудованій схемі вимірювання може дати доволі точні результати без сильного впливу дестабілізуючих факторів (шумів, наводок тощо), та невелика інерційність, тобто датчик практично миттєво реагує на зміну ємності.

З проведеного експерименту видно, що даний датчик можна застосувати також в інших цілях. Наприклад, визначення об'єму речовини у резервуарі, що знаходиться між двома такими пластинами, оскільки дана система здатна реагувати і на зміну геометричних розмірів об'єкта, якщо відстань до чутливого елемента незмінна. Така конструкція представляє собою плоскопаралельний конденсатор, де кількість речовини впливає на значення діелектричної проникності, а отже і на результуючу ємність. Таке застосування у наш час широко використовується на підприємствах.

UDC 621.3.087.42

Capacitive Presence Sensor

Investigation of the basic parameters, capabilities and problems of using capacitive sensors as presence devices

A. V. Melnyk^f, ORCID [0000-0001-6202-3169](https://orcid.org/0000-0001-6202-3169)

O. M. Bevza^g, ORCID [0000-0002-0903-1263](https://orcid.org/0000-0002-0903-1263)

Faculty of Electronics

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Kyiv, Ukraine

Abstract—The purpose of this work is to explore the possibilities of using a capacitive sensor as a device that captures the presence of person in the room. When designing an energy-saving system, there is an important issue in choosing sensors that will monitor certain processes in a controlled room and respond to a specific algorithm.

A capacitive sensor has several advantages, including high sensitivity, ease of construction and operation, low inertia, and simplicity of measurement. Such sensors can have many uses. For example, as a touchpad, a meter for measuring the amount of matter in a confined space (liquids, bulk materials, etc.), a motion detector, a presence detector, and others.

This article describes the problem of using a capacitive sensor as a device for detecting human presence in the room where the sensor is installed, based on the results of the experiment. The operation of such a device is based on the sensitivity to change of capacitive couplings in the sensor sensitivity zone. When the geometric dimensions and shapes occur, the displacements and shapes change, and the sensor captures the change in capacity between its working surface and the ground. The sensor is a capacitor. Its first plate is the work surface of the sensing element, and its second plate is a ground or large object (such as a wall, a house, a lake, a car, a ship, an airplane, etc.). The dielectric is all objects in the space between these plates. The dielectric constant of such a "dielectric" depends on the objects, which are present in this space. Therefore, the sensor captures the change in the dielectric constant of the medium and, as a result, its capacity changes too. It doesn't matter if the object is moving or not - the sensor is able to fix it in the sensitivity zone.

The construction of the capacitive sensor is quite simple. The sensitive element may be a wire, a metal plate, a printed conductor on the circuit board or part of the hull. Also, the number of sensitive elements can also be modified for specific purposes.

The main methods for measuring capacitance include methods based on the use of dividers, bridges, changes in the lateral branch of the resonance curve, the use of automatic compensators and the use of frequency modulation circuits. The last method is chosen in the article.

The measurement system in this work is a generator of electric oscillations, the frequency of which depends on the capacitance of the sensor. You can measure the results by counting the number of pulses per unit time. Such a function has, for example, a frequency meter.

This article describes the features, the main parameters, problems and methods of using such a sensor based on the results of the experiment.

Keywords — *capacitance; capacitive coupling; dielectric constant; energy-saving system; sensor; oscillator; presence detector.*



ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] G. Raaja, "Basics and implementation of capacitive proximity sensing," *EE Times*, 2008.
- [2] R. Komarov, "Iomkostnye datchiki priblizhenia [Capacitive oncoming sensors]," *Elektron. componenty*, vol. 12, 2011.
- [3] R. Seguire, "Capacitive sensing techniques and considerations," *Mobile Handset DesignLine*, Cypress Semiconductor, San Jose (CA), pp. 1–7, Nov-2007.
- [4] I. Foreyt, *Iomkostnye datchiki neelektrycheskih velichin [Non-electrical capacitance sensors]*, Energia. Moscow, Leningrad, 1966.
- [5] "Analiz okhrannykh sistem na osnove taktilnykh datchikov iomkosti [Analysis of security systems based on tactile capacitance sensors]," URL: <https://studfile.net/preview/8100820>.
- [6] J. Frayden, *Sovremennye datchiki. Spravochnik [Modern sensors. Handbook]*, Technosfer. Moscow, 2005, ISBN: 5-94836-050-4.
- [7] I. S. R. D. B. Kandic, B. D. Reljin, "On Modelling of Two-Wire Transmission Lines," 2012, DOI: [10.1155/2012/351894](https://doi.org/10.1155/2012/351894).
- [8] M. A. Shustov, *Prakticheskaia skhemotekhnika. 450 poleznykh skhem radioliubiteliyam. [Practical circuitry. 450 useful schemes for radio amateurs]*, Alteks-A. Moscow, 2003.