

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електроніки та інформаційних технологій

Кафедра електроніки, загальної та
прикладної фізики

Кваліфікаційна робота бакалавра
**ЄМНІСНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН:
МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ТА ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ**

Студент гр. ЕП - 71



Д. К. Сергієнко

Науковий керівник,
к.ф.-м.н., ст. викл.



О. В. Пилипенко

Завідувач кафедри ЕЗПФ,



д-р фіз.-мат наук, професор

І.Ю. Проценко

Суми 2021

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. Фізичні принципи роботи ємнісних перетворювачів	5
1.1 Класифікація та призначення.....	5
1.2 Принцип дії і характеристики ємнісного вимірювального перетворювача....	5
1.3 Конструкції ємнісних перетворювачів	13
1.4 Область застосування	14
1.5 Конструктивне рішення.....	16
1.6 Схеми включення в вимірювальний ланцюг.....	17
РОЗДІЛ 2. Введення в середовище Multisim	23
2.1 Середовище Multisim	23
2.2 Моделювання роботи ємнісного вимірювального перетворювача	31
ВИСНОВКИ	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35

ВСТУП

Сучасний світ – техногенний розквіт. Кожного року з'являється все більше автоматизованих приладів, які підвищують продуктивність виробництв і життя у цілому. Активного використання набувають вимірювальні прилади. Вони здатні обробляти близько двохсот різних фізичних величин за короткий проміжок часу і потім перетворювати їх на електричні величини. Така конвертація допомагає передавати, посилювати і швидко обробляти отриману інформацію.

Датчики класифікують за принципом перетворення енергії, за вхідними фізичними величинами, за видом вихідного сигналу. Актуальним є використання датчиків в автоматизованих системах, де вони мають вигляд завершених приладів, що складаються з чутливого елемента і перетворювальної схем. Ємнісним датчиком називають такі датчики, в яких вимірювана величина перетворюється у значення ємності безпосередньо або при механічних переміщеннях. Ємність плоского конденсатора пропорційна діелектричній проникності середовища та площі пластин і обернено пропорційна до відстані між пластинами. Датчики застосовуються для вимірювання механічних переміщень (ємнісні мікрометри), вимірювання рівнів, тиску тощо. [1-3].

Ємнісні перетворювачі прості за конструкцією, володіють високою чутливістю та відносно низькою інерційністю. До їх недоліків слід віднести вплив зовнішніх електричних полів, паразитних ємностей, температури, вологості [4].

Мета бакалаврської роботи полягала у вивченні конструктивно-технологічних особливостей, фізичних принципів функціонування ємнісних датчиків як елементів електронних систем.

Результати роботи представлені і обговорені на Науково-технічній конференції «Фізика, електроніка, електротехніка, ФЕЕ-2021» (м. Суми).

РОЗДІЛ 1

ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ ЄМНІСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

1.1 Класифікація та призначення

Ємнісний вимірювальний перетворювач (ЄВП) – це конденсатор, який при зміні діелектричної проникності поміщеного між пластинами діелектрика, проміжку між самими пластинами або площею перекриття пластин змінює ємність. ЄВП здебільшого використовується як вимірювальний пристрій вологості, будь-яких механічних переміщень, рівня рідини, зусиль або концентрації чого-небудь [5].

Усі сучасні ємнісні перетворювачі можна поділити на основні групи класифікації:

- 1) за видом змінюваного параметра конденсатора на давачі – вони бувають зі змінням діелектричної провідності, зі змінням зазору між обгортками конденсатора та зі змінюваною площею перекриття пластин;
- 2) за конструктивним виконанням на давачі – вони бувають з наявністю діелектрика між пластинами, з плоскопаралельними пластинами конденсатора, з конденсатором у формі циліндра або без діелектрика;
- 3) за призначенням: давачі концентрації та вологості, температури, рівня і лінійних розмірів, зусиль, лінійного і кутового переміщення.

1.2 Принцип дії і характеристики ємнісного вимірювального перетворювача

Ємнісні вимірювальні перетворювачі здебільшого використовуються на основі змінного струму, а їх принцип роботи базується на заміні ємності конденсатора, яка може бути визначена за співвідношенням:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{\delta} \quad (1.1)$$

де ε – відносна діелектрична проникність діелектрика; S - площа тієї самої пластини; δ - товщина діелектрика (також цей елемент можна вважати за відстань між сусідніми пластинами) [6].

З конструкцією стандартного ємнісного датчика можна ознайомитись на рис. 1.1. Для початкової відносної діелектричної проникливості діелектрика працює така формула:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{6\pi \cdot 10^9} \quad (1.2)$$

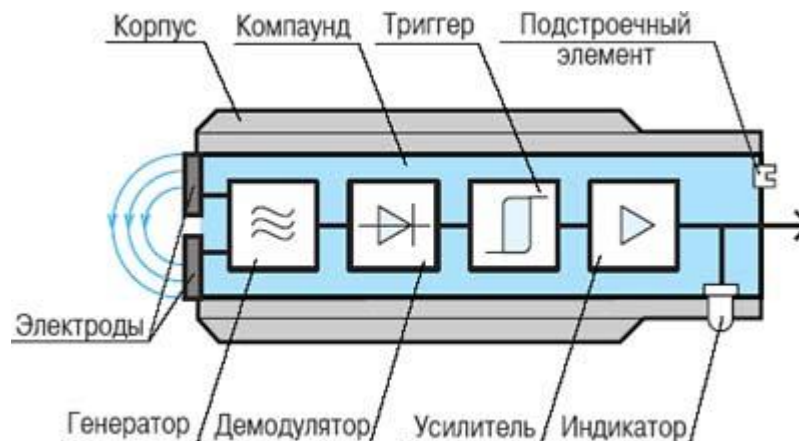


Рис. 1.1 Ємнісний датчик

Як ми можемо побачити з формули (1.1), на конденсаторну ємність впливає товщина діелектрика, тобто зміна зазору δ між нашими пластинами, площа S цієї пластини та діелектрична проникність ε діелектрика, який саме знаходиться між пластинами конденсатора у зазорі [7].

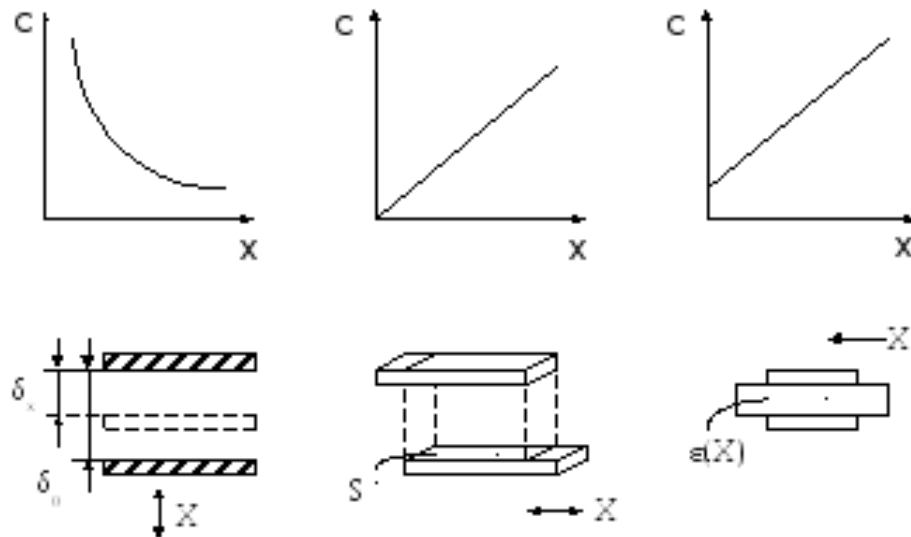


Рис 1.2 Зміна ємності конденсатора при зміні параметрів ємнісного вимірювального перетворювача

На рис. 1.2 ми можемо побачити графік змін деяких параметрів ємнісного вимірювального перетворювача та наслідки цього.

При виборі певного параметру для нашого конденсатора в якості змінюваного перш за все слід звернути увагу на характер величини, яку нам треба виміряти [8].

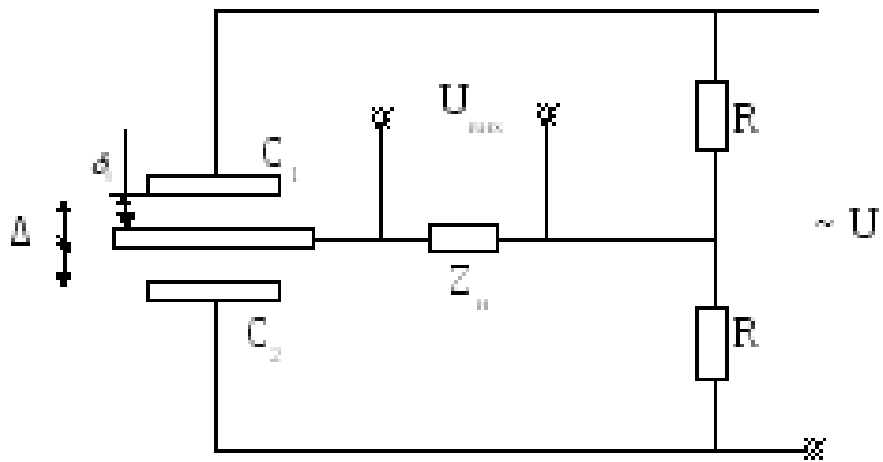


Рис 1.3 Електрична схема потенційного ємнісного вимірювального перетворювача

Якщо ми хочемо виміряти кутові механічні переміщення, то найбільш зручним параметром для заміни ϵ площа перекриття пластин (рис 1.3). У даному випадку ємність вимірюваного перетворювача буде знайдена за співвідношенням:

$$C(\varphi) = \frac{\epsilon\epsilon_0 r_2^2 - r_1^2}{2\delta_0} (\varphi - \varphi_0) \quad (1.3)$$

Враховуючи, що всі величини з формули (1.3) постійні, окрім φ , то отримуємо таке значення:

$$C = k\varphi \quad (1.4)$$

Згідно з формул, наведених вище, можна зробити висновок, що статична характеристика даного ЄВП буде лінійною.

Також, якщо ми вимірюємо саме лінійне переміщення в якості змінюючого параметра нашого конденсатора, то можемо обрати величину δ . При цьому виборі співвідношення буде наступне:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{\delta_x} \quad (1.5)$$

При таких значеннях статична характеристика ємнісного вимірювального перетворювача стане нелінійною. Наслідком цього давачі потрібно буде використовувати лише у випадках змін діапазону величину, яку ми хочемо контролювати, порівняно з невеликою ділянкою характеристики, на якій вона вже буде лінійною. Головне, щоб величина, яку ми переміщуємо, не перевищувала 1 мм. Якщо нам треба виміряти потенційне велике лінійне переміщення, в якості параметру для заміни в конденсаторі доцільно використати площу перекриття пластин [9].

Відмітимо, що описані ємнісні давачі не можуть використовувати властивість реверсивності. Цей недолік долається використанням мостових схем для включення двотактних ємнісних вимірювальних перетворювачів.

Ємність кожного з цих плечей даного ємнісного давача буде визначатися за співвідношеннями:

$$C_1 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{\delta_1} \text{ та } C_2 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{\delta_2} \quad (1.6)$$

де δ_1 – величина відстані між пластинами нижньої частини схеми, а δ_2 – величина відстані між пластинами верхньої частини схеми.

При переміщення ($\Delta=0$) ємності C_1 і C_2 рівні $C_1=C_2=C_0$. При значенні $\Delta \neq 0$ будується співвідношення при зміні ємностей:

$$C_1 = \frac{C_0}{1+\frac{\Delta}{\delta_0}} \text{ та } C_2 = \frac{C_0}{1-\frac{\Delta}{\delta_0}} \quad (1.7)$$

У той самий час вихідну напругу мостової схеми можна вважати:

$$U_{\text{вих}} = \frac{C_2 - C_1}{C_2 + C_1} \cdot \frac{u}{2} = \frac{u}{2\delta_0} \Delta = k\Delta \quad (1.8)$$

Розглянемо статичну характеристику ємнісного вимірювального перетворювача.

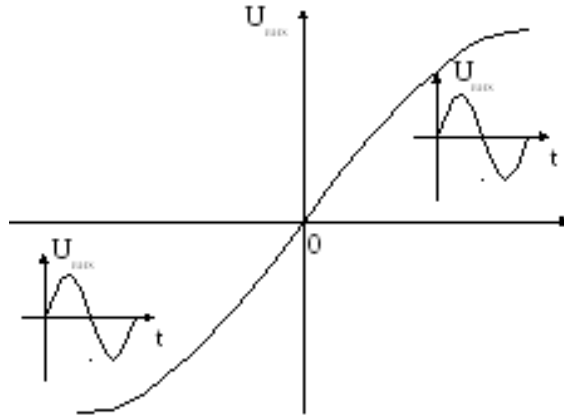


Рис. 1.4 Електрична схема потенційного ємнісного вимірювального перетворювача

Двотактний ЄВП представляє собою лінійну функцію (рис 1.4), в якій фаза вихідного сигналу при зміні напрямку переміщення середньої пластини зміщується на 180° при відношенні до фази напруги живлення ємнісного ВП, яка являє собою опорну напругу.

Зауважимо, що при додатковому включеному навантаженні лінійність буде викривлена, але при малих значеннях величини Δ можна вважати лінійною [10].

При застосуванні ЄВП для вимірювання лінійних розмірів, вологості, температури, зусиль, концентрації речовини слід використовувати властивості для зміни діелектричної проникливості, дивлячись на зміну параметру, який ми вимірюємо. Ось, наприклад, при змінненні параметра вологості проникливість

повітряного зазору між боковими вставками змінюється. Дещо подібне спостерігається також при зміні концентрації або складу речовини середовища, яке не проводить струм (це може бути газ або будь-яка непровідна рідина) в зазорі. Слід пам'ятати, що температурний коефіцієнт вважається достатньо високим у більшості діелектриків, у той самий час як діелектрична проникливість не буде сталою навіть при зміні температури.

Діелектрична проникливість при зміні температури буде знаходитись за співвідношенням:

$$\varepsilon_x = \varepsilon(1 + \alpha \Delta \theta) \quad (1.9)$$

де ε - діелектрична проникність при температурі θ ; α - температурний коефіцієнт. Дуже цікаво, що діелектрики саме з титанових з'єднань мають $\varepsilon=16-90$, тому вони є зручними для використання як діелектрик конденсатора, який є органом, котрий сприймає зміну температури в діапазоні до $\pm 90^\circ$. Для більшості матеріалів є так звана залежність від зміни діелектричної проникливості величини механічних напруг. При конструкції ємнісних вимірювальних перетворювачів, які реагують на величину зусиль, цей параметр використовується як основа. При цьому діелектричну проникливість, яка залежить від ΔP , можна визначити за співвідношенням:

$$\varepsilon_x = 1 + S \Delta P (1 + S \Delta P) \quad (1.10)$$

де S - чутливість зразку до певної зміни діелектричної проникності, яка знаходиться за формулою:

$$S = \frac{\Delta \varepsilon / \varepsilon}{\Delta P} \quad (1.11)$$

Слід зазначити, що за мостовою та диференціальною схемою зазвичай під'єднують ЄВП зі змінюючою діелектричною проникністю. Для більшої чутливості використовується паралельне з'єднання обгортки конденсаторів, для яких створені однакові умови, як у випадку, коли відбувається вимір зусиль на стовп, а із ряду давачів функціонує тільки сила Р, а при вимірюванні концентрації давачі можуть розміщуватися в одному й тому ж середовищі [11].

Основні функціональні особливості ємнісного датчика:

- Забезпечення електричного поля при взаємодії з об'єктом відбувається через генератор;
- Перетворення зміни амплітуди коливань на високих частотах демодулятора на генераторну постійну напругу;
- Крутизна фронту сигналу перемикачання і значення гістерезису забезпечується тригером;
- Збільшення вихідного сигналу до потрібного значення відбувається за допомогою підсилювача;
- Стан вимикача та оперативність налаштування показується світлодіодним індикатором;
- Компаунд виступає як ступінь захисту від проникнення дрібних частинок та води.

Активна поверхня ЄВП утворюється за допомогою двох металевих електродів, які включені в ланцюг зворотного зв'язку генератора високої частотності, який налаштовано таким чином, що при відсутності поблизу об'єктів активної поверхні від генерувати не буде. Об'єкт після приближення до активної зони поверхні датчика потрапляє в електричне поле та змінює ємність зворотного зв'язку. Коливання створюються за допомогою генератора та їх амплітуда зростає по відношенню до наближення об'єкта (чим ближче, тим більше зростає). Амплітуда

оцінюється схемою, формується вихідний сигнал. ЄВП можуть спрацьовувати від діелектриків, електропровідних об'єктів тощо [12].

1.3 Конструкції ємнісних перетворювачів

Перейдемо до конструкції ємнісних датчиків. Почнемо з варіанту рис. 1.5а - пристрій ємнісного перетворювача для виміру рівня. Цей прилад складається з двох паралельних конденсаторів, які з'єднані між собою: конденсатор C_1 утворюється за допомогою електродів та діелектрика – вимірюваної рідини. Конденсатор C_0 являє собою іншу частину електродів і діелектрика – повітря [13].

У варіанті рис. 1.5б показано ємнісний зонд, який використовується для виміру рівня провідної рідини. Цей зонд був сконструйований також для виміру висоти хвиль і являє собою електрод 1. Електродом 2 у цій конструкції служить провідна рідина, яка приєднує вимірювальний ланцюг за допомогою електрода 3.

У рис 1.5в представлено принцип ємнісного перетворювача для виміру товщини діелектричної стрічки. Стрічка 1 за допомогою роликів 2 просовується між конденсаторними обгортками 3. На рис. 1.5г показано принцип дії ЄВП, які використовуються для визначення кута повороту вала. Пластина 1, яка закріплена валом, переміщується згідно пластини 2 так, щоб товщина зазору між ними була незмінною. Однією з переваг ємнісних перетворювачів із змінною площею вважається можливість відповідною формою рухомої 1 та нерухомої 2 пластин отримати потрібну функціональну залежність меж змінами ємності з вхідним кутовим та лінійним переміщенням. Такі перетворювачі застосовуються здебільшого для вимірювання переміщень, які більше за 1 мм.

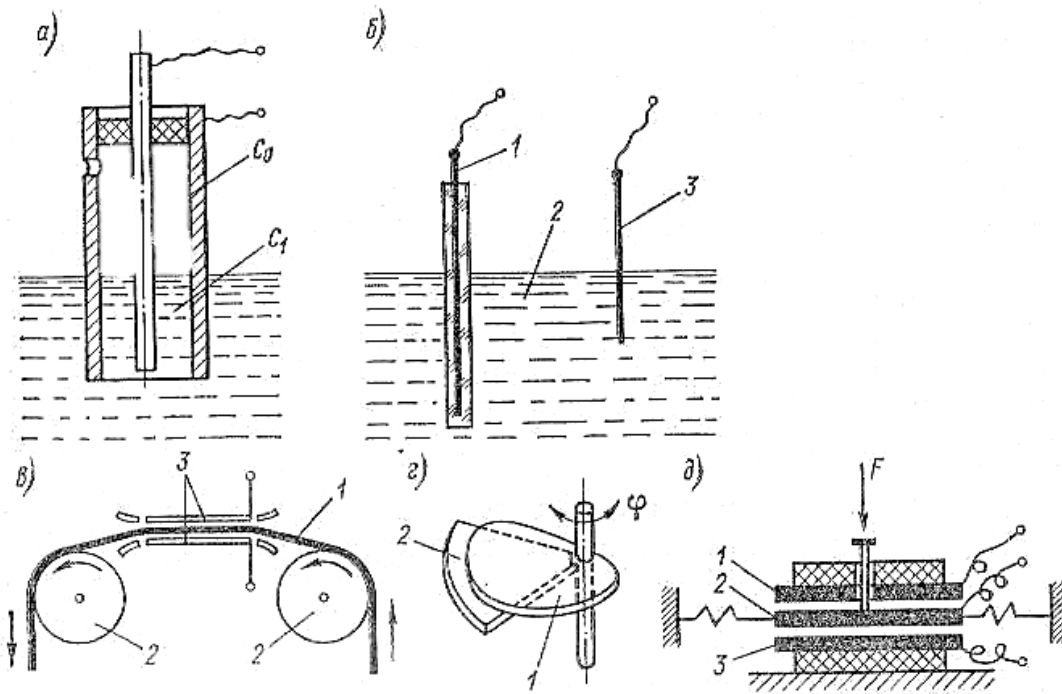


Рис. 1.5 Конструкції ємнісних датчиків

На рис 1.5д зображено диференціальний перетворювач. Обкладка 2 закріплюється на пружинах і поступово переміщається під впливом сили F . Обкладки 1 та 3 нерухомі. Спостерігається збільшення ємності між обкладками 2 і 3, а між 1 і 2 навпаки зменшується [14].

1.4 Область застосування

Можливі області застосування ємнісних датчиків дуже різноманітні, але найголовніші з них:

- медицина;
- побутова техніка;
- роботехніка;
- автомобілебудування;
- промислова техніка для вимірювань та регулювання.

Слід враховувати, що застосування конкретного датчика у будь-якій сфері обумовлюється його відношенням «ціна/ефективність». Так, наприклад, при використанні вимірювальних перетворювачів у промисловості, похибка є ключовим фактором, яка визначається до 1-2% при регулюванні процесів, а для контролю 2-3%. Завдяки новим технологіям виготовлення, які включають в себе фотолітографію, розпилення, високовакуумне напилення, хімічне осадження, перетворювачі стали доступніші за ціною, порівняно з минулими роками.

Область використання ємнісних вимірювальних перетворювачів поширена у використанні для вимірів малих переміщень та величин.

ЄВП мають широкий спектр використання при вимірюванні різних неелектричних величин за основними напрямками: діелектричні втрати конденсатора, ϵ , δ , S . У перших двох випадках ємнісні датчики здебільшого застосовують для аналізу складу речовин, але слід враховувати, що природна вхідна величина даного перетворювача буде саме склад речовини, яка проходить у проміжок між пластинами. Особливої популярності ці ємнісні перетворювачі здобули при вимірюваннях вологості як твердих, так і рідких тіл.

Також ємнісні перетворювачі використовуються для більшості вимірювань геометричних переміщень, зв'язані з електродами відносно один одного [15].

Широке використання також ємнісних датчиків у складі рівнемірів або товщинемірів, для вимірювання вологості конкретного матеріалу, вимір період крутіння валу, вимірювання вібрацій, різного роду прискорення і т.д. Наприклад, динамометр використовується для вимірювання тиску сили.

Електростатичні перетворювачі можуть використовуватися у багатьох датчиках прямих перетворень та у вигляді перетворювача нерівноваги у датчиках, які вимірюють її.

Сучасні технології виготовлення датчиків кажуть нам про те, що «зазор» може бути зроблений розміром до 4-9 мкм з порогом чутливості по переміщенню стандартно приблизно 10^{-14} м, що призводить до широкого використання

ємнісних перетворювачів в наукових дослідженнях, навіть в вимірюваннях при наднизьких температурах.

1.5 Конструктивне рішення

Габарити ємнісних вимірювальних перетворювачів визначаються за допомогою конструкційного маркування. Зменшення вихідного опору и полегшення умов вимірювального ланцюга та ізоляції перетворювача є основною задачею для більшості виробників.

На сьогоднішній день ємність збільшують шляхом зменшення перетворюючого зазору між пластинами максимально можливими способами. Зазвичай він дорівнює 100-500 мкм, а в декількох перетворювачів взагалі 10-20 мкм. При настільки невеликих розмірах зазорів їх зміна в процесі роботи хоча б на 0,5 мкм може суттєво вплинути на зміну ємності, тож повітряний зазор має бути під ретельним захистом від навколишніх подразників у вигляді пилу, пару, вологи – тих елементів, що можуть викликати корозію [16].

Також не слід забувати про ізоляцію та кріплення електродів. З цим питанням найчастіше всього справляються керамічні ізоляційні матеріали, але їх поверхневий опір істотно залежить від забрудненості та вологості. При виборі встановлення деталей на перетворювач треба передбачати навіть мінімальний вплив поверхневого опору ізоляції на повний опір витoku.

Для становлення незмінної відстані між пластинами ЄВП під температурними перепадами, дуже гарним вибором стануть матеріали з відповідними коефіцієнтами саме лінійного розширення. Температурна похибка нуля буде поступово знижуватись під час застосування диференційних перетворювачів.

З ростом частоти вихідний опір ємнісного вимірювального перетворювача істотно знижується, тому при виборі частоти напруги рекомендується обирати не

менше ніж 500-1000 Гц, а більшість ланцюгів для вимірювання взагалі працює на частотах $10^5 - 10^7$ Гц.

1.6 Схеми включення в вимірювальний ланцюг

Стандартна ємність перетворювачів складає приблизно від 10 до 100 пФ. Можна вважати, що при таких значеннях навіть при високих частотах напруги живлення $10^5 - 10^7$ їх опір знаходиться за співвідношенням:

$$X_C = 1 / (\omega C) = 10^3 / 10^7 \quad (1.12)$$

Вихідна потужність ємнісного перетворювача дуже мала, а у ланцюгу вимірювання потрібно застосовувати підсилювач. Допустиме значення напруг живлення ЄВП досить велике і сама напруга живлення обмежується умовами реалізації вимірювального ланцюга [17].

Основна складність при побудові схем з ємнісними вимірювальними перетворювачами є саме захист від наведень. Для таких цілей як і самі перетворювачі, так і всі лінії сполучення екрануються дуже ретельно, але екрановий провід має ємність $C_{ЖЕУ}$ між житловою і екраном (становить приблизно 50 пФ/м), яка при навіть невеликому виборі точки з'єднання може включатись паралельно до ємності перетворювача. Слід зауважити, що при цих умовах чутливість перетворювача буде падати, тому що відносна зміна ємності знижується та провокується поява істотної похибки, яка викликається нестабільною роботою ємності між житловим та екраном [18]. При побудові ланцюгів з ЄВП слід звертати увагу на включення цих «паразитних» ємностей.

Також треба брати до уваги те, що дуже важлива частина ланцюга – це саме лінійність вихідного параметра від величини, яку треба виміряти, тобто ЄВП являють собою високоомні перетворювачі, а вимірюваний параметр може бути зв'язаний лінійно залежно від опором та провідності перетворювача [19]. З

ємнісними вимірювальними перетворювачами також часто застосовують ланцюги, в яких за основу покладено декілька різних структур – дільники напруги, резонансні контури, вимірювальні мости тощо.

Якщо ми заземлюємо одну з пластин (здебільшого обирають загальну рухому частину пластини), то елементи вимірювального ланцюга краще розташовувати в одному корпусі з самим датчиком, як показано на рис. 6.1а.

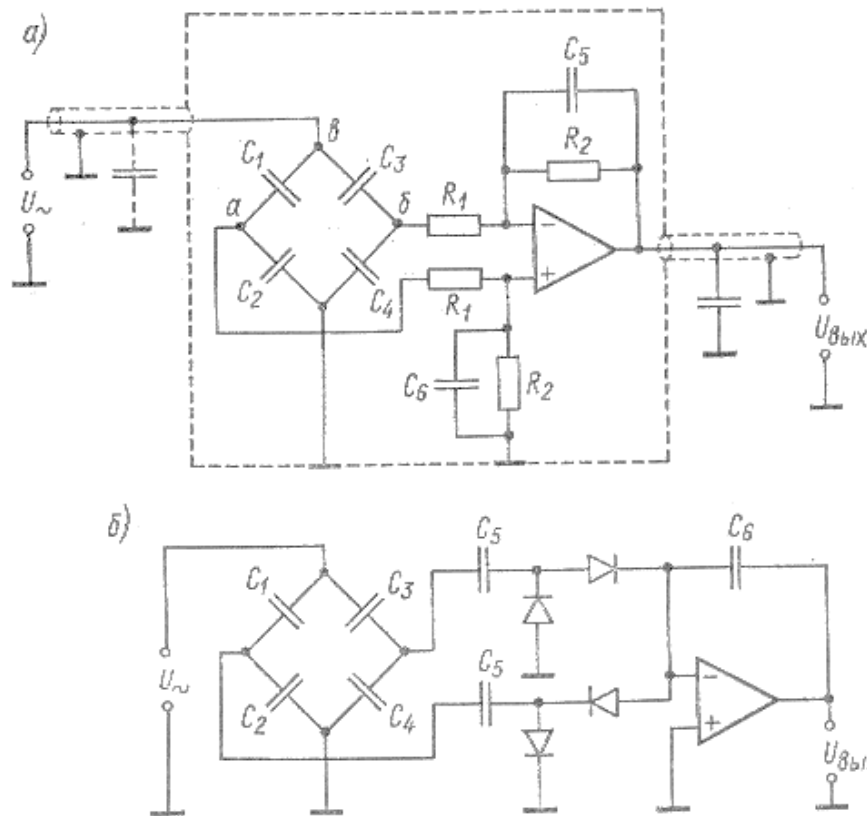


Рис. 1.6 Приклад вимірювальних ланцюгів, які розташовані в одному корпусі з датчиком

За рис 1.6 дроти, котрі йдуть до вершин прикладу а і б, можуть існувати й без екранів, а ємність $C_{ЖЕУ}$ дроти, які проходять до вершини, також можуть під'єднуватись параліельно джерелу харчування. В аналогічному ланцюзі живлення (рис. 1.6 б) використовується недиференціальний підсилювач, що

надається змогою попереднього випрямлення з різними знаками змінних напруг, які розташовані на вершинах вихідній діагоналі моста.

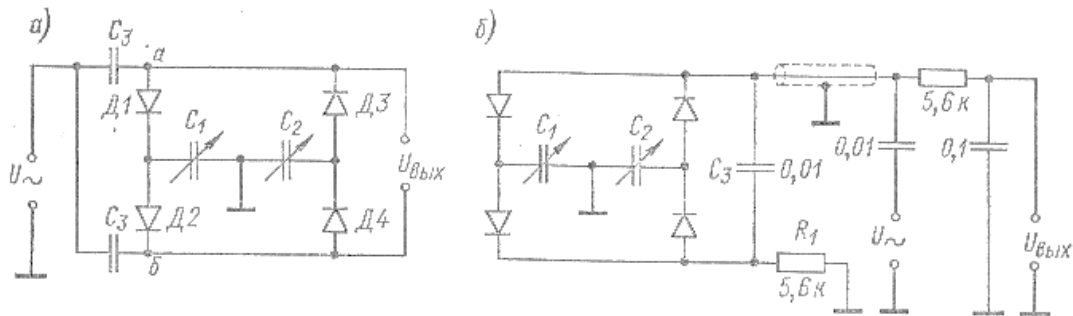


Рис. 1.7 Ємнісно-діодний ланцюг живлення

На рис. 1.7 зображено ємнісно-діодний ланцюг живлення диференціального датчика із заземленою пластиною. Ємності датчика C_1 і C_2 з'єднані з джерелом змінної напруги за допомогою 4-х діодів і 2-х конденсаторів C_3 . У кожному з них прт напівперіоді змінної напруги відкривається ще відповідна пара діодів (на рис. 6.2 це Д1, Д2, Д3, Д4 відповідно).

При цьому конденсатори з'єднані послідовно. При нерівності струмів через них поточні дані будуть не рівні між собою, що є наслідком появи на конденсаторі C_3 постійної напруга, яка і є вихідною. Якщо нехтувати падіння напруги в такому випадку на діодах, то значення вихідного опору може бути визначено співвідношенням:

$$U_1 \approx 2U \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2 + 2C_1 C_2 C_3} \quad (1.13)$$

Визначення нестабільності вихідної напруги може бути за рахунок неідентичності падіння напруги на діодах, тому що вони ретельно підібрані. Для уникнення паразитичних ємностей шунтуванням ємностей датчика, діодна збірка буде поміщена в корпус самого датчика. Нерівність цих паразитних ємностей

буде призводити до зміни змінної складової напруги на виході. Варто зазначити, що на складову постійної напруги дані ємності не будуть впливати.

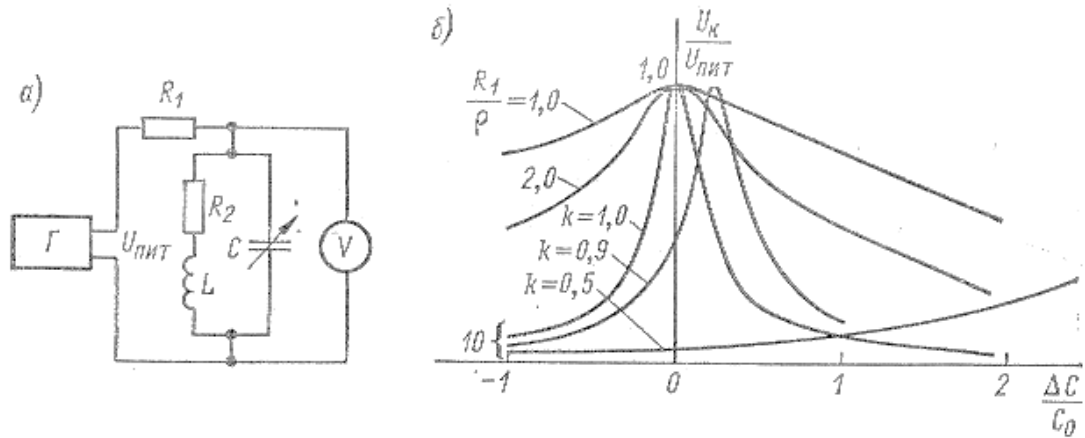


Рис. 1.8 Вимірювальний ланцюг з резонансними контурами

Також можливий варіант ланцюга з резонансними контурами, який слугує для телевимірювань. В ньому по одному коаксіальному кабелю буде передаватись змінна напруга від джерела на датчика і постійну вихідну напругу – з датчика. У середині цього датчика вмонтовані 4 діоди, 1 конденсатор і резистори. Схема, що показана на рис. 1.8б, визначає значення параметрів елементів та розраховує на частоту живлячої напруги, яка приблизно буде дорівнювати 1 МГц.

Існує ще декілька популярних схем включення датчиків, які показані на рисунках 1.9-1.13.

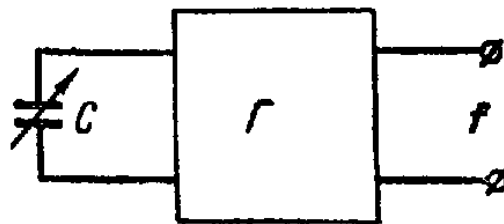


Рис. 1.9 Ємнісний датчик з включеним в контур генератором

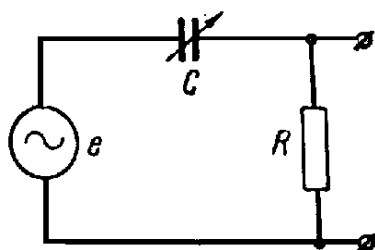


Рис. 1.10 Ємнісний датчик з включенням в ланцюг змінним струмом

В якості вимірювальних ланцюгів в ємнісних перетворювачах застосовуються ділянки напруги, мостові схеми, коливальні контури і автогенератори. Оскільки сигнали, що знімаються з ємнісних перетворювачів, малі, то вимірювальні ланцюга містять підсилювачі, а з'єднувальні дроти повинні бути екрановані.

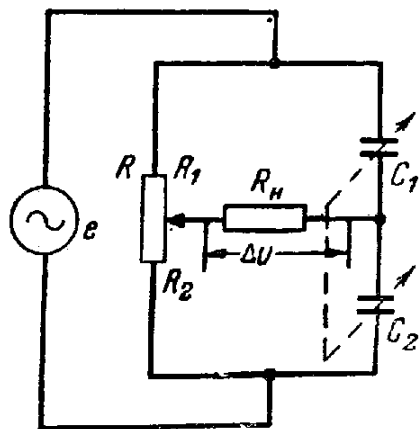


Рис. 1.11 Ємнісний диференціальний датчик у мостовій схемі

На Рис. 1.12 наведені вимірювальні ланцюга у вигляді паралельного (а) і послідовного (б) коливальних контурів, які живляться стабільним по амплітуді і частоті напругою U , що знімається з генератора Γ . При зміні ємності $C = C + \Delta C$ напруга (Рис. 1.12, а) або струм (Рис. 1.12, б) в ланцюзі резонансного контуру будуть змінюватися, досягаючи максимуму при резонансі. На схилах, резонансної кривої (Рис. 1.12, в) потрібно вибрати ділянку, близьку до лінійної, в середині якої

вибирається робоча точка M , яка відповідає середньому значенню ємності C перетворювача. При зміні ємності напруга на виході буде змінюватися.

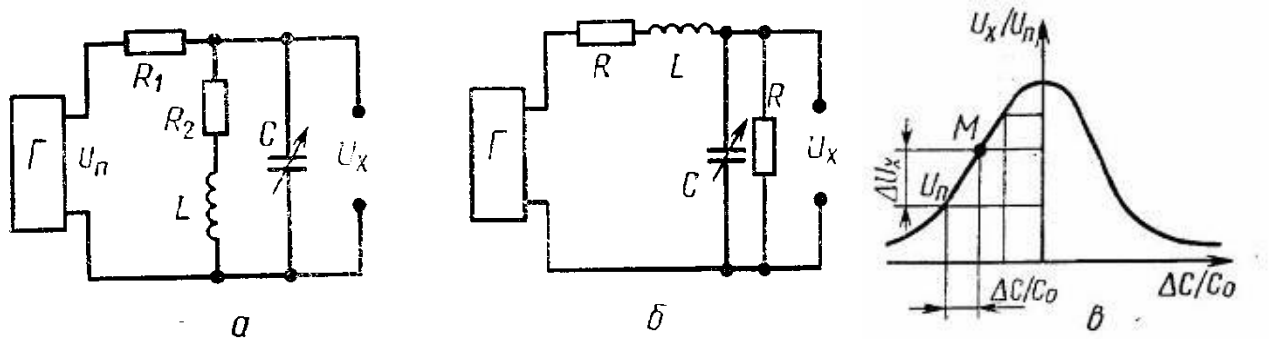


Рис. 1.12 Резонансні вимірювальні системи

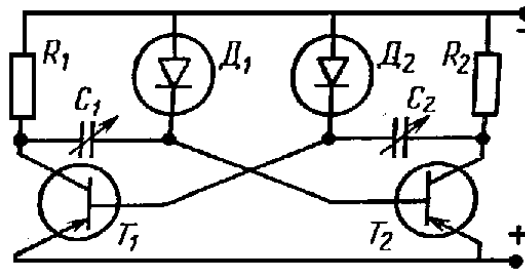


Рис. 1.13 Схема тригера

Ємнісний перетворювач може бути елементом в схемі тригера. На Рис. 1.13 приведена схема мультивібратора, на виході якого генерується безперервна послідовність імпульсів.

При проектуванні ємнісних перетворювачів слід звертати увагу на екранування проводів, вибір ізоляції, усунення поверхневого опору ізоляції і вибір частоти живлення. Чим вище ця частота, тим менше вихідний опір, тому нерідко частоту харчування вибирають великий (до декількох МГц).

РОЗДІЛ 2

ВВЕДЕННЯ В СЕРЕДОВИЩЕ MULTISIM

2.1 Середовище Multisim

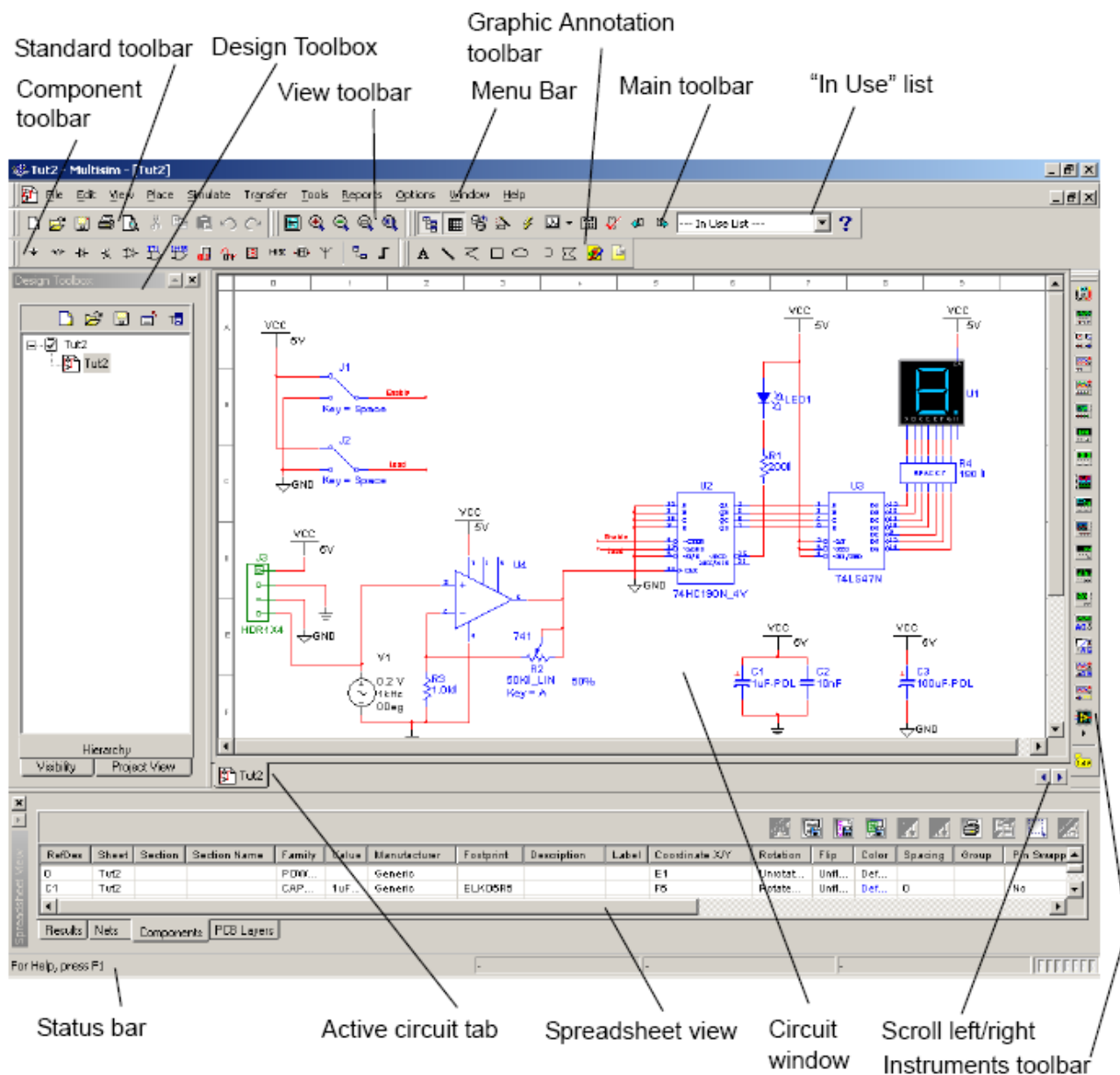


Рис. 2.1 – Схема програми Multisim

Standard toolbar – стандартна панель інструментів;
Design Toolbox – набір інструментів для дизайну;
Component toolbar – панель інструментів компонентів;
View toolbar – панель інструментів для переглядання;
Graphic annotation toolbar – панель інструментів графічних анотацій;
Menu Bar – рядок меню;
Main Toolbar – головна панель інструментів;
«In Use» list – список «у використанні»;
Status bar – рядок статусу;
Active circuit tab – вкладка активної схеми;
Spreadsheet view – перегляд електронної таблиці;
Circuit window – вікно ланцюга;
Scroll left/right – прокрутка вліво/вправо;
Instruments toolbar – панель інструментів.

Компоненти в Multisim – це основна частина будь-якої схеми, тобто елементи, з яких вона складається. У середовищі нашої програми є дві категорії цих частин: віртуальні та реальні. У реальних компонентів є відносно незмінне значення, яке відповідає печатній платі. Віртуальні компоненти потрібні для емуляцій з довільними параметрами користувача та допомагають користувачам та розробникам при перевірці за допомогою схем [20].

Класифікація компонентів в Multisim: цифрові, аналогові, змішані, анімовані, інтерактивні, електромеханічні, радіочастотні та цифрові з мультिवибором.

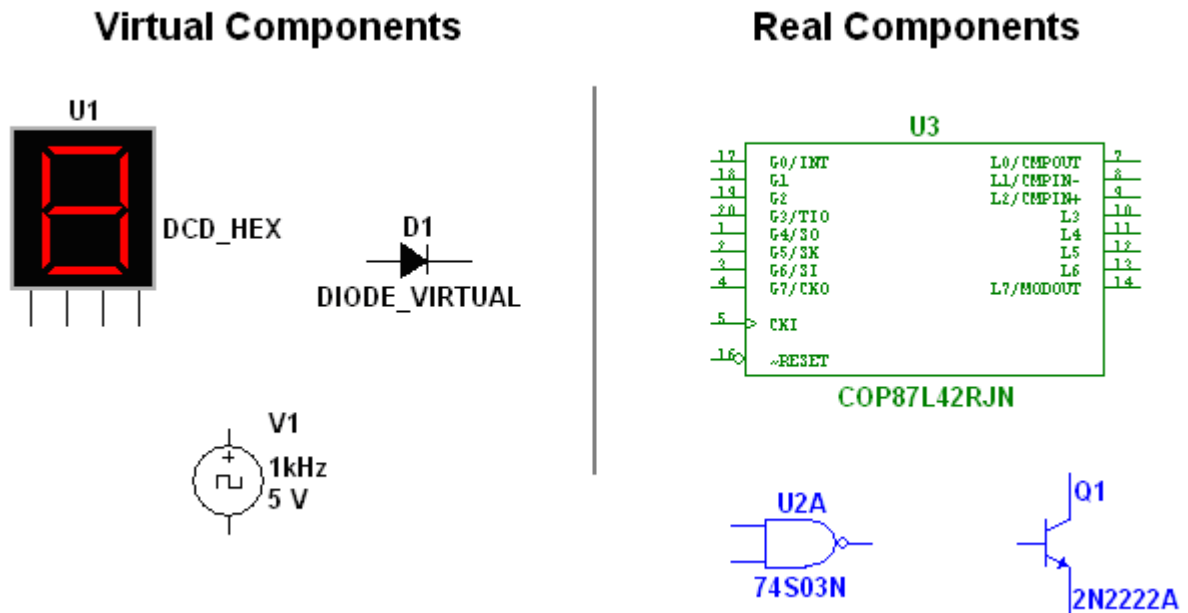


Рис. 2.2 – Приклад компонентів Multisim: зліва – сегментний дисплей, діод D1, джерело напруги V1; справа – логічний елемент НЕ-І U2A, мікроконтролер U3 та транзистор Q1.

Деякі компоненти середовища Multisim можуть реагувати на дії користувача. Результат емулявання зміни цих елементів може відразу відобразитися. На рисунку 2.3 показано декілька компонентів і за допомогою клавіші A опір уявного лівого потенціометра буде 100% від будь-якої вказаної вами величини у цифровому значенні. Для зниження опору застосовується комбінація клавіш Shift+A. При натисканні пробілу вимикач справа буде відкриватись або закриватись.

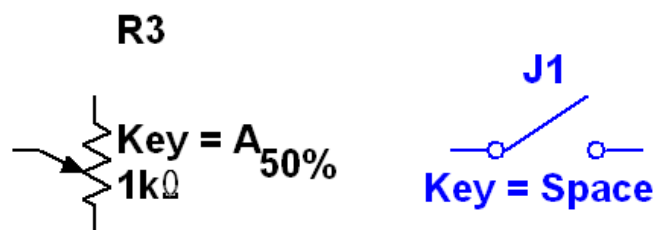


Рис. 2.3 – Компоненти

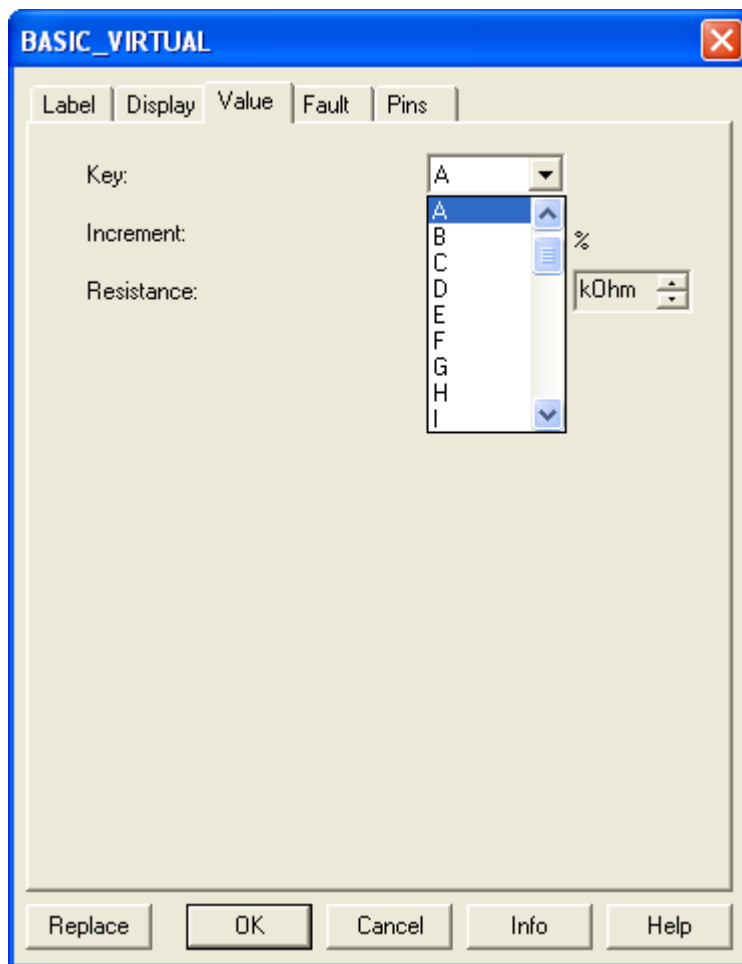


Рис. 2.4 – Налаштування компоненту

Провідник компонентів складається з полів:

- 1) База даних – це назва бази у середовищі Multisim, у якій зберігається певний компонент. Приклад: база даних «User».
- 2) Group (або група) – назва групи певного елемента. Приклад: «TTL».
- 3) Family (або сімейство) – назва сімейства певного елемента. Приклад: «74S».
- 4) Component (або компонент) – назва певного компонента. Приклад: «74S00D».
- 5) Symbol (або символ) – символ з стандартів ANSI або DIN певного компоненту. Прикладом слугує умовне позначення елемента (резистор – прямокутник).
- 6) Function (або призначення) – опис компонента. Наприклад, «двоконтактний

елемент I-HE» [21].

7) Model Manuf./ID – модель виробника/ідентифікаційний код. Приклад «Texas Instruments/74S00».

У самому провіднику компонентів також відображається база даних з певними елементами. В програмному середовищі Multisim всі елементи організовані на групи та сімейства. Опис самого компоненту, модель, печатна плата або виробник також відображається у цьому провіднику.

Символи у вигляді зірочок («*») заміняє будь-який набір символів. Наприклад, серед результатів пошуку «LM*AD» будуть результати «LM108AD» та «LM101AD».

Мультиметр – пристрій для вимірювання змінного або постійного струму чи напруги, опору, згасання між двома вузлами схеми. Вимірювання визначається у автоматичному діапазоні. Значення внутрішнього пору і струму можуть бути змінені при потребі.

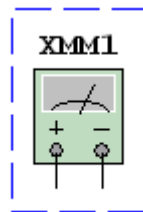


Рис. 2.5 – Мультиметр на схемі



Рис. 2.6 – Діалогове вікно мультиметра (або лицьова панель)

У застосунку Multisim є декілька варіантів осцилографів, які дозволяють встановлювати параметри тимчасової розгортки або напруги, обирати власний тип та рівень запуску вимірювань. Типи осцилографів у програмі:

- Двоканальний;
- Чотирьохканальний;
- Осцилограф змішаних сигналів Agilent 54622D;
- Чотирьохканальний цифровий осцилограф з функцією запису Tektronix TDS 2024.

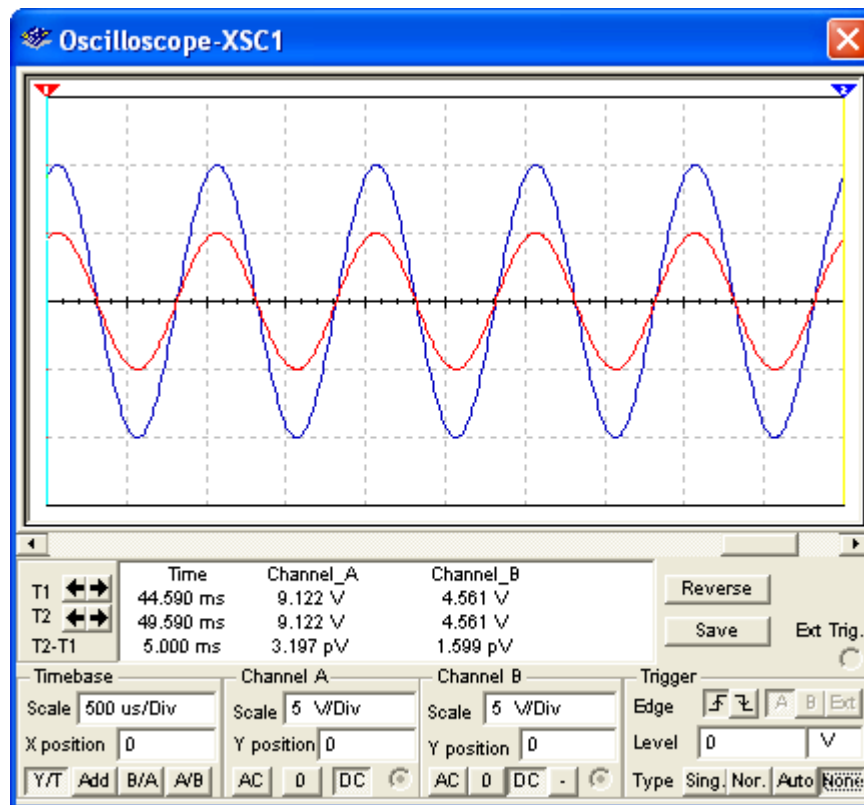


Рис. 2.7 – Діалогове вікно осцилографа (або лицьова панель)

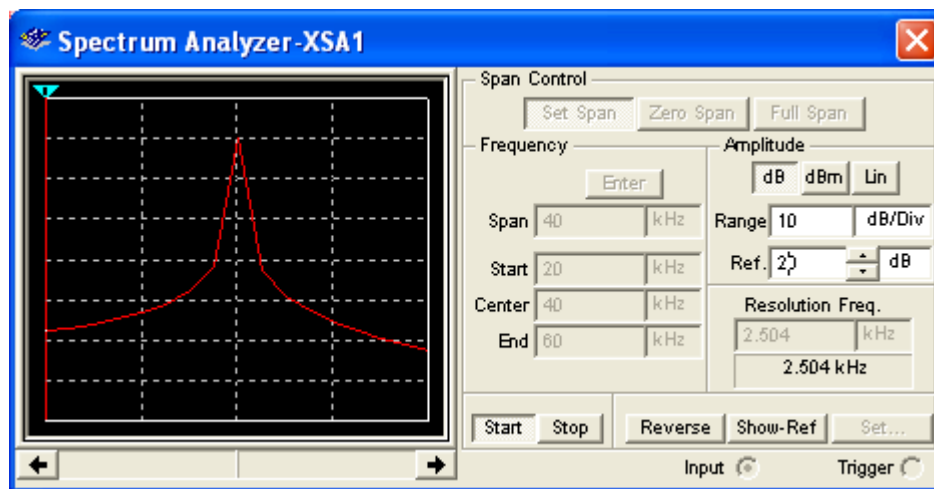


Рис. 2.8 – Діалогове вікно спектрального аналізатора (або лицьова панель)

Емуляція – процес, який дозволяє приладу занижувати кількість циклів розробки та кількість помилок при створенні певного прототипу. Схема, яка перевіряється за допомогою емулювання у процесі її розробки, буде знижувати кількість циклів проектування. У середовищі Multisim вмонтовано емулятори SPICE, XSPICE. Другий здебільшого використовується для ефективного емулювання цифрових компонентів [22].

Використання емулювання дуже просте, але перед початком треба перевірити усю схему на наявність помилок, заземлення та джерела. Коли все буде готове до запуску емулятора, треба натиснути клавішу F5, після чого буде запущено процес інтерактивної емуляції. Налаштування емуляції можна здійснити за допомогою меню Simulate/Interactive Simulation Settings (Емуляція/Налаштування інтерактивної емуляції).

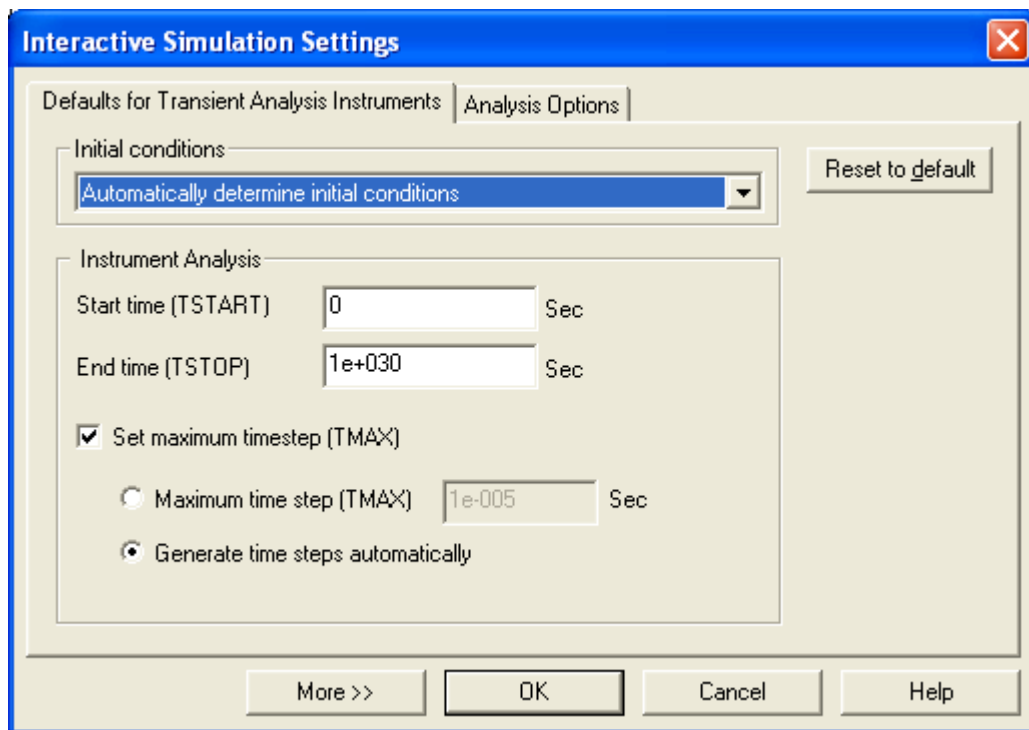


Рисунок 2.9 – Вікно з налаштуваннями інтерактивної емуляції

Результати емуляції також відображаються на віртуальних приборах. Та як вже було сказано, у Multisim використовуються засоби аналізу SPICE, які можна завантажити за допомогою панелі Grapher/Analyses List (Самописець/Аналітика) або за допомогою менюшного пункту Simulate/Analyses (Емуляція/Аналіз).

2.2 Моделювання роботи ємнісного вимірювального перетворювача

Для дослідження ємнісних датчиків за допомогою програми Multisim зібрано схему згідно рис 2.2.

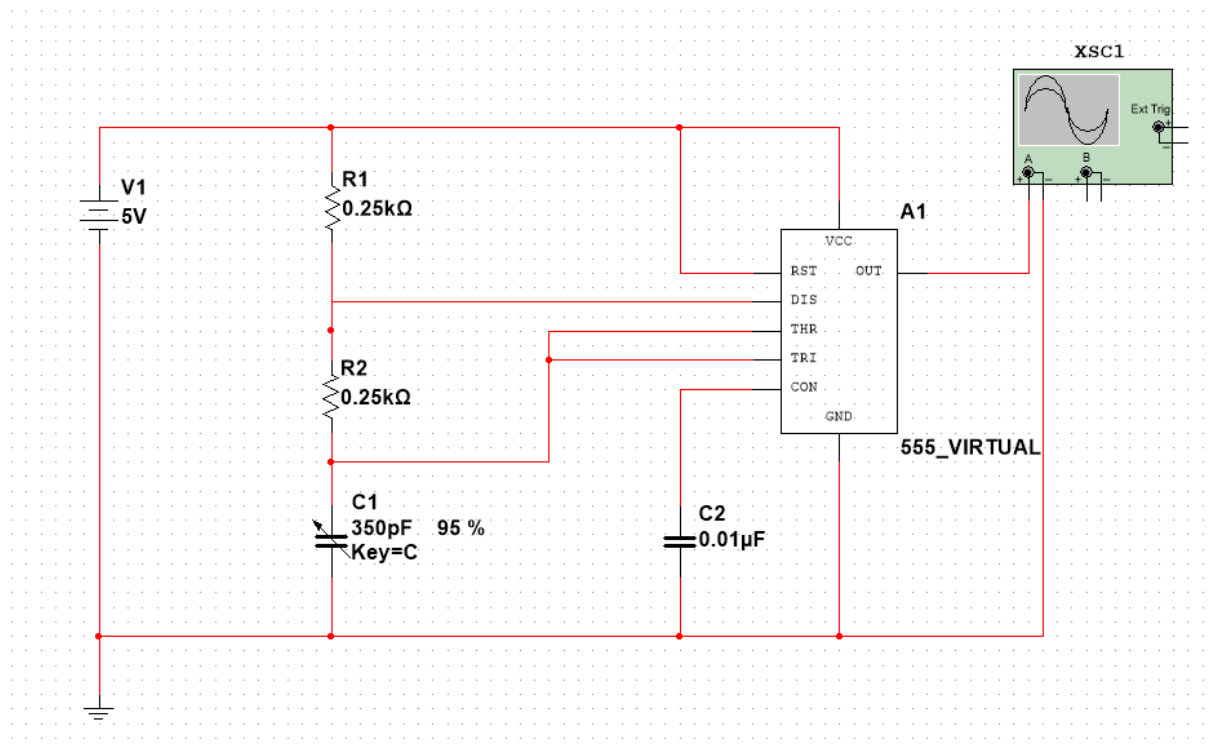


Рис. 2.10 Схема у середовищі Multisim

Далі ми визначили період вихідного сигналу, встановивши мітки на екрані осцилографа та побудували таблицю залежності вихідного сигналу від ємності датчика змінюючи ємність датчика від 5 до 100%. Вимірювання проводили для трьох різних опорів ввімкнених у вимірювальну схему 0,5, 50, 10 кОм.

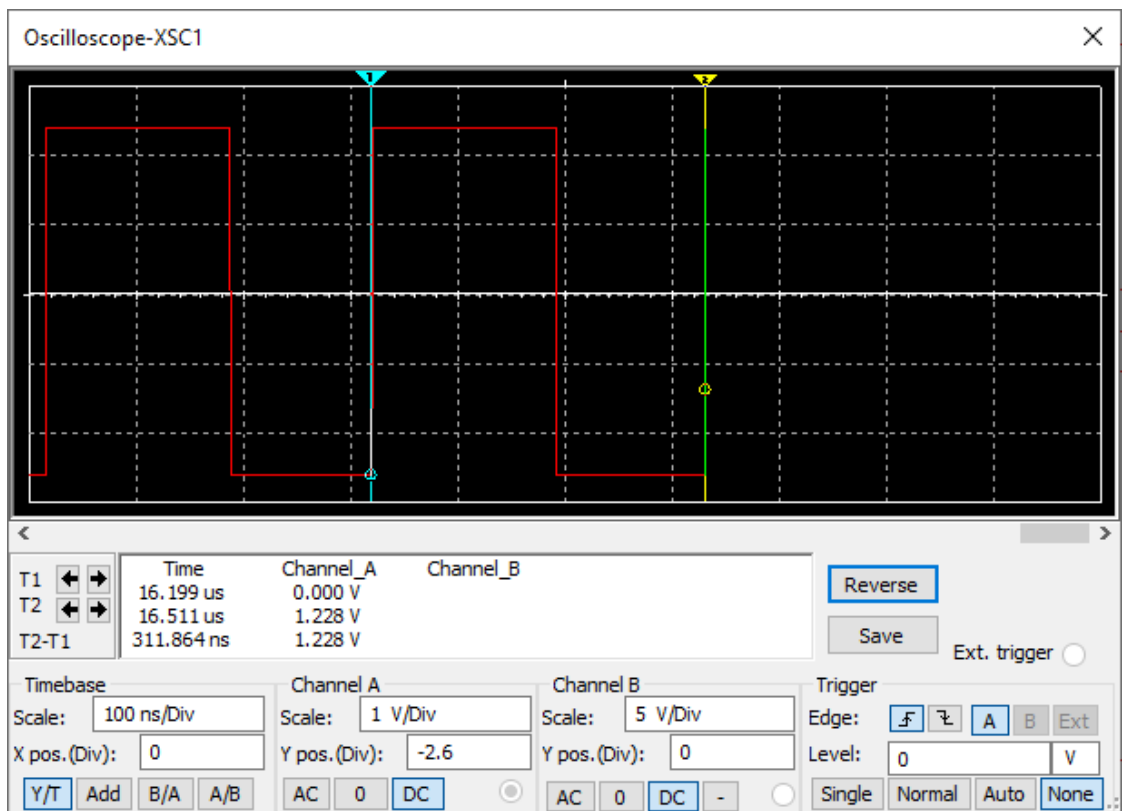


Рис. 2.11 Встановлення міток на екрані осцилографа

На рисунках 2.12-2.14 можна побачити графік залежності періоду вихідного сигналу від зміни ємності.

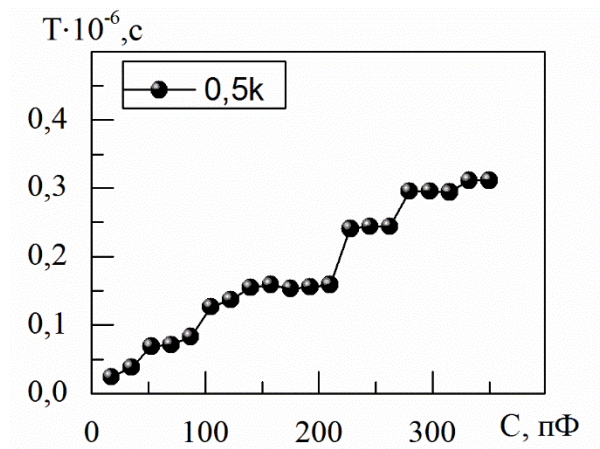


Рис. 2.12 Графік залежності при 0.5 кОм

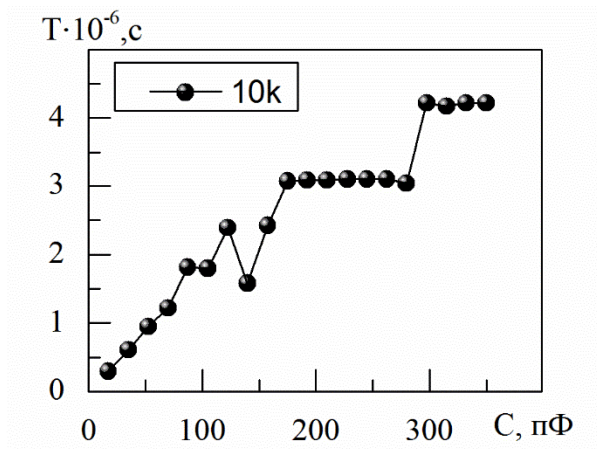


Рис. 2.13 Графік залежності при 10 кОм

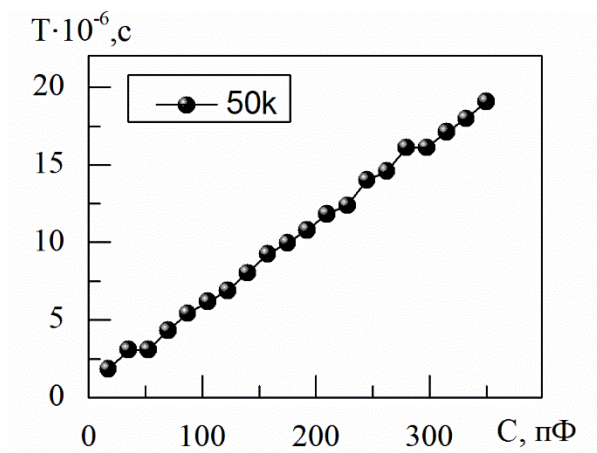


Рис. 2.14 Графік залежності при 50 кОм

Отримані нами залежності показують лінійну залежність періоду вихідного сигналу на всьому досліджуваному діапазоні вхідного сигналу. Зміна якості характеристичної залежності відбувається зі зміною величини опору ввімкненого в схему вимірювання. При величині загального опору 50 кОм вихідна залежність має найбільш лінійний характер.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних даних стосовно конструктивно-технологічних особливостей, фізичних принципів функціонування та галузей застосування ємнісних датчиків показав можливість їх використання у складі рівнемірів або товщиномірів, для вимірювання вологості конкретного матеріалу, вимірювання періоду крутіння валу, вимірювання вібрацій, різного роду прискорення.

2. Показано, що робоча поверхня ємнісного перетворювача представляє собою два електроди, які виконують роль конденсаторних пластин, що можуть бути підключені до різних ланцюгів дільника напруги, мостові схеми або коливального контуру чи автогенерато. При наближенні датчика до об'єкту – змінюється його ємність, генератор генерує зростаючу амплітуду, яка обробляється і створює вихідний сигнал.

3. Для моделювання робочих характеристик електронних вимірювальних перетворювачів використовувалось програмне забезпечення Multisim. Моделювання роботи ємнісного датчика як елемента електронної системи показало ефективні результати симуляції. Робочі залежності були побудовані з використанням пакету програм фірми OriginLab.

4. Модулювання роботи ємнісного вимірювального перетворювача з різними варіантами величини ввімкненого опору в схему, показало лінійні залежності для всього діапазону використаних опорів. Найкращу лінійність робочої характеристики спостерігається при загальній величині опору 50 кОм, ввімкненого в схему вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Прищепя М.М., Погребняк В.П. Мікроелектроніка. Частина І. Елементи електроніки. – Київ: Вища школа, 2004. – 431 с.
2. Крилик Л.В., Селецька О.О. Матеріали електронної техніки: навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 120 с.
3. Стахів П.Г., Коруд В.І., Гамола О.Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. – Львів: Новий світ-2000, 2003. – 128 с.
4. Давиденко О.П., Григоренко І.В., Мигущенко Г.П., Давиденко О.П. Електроніка у вимірювальній техніці. – Харків: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2015. – 428 с.
5. Матеріали і компоненти функціональної електроніки: навчальний посібник (електронне видання) / Л. В. Однодворець, І. М. Пазуха. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – 196 с.
6. Матвієнко М.П. Основи електроніки: підручник. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2017. – 364 с.
7. Матвійків М.Д., Когут В.М., Матвійків О.В. Елементна база електронних апаратів – Львів: Вид-во НТУ «Львівська політехніка», 2018. – 428 с.
8. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Науково-навчальне видання. В 3-х томах / За редакцією З.Ю. Готри.– Львів: Ліга-Прес, 2003.– Т.2.– 595 с.
9. Tooley M. Electronic Circuits: Fundamentals and Applications. – Elsevier: Taylor and Francis, 2013. – 320 p.
10. Turner, L.W. Electronics Engineer's Reference Book. – London: Butterworth-Heinemann, 2013. – 115 p.
11. Борисов О.В., Якименко Ю.І. Твердотільна електроніка: підручник за заг. ред. Ю. І. Якименка. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 484 с.

12. Царенко О.М. Основи фізики напівпровідників і напівпровідникових приладів: навчальний посібник . – Кіровоград: РВВ КДПУ, 2011. – 243 с.
13. Проценко І.Ю., Шумакова Н.І. Датчики неелектричних величин: навч. посібник. – Суми : СумДУ, 2003. – 79 с.
14. Аш Ж. К. Датчики измерительных систем. – Москва: Мир, 1992. – 480 с.
15. Котюк А. Ф. Датчики в современных измерениях. Массовая радиобиблиотека / А. Ф. Котюк. – Москва: Телеком, 2006. – 96 с.
16. Твердотільна електроніка : підручник / О. В. Борисов, Ю. І. Якименко. – Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – 484 с.
17. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки: курс лекцій: навчальний посібник / Д. М. Фреїк, В. М. Чобанюк, З. Ю. Готра. – Івано-Франківськ: Видавництво ПрНУ імені Василя Стефаника, 2010. – 263 с.
18. Датчики (перспективные направления развития) / А. Ф. Алейников, В. А. Гридич, М. П. Цапенко. – Новосибирск: НГТУ , 2001. – 173 с.
19. Сергієнко Д.К., Пилипенко О.В. Сучасні ємнісні перетворювачі неелектричних величин / Програма і матеріали Міжнародної науково-технічної конференції студентів і молодих вчених «Фізика, електроніки, електротехніка. ФЕЕ-2021». – 2021. – С. 68
20. Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. – М: ДМК Пресс, 2007. – 400 с.
21. Применение электронных симуляторов LabVIEW и Multisim для изучения базовых дисциплин по направлениям «Радиотехника» и «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» [Текст] / А. М. Пилипенко, Ф. А. Цветков // Образовательные технологии и общество. — 2013. — Т. 16, № 4. — С. 302-315.

22. Компанія National Instruments «MultiSIM проектирование и моделирование»
- Канада, 2005 -113 с.