

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ И НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри АКСУ  
\_\_\_\_\_ Тачиніна О.М.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ  
“БАКАЛАВР”

Тема: «Ємнісний сигналізатор рівня палива автоматизованої системи  
центрування літака»

Виконавець: студент групи СУ- 401Б Савранський Віктор Андрійович

Керівник: доцент Дивнич Микола Полікарпович

Нормоконтролер:

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Дивнич М.П.  
(П.І.Б.)

Київ 2021

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігацій, електроніки та телекомунікацій

Кафедра аерокосмічних систем управління

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКСУ

\_\_\_\_\_ Тачиніна О.М.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

## ЗАВДАННЯ

**на виконання дипломної роботи (проекту)**

Савранського Віктора Андрійовича

(П.І.Б. випускника)

1. Тема дипломної роботи (проекту) «Ємнісний сигналізатор рівня палива автоматизованої системи центрування літака» затверджена наказом ректора від 12.04.2021р. №584/ст.
2. Термін виконання роботи (проекту): з 17.05. по 15.06.2021р.
3. Вихідні дані до роботи (проекту): напруга живлення 36В (400 Гц), діапазон спрацювання сигналізації 100 кг – 4000 кг.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Загальні відомості про ємнісні датчики, Авіаційні прилади для вимірювання запасу палива на борту ЛА, Розробка схеми ємнісного сигналізатора рівня авіапалива та розрахунок її елементів, Висновки.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки, графіки, рисунки з презентації: пристрій ємнісного інклінометра, датчик рівня, датчик тиску, принцип роботи датчика лінійного переміщення, структура ємнісного датчика наближення, ємнісні датчики з коаксіальним положенням труб та їх статистичні характеристики, ємнісний сигналізатор автоматизованої паливовимірювальної системи.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Визначення теми та початок написання вступу	25.03.2021– 03.04.2021	
2	Розділ 1. Загальні відомості про ємнісні датчики	15.04.2021	
3	Розділ 2. Авіаційні прилади для вимірювання запасу палива на борту ЛА	30.04.2021	
4	Розділ 3. Розробка схеми ємнісного сигналізатора рівня авіапалива та розрахунок її елементів	18.05.2021	
5	Висновки	29.05.2021	
6	Дооформлення та захист дипломної роботи	08.06.2021– 16.06.2021	

7. Дата видачі завдання: “04” березня 2021 р.

Керівник дипломної роботи (проекту) \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Дивнич М.П.  
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис випускника)

Савранський В.А.  
(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Ємнісний сигналізатор рівня палива автоматизованої системи центрування літака» містить: 63с., 26 рис., 15 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – сигналізатор рівня авіапалива, на основі ємнісного датчика

Мета дипломної роботи – розробити структурну схему ємнісного сигналізатора рівня автоматизованої паливовиміральної системи, розрахувати ємність датчика, та окремі елементи структурної схеми сигналізатора.

Методи дослідження – робота з науково-технічною літературою, структурно-функціональний метод, розрахунок електричних схем.

В результаті проведеної роботи були розглянуті основні відомості про ємнісні датчики, методи вимірювання паливомірів, їх конструктивні особливості, принципи автомату вирівнювання, автоматичної частини паливної системи, та розроблено структурну схему ємнісного сигналізатора рівня авіапалива автоматизованої системи центрування літака, а також розраховано елементи загальної схеми сигналізатора.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЄМНІСНІ ДАТЧИКИ.....	8
1.1. Типи ємнісних датчиків та їх класифікація.....	9
1.1.1. Ємнісні датчики наближення.....	10
1.1.2. Датчики лінійних переміщень.....	12
1.1.3. Датчики кутових переміщень.....	15
1.1.4. Датчики рівня.....	16
1.2. Області застосування ємнісних датчиків.....	24
1.3. Переваги та недоліки ємнісних датчиків в порівнянні з датчиками інших типів.....	25
2. АВІАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЗАПАСУ ТА ВИТРАТИ ПАЛИВА.....	27
2.1. Методи вимірювання запасу і витрати палива.....	27
2.2. Паливоміри та їх конструктивні особливості.....	29
2.2.1 Поплавкові паливоміри.....	29
2.3.2. Електроємнісні паливоміри.....	31
2.3. Система вимірювання запасу палива та управління його відкачуванням з баків ЛА.....	39
2.3.1. Принцип дії паливоміра.....	39
2.3.2. Принцип дії автомату вирівнювання.....	41
2.3.3. Принцип роботи автоматичної частини паливної системи.....	42
3. РОЗРОБКА СХЕМИ ЄМНІСНОГО СИГНАЛІЗАТОРА РІВНЯ ПАЛИВА ТА РОЗРАХУНОК ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ.....	44
3.1. Розрахунок ємнісного датчика.....	46
3.2. Розрахунок елементів ємнісного сигналізатора загальної схеми.....	53

3.3. Аналіз причин виникнення похибок спрацювання сигналізації.....	54
3.3.1. Похибка результату вимірювання.....	54
3.3.2. Похибки паливомірів.....	57
3.3.3. Похибки ємнісних датчиків.....	58
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62

## ВСТУП

Вимірювання фізичних величин є основою наукових експериментів, комплексних випробувань і вимірювань в усіх сферах людської діяльності.[1]

Практично всі неперервні технологічні процеси в різних галузях промисловості дуже часто потребують постійного автоматичного контролю кількості накопиченого матеріалу, сировини, рідини і газу. Контроль рівня часто має також важливе значення і для безаварійної роботи обладнання.

На сьогодні, вимірювання рівня рідини відіграє важливу роль при автоматизації технологічних процесів у багатьох галузях промисловості. Вимірювання важливі в таких випадках, коли підтримання деякого заданого рівня рідин, пов'язано з умовами безпечної роботи обладнання.[2]

Вимірювання рівня відбувається як у відкритих резервуарах, так і в ємностях, що знаходяться під тиском. Тому в даний час процес вимірювання рівня є ключовою для організації контролю і управління технологічними процесами у багатьох галузях промисловості. До приладів для вимірювання рівня заповнення ємностей, або рівнемірів, пред'являються різні вимоги, наприклад в одних випадках потрібно тільки сигналізувати про досягнення певного граничного значення, в інших необхідно проводити безперервний вимір рівня заповнення, що є не завжди зручно. [3]

В авіації центрування для літака критично важливо, тому паливо виробляється по заданій програмі, підтримуючи політну центрівку літака в заданих межах.

Таким чином, на основі сказаного, метою дипломного проекту є розробка схеми сигналізатора рівня авіаційного палива, та розрахунок її елементів.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЄМНІСНІ ДАТЧИКИ

На борту літака використовуються різні датчики та перетворювачі, у тому числі датчики ємності.

*Датчик ємності* - перетворювач параметричного типу, в якому зміна вимірюваної величини, що вимірюється, перетвориться в зміну ємнісного опору.

Повний опір електричного кола при протіканні по ньому змінного струму дорівнює:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

де  $R$  - активний опір;  $\omega L$  - індуктивний опір;  $\frac{1}{\omega C}$  - ємнісний опір.

Зазвичай ємнісний датчик являє собою плоский або циліндричний конденсатор, одна з обкладінок якого переміщається під час контролю викликаючи зміну ємності.

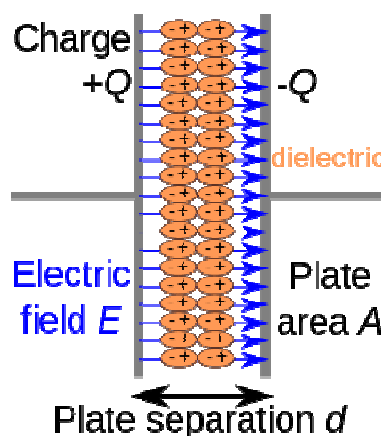


Рис.1.1. Зображення конденсатора

Ємність плоского конденсатора дорівнює:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$



де  $\epsilon_0, \epsilon$  – абсолютна та відносна діелектрична проникність середовища, що знаходиться між обкладинками конденсатора;  $S$  – площа поверхні обкладинок;

$d$  – відстань між обкладинками.

Особливістю датчиків ємнісного типу є їх здатність виявити матеріал що контролюється через неметалічну (діелектричну) стінку резервуара, наприклад, контролювати наявність рідин (води, кислот і ін.) через стінку пластикової ємності. Також, ємнісні датчики контролю рівня сипучих матеріалів і рідини, здатні розрізняти межу розділу середовищ, що відрізняються по діелектричній проникності ( $\epsilon$ ), наприклад, виявлення шару води ( $\epsilon = 80$ ) на поверхні палива ( $\epsilon = 2$ ). [3;4]

### 1.1. Типи ємнісних датчиків та їх класифікація

Відповідно до способу виконання всі ємнісні вимірювальні перетворювачі можна розділити на однеємнісні і двоємнісні датчики.

Необхідно відзначити, що конструктивно ємнісні датчики можуть бути:

- плоскими;
- циліндричними;
- поворотними.

Сфера застосування будь-яких з них досить обширна. Як приклад, за функціональним призначенням їх можна використовувати в ролі:

- 1) датчиків рівня;
- 2) пристроїв контролю кутового переміщення;
- 3) датчиків лінійного переміщення;
- 4) інклінометрів;
- 5) датчиків тиску.

					Наукова робота № 01.55.000.13.000.13		
		<b>Одноємнісні датчики</b>			прості за конструкцією. Вони являють собою звичайні конденсатори з конденсатором із змінною ємністю. Вони являють собою звичайні конденсатори зі змінною ємністю, зміни яких контролюються спеціальною схемою. На		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ</b> <b>ПРО ЄМНІСНІ</b> <b>ДАТЧИКИ</b> ФАЕТ- 401 гр.		
Розроб.	Савранський						
Перевір.	Дивнич М.П.						
Реценз.							
Н. Контр.	Дивнич М.П.						
Затверд.	Тачиніна О.М.						

ємнісні конденсатори такого типу впливає зовнішнє середовище. До його недоліків можна віднести значний вплив зовнішніх факторів, таких як вологість та температура. Для компенсації цих помилок використовуються диференціальні конструкції.

*Двоємнісні датчики* дозволяють зменшити вплив зовнішнього середовища. Ємнісний сенсор подібного типу відрізняється більшою точністю вимірювання через те, що один конденсатор служить в якості еталонного, що дозволяє компенсувати сторонній вплив. Датчики такого типу поділяються на диференційні та напівдиференційні. Перші відрізняються високою точністю і стабільністю роботи, напівдиференційні перетворювачі використовуються в тому випадку, якщо застосування диференційних моделей важко або неможливо створити з конструктивних причин. [4;5]

### **1.1.1. Ємнісні датчики наближення**

Ємнісні перетворювачі можна використовувати при вимірюванні різних величин у трьох напрямках залежно від функціонального взаємозв'язку вимірюваної неелектричної величини з наступними параметрами:

- зі зміною діелектричної проникності середовища  $\epsilon$  ;
- площею перекриття обкладинок -  $S$  ;
- змінною відстанню між обкладками  $d$  .

У першому випадку ємнісні перетворювачі можуть бути використані для аналізу складу речовини, оскільки діелектрична проникність є функцією властивостей речовини. Вхідною величиною датчика буде склад речовини, який заповнює простір між пластинами.

Розглянемо принцип роботи ємнісних датчиків: між датчиком і навколишнім середовищем існує електростатичне поле. Датчик працює на визначення зміни ємності в цьому ланцюзі. Між навколишнім середовищем і датчиком існує електростатичне поле, при зміні ємності в даному полі (при попаданні в поле будь-якого об'єкта) відбувається спрацьовування.

Датчик має чутливу поверхню, утворену двома електродами конденсатора, включеного в ланцюг зворотного зв'язку високочастотного

генератора. Наближення об'єкта впливу з металу або діелектрика до чутливої поверхні збільшує ємність між електродами конденсатора і викликає збільшення амплітуди коливань генератора. Коли амплітуда генератора досягає порогового значення, схема управління формує вихідний сигнал електронного вимикача датчика, який використовується для комутації електричних ланцюгів та сигналізації.

Датчик налаштований на номінальний зазор при спрацюванні від металевої пластини. При використанні об'єкта впливу з діелектричних матеріалів робочий зазор зміниться і буде залежати від діелектричної проникності матеріалу об'єкта впливу. При необхідності можна відрегулювати чутливість датчика до необхідного зазору.

У більшості випадків практичного використання ємнісних перетворювачів їх вхідною величиною є геометричне переміщення електродів відносно один одного.

На основі цього принципу побудовані датчики лінійних і кутових переміщень, прилади вимірювань зусиль, вібрацій, швидкості і прискорення, датчики наближення, тиску і деформації. [4;7]

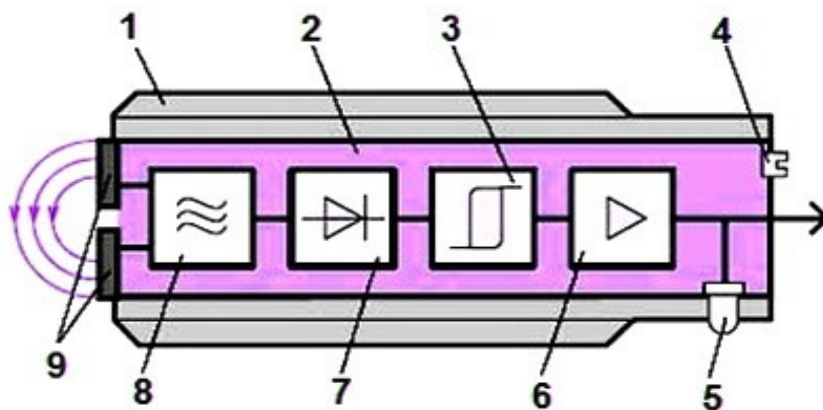


Рис.1.2. Приклад структури ємнісного датчика наближення

1 – Корпус датчика забезпечує можливість установки вимикача, захист від зовнішніх впливів різних факторів. Матеріалом корпусу зазвичай є поліамід або латунь.

2 – Компаунд, що складається зі спеціальної смоли, створює захист елементів датчика від попадання вологи і інших сторонніх речовин.

3 – Тригер створює необхідну крутизну сигналу комутації і величину гістерезису.

4 – Елемент регулювання.

5 – Світлодіод забезпечує ефективність налаштування, відображає положення перемикача.

6 – Підсилювач, збільшує вихідний сигнал до потрібного значення.

7 – Демодулятор змінює високочастотні коливання на зміну напруги.

8 – Генератор створює електричне поле для впливу на об'єкт.

9 – Електроди.

Робоча поверхня датчика виконана у вигляді двох металевих електродів. Вони виконують роль обкладок конденсатора, які підключені до схеми зворотного зв'язку високочастотного автогенератора. Генератор виконаний з можливістю наблизити об'єкт до активної поверхні. З наближенням об'єкта управління він змінює ємність, внаслідок чого генератор спрацьовує і генерує коливання з амплітудою, що наближається до об'єкта. Збільшення амплітуди обробляється електронною схемою, яка генерує вихідний сигнал.

Ємнісні датчики приводяться в дію від електропровідних об'єктів і діелектриків. При наближенні струмопровідних об'єктів відстань спрацьовування  $S_r$  набагато більша, ніж при впливі діелектриків. Робоча відстань зменшується і залежить від діелектричної проникності діелектрика  $E_r$ . [7]

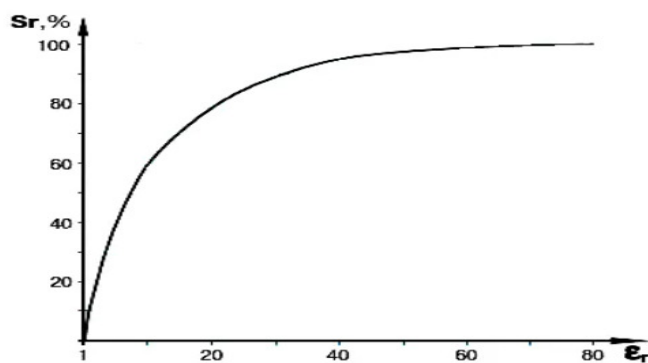


Рис.1.3. Залежність відстані спрацьовування від діелектричної проникності діелектрика

### 1.1.2. Датчики лінійних переміщень

Неелектричні величини, що підлягають вимірюванню і контролю, дуже численні і різноманітні. Важливою частиною їх є лінійні та кутові переміщення.

Такі пристрої можна використовувати для різних цілей, таких як:

- контролю початку-закінчення робочого ходу виконавчого пристрою в автоматичних верстатах;
- позиціонування різних об'єктів;
- фіксації появи стороннього об'єкта в системі охоронної сигналізації;
- як кінцевий вимикач.

Датчики подібного типу можуть працювати на різних принципах, а саме: на основі зміни зазору між пластинами конденсатора, та на зміні діелектричної проникності діелектрика між обкладинками



Рис.1.4. Принцип роботи датчика лінійного переміщення (а)

У такому варіанті ефект здійснюється на одній з пластин, він може бути зміщений під прикладеною силою, що викликає зміну ємності конденсатора, пропорційну ефекту.

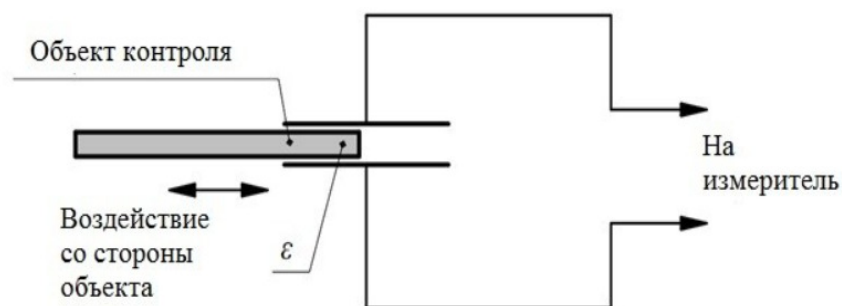


Рис.1.5. Принцип роботи датчика лінійного переміщення (б)

Робота датчика заснована на зміні діелектричної проникності діелектрика між обкладками.

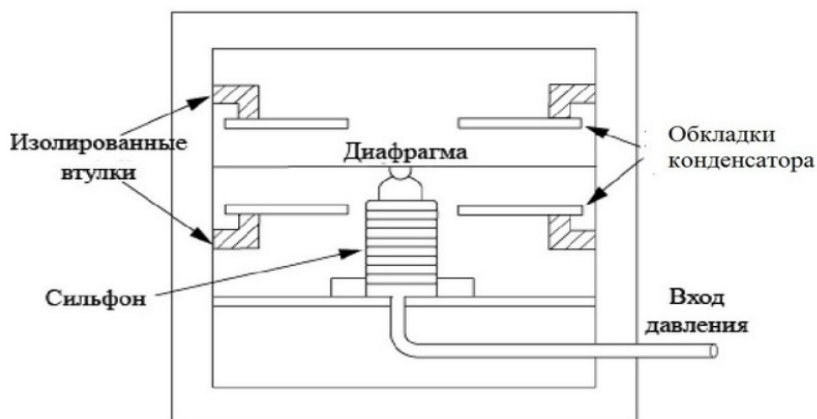


Рис.1.6. Схема датчика тиску

У подібному вимірювачі тиск викликає зміну відстані між обкладками конденсатора. Досягається це тим, що між його пластинами розташовується еластична мембрана, на яку і здійснюється вплив. Залежно від тиску перегородка рухається в тому чи іншому напрямку, що призводить до зміни ємності.

Чутливими елементами ємнісних перетворювачів тиску є мембрани та діафрагми, які перетворюють вимірюваний тиск у переміщення. Вони є одночасно рухомими електродами ємнісних перетворювачів. Співвідношення між відносною зміною ємності та вимірюваним тиском  $P_x$  має вигляд:

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{R^2}{8\delta W} P_x,$$

де  $R$  – радіус мембрани;  $W$  – її штивність;  $\delta$  – відстань між мембраною та нерухомим електродом за відсутності вимірюваного тиску.

Отже, відносна зміна ємності ємнісного перетворювача тиску з еластичною мембраною при малих її прогинах пропорційна вимірюваному тиску. Але, отриманий результат справедливий лише для статичних відхилень, коли можна знехтувати послаблюючим ефектом повітряного прошарку між мембраною та нерухомим електродом. У динамічному режимі повітряна подушка значно підвищує штивність мембрани та зменшує її чутливість. Для

зменшення демпфуючого ефекту повітряної подушки нерухомий електрод роблять перфорованим.

Якщо чутливим елементом ємнісного перетворювача не є еластична, а штивна мембрана, то рівняння перетворення матиме вигляд:

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{1}{16} \frac{(1 - \mu^2) R^4}{E \delta h^3} P_x,$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу мембрани;  $h$  – її товщина;  $\mu$  – коефіцієнт Пуасона

Ємнісні перетворювачі мають звичайно верхню границю перетворюваного тиску 200...800 Па при чутливості 0,5...1,0 пФ/Па та початковій ємності 10...20 пФ. Основна їх похибка становить 1...2 %.[3;8]

### 1.1.3. Датчики кутових переміщень

Ємнісні перетворювачі кутових переміщень подібні за принципом, схожі на ємнісні датчики лінійних переміщень, при цьому датчики змінної площі більш доцільно підходять для не дуже малих діапазонів вимірювань (від одиниць градусів), а ємнісні датчики з перемінним кутовим зазором можуть з успіхом використовуватися для вимірювання малих і надмалих кутових переміщень.

Зазвичай для кутових переміщень використовують багатосекційні перетворювачі з змінною площею обкладинок конденсатора. У таких датчиках один з електродів конденсатора кріпиться до валу об'єкта, і при обертанні зміщується щодо нерухомого, змінюючи площу перекриття пластин конденсатора. Це в свою чергу, спричиняє зміну ємності, що фіксується вимірювальною схемою.

Інклінометр (датчик крену) являє собою диференційний ємнісний перетворювач нахилу, що включає в себе чутливий елемент у формі капсули.

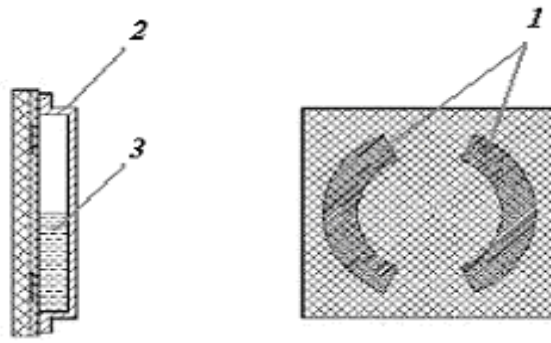


Рис.1.7. Пристрій ємнісного інклінометра

Капсула складається з підкладки з двома планарними електродами 1, покритими ізолюючим шаром, і герметично закріпленим на підкладці корпусом 2.

Внутрішня порожнина корпусу частково заповнена провідної рідиною 3, яка є спільним електродом чутливого елемента. Загальний електрод утворює диференційний конденсатор з площинами.

Вихідний сигнал датчика пропорційний значенню ємності диференціального конденсатора, яка лінійно залежить від положення корпусу у вертикальній площині. Інклінометр спроектований так, що існує лінійна залежність вихідного сигналу від кута нахилу в одній так званій робочій площині і практично не змінює показання в іншій (нефункціональній) площині, а його сигнал слабо залежить від зміни температури. Для визначення положення площини в просторі використовується два інклінометри, розташовані під кутом  $90^\circ$  один до одного.

Малогабаритні інклінометри з електричним вихідним сигналом, пропорційним куту нахилу датчика, є порівняно новими приладами.

#### 1.1.4. Датчики рівня



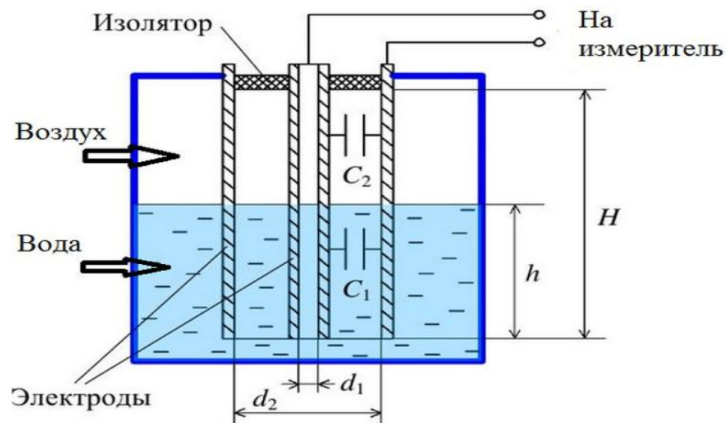


Рис.1.8 Схема датчика рівня

Ємнісні датчики рівня – пристрої, що дозволяють контролювати рівень рідини або сипучих речовин в резервуарі або бункері. Звичайно, конструкція вимірювальних приладів для різних речовин буде різною, але принцип залишиться незмінним.

Фактично ємнісні датчики рівня подібного типу є двома конденсаторами, з'єднаними між собою паралельно. Тільки у одного діелектриком служить повітря, а в іншого - рідина або іншу речовину. Таким чином, ємність кожного з них буде різною, вона буде змінюватися і залежати від ступеня заповнення бункера (бака).

Наведена схема ємнісного датчика відрізняється простотою побудови та універсальністю. Однак для підвищення точності вимірювання найкраще принаймні додатково контролювати температуру рідини, величину діелектричної проникності залежно від неї. [8]

Ємнісні перетворювачі є електричними конденсаторами, ємність яких змінюється внаслідок зміни під дією вимірюваного значення відстані між пластинами, площі перекриття пластин або діелектричної проникності.

Незважаючи на всю різноманітність конструктивних типів ємнісних перетворювачів, їх можна об'єднати у дві великі групи: плоскопаралельні та коаксіальні.

Нехтуючи крайовими ефектами, ємність конденсатора з плоскопаралельними обкладками можна записати як:

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{\delta}$$

якщо вхідною величиною є відстань  $\delta$  між обкладками та відносна діелектрична проникність  $\varepsilon$  досліджуваного середовища, що знаходиться між обкладками, або

$$C_0 = (\varepsilon_0 S_1 + \varepsilon_X S_2) \frac{1}{\delta}$$

якщо вхідною величиною є рівень перекриття обкладок перетворювача досліджуваним середовищем з діелектричною проникністю  $\varepsilon_X$  ( $S_1$  та  $S_2$  - відповідно, площа перекриття частини обкладок, розташованих у повітрі з діелектричною проникністю, є площею перекриття обкладок у досліджуваному середовищі).

Для коаксіального перетворювача відповідні спрощені вирази для ємності матимуть вигляд:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 l}{\ln(1 + \frac{d}{R_1})}, \quad C = \frac{2\pi\varepsilon_0(\varepsilon l_1 + \varepsilon_X l_2)}{\ln(1 + \frac{d}{R_1})},$$

де  $l$  - повна довжина обкладок перетворювача;  $l_1$  та  $l_2$  - відповідно, довжина, частини обкладок, що знаходяться в повітрі чи іншому газоподібному середовищі, та довжина частини обкладок, розміщених у досліджуваному середовищі;  $d$  - відстань між електродами;  $R$  - радіус внутрішньої обкладки перетворювача.

Наведені вирази для ємностей є спрощеними, однак вони дають змогу оцінити галузь застосування залежно від того, який параметр ( $d, l, S, \varepsilon$ ) є інформативним.

Перетворювачі зі змінною відстанню  $d$  між обкладками використовуються в засобах для вимірювання невеликих переміщень (зазвичай до 1 мм) та сил та тисків, які спричиняють такі переміщення. В останніх

випадках вимірювана сила або тиск перетворюється головним чином на відхилення мембрани, яка є рухомих електродом ємнісного перетворювача. Перетворювачі із змінною площею перекриття пластин досліджуваного середовища використовуються в рівнемірах.

Зупинимось на чутливості ємнісного перетворювача до тієї чи іншої вхідної величини. Оскільки, зокрема, для плоскопаралельного конденсатора  $C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{\delta}$ , повний диференціал

$$dC = \frac{\partial C}{\partial \epsilon_c} d\epsilon_c + \frac{\partial C}{\partial S} dS + \frac{\partial C}{\partial \delta} d\delta.$$

Переходячи до кінцевих приростів, матимемо

$$\Delta C = \frac{S_0}{\delta_0} \Delta \epsilon_c + \frac{\epsilon_{c0}}{\delta_0} \Delta S - \frac{\epsilon_{c0} S_0}{(\delta_0 + \Delta \delta)^2} \Delta \delta$$

і відповідно відносну зміну ємності

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta \epsilon_c}{\epsilon_{c0}} + \frac{\Delta S}{S_0} - \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^2} \frac{\Delta \delta}{\delta_0},$$

де  $\epsilon_{c0} = \epsilon_c * \epsilon_0, S_0, \delta_0$  – початкові значення (при відсутності вхідної дії) діелектричної проникності, активної площі та відстані між електродами;  $C_0$  – початкова ємність перетворювача.

Відносна чутливість такого перетворювача як відношення відносної зміни ємності до відносної відстані між електродами при  $\epsilon_c = const$  та  $S = const$  буде

$$S_\delta = \frac{\Delta C/C_0}{\Delta \delta/\delta_0} = - \frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta \delta}{\delta_0}\right)^2}$$

Як відносна зміна ємності до відносної зміни активної площі при  $\epsilon_0 = const$  та  $\delta = const$ , буде

$$S_S = \frac{\Delta C/C_0}{\Delta S/S_0} = 1$$

і, як відносна зміна ємності до відносної зміни діелектричної проникності

$$S_\varepsilon = \frac{\Delta C/C_0}{\Delta \varepsilon_C/\varepsilon_{C0}} = 1.$$

Так як ємнісний опір  $X_C = \frac{1}{\omega C}$ , то при  $\omega = const$

$$dX_C = \frac{\partial X_C}{\partial \varepsilon_C} d\varepsilon_C + \frac{\partial X_C}{\partial S} dS + \frac{\partial X_C}{\partial \delta} d\delta.$$

Перейшовши до кінцевих приростів, можна отримати і відповідні вирази щодо відносних чутливостей:

$$S_\delta^* = \frac{\Delta X_C/\Delta X_{C0}}{\Delta \delta/\delta_0} = 1;$$

$$S_\varepsilon^* = \frac{\Delta X_C/\Delta X_{C0}}{\Delta \varepsilon/\varepsilon_0} = -\frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta \varepsilon_C}{\varepsilon_{C0}}\right)^2};$$

$$S_S^* = \frac{\Delta X_C/\Delta X_{C0}}{\Delta S/S_0} = -\frac{1}{\left(1 + \frac{\Delta S}{S_0}\right)^2}.$$

З наведених виразів видно, що відносна зміна ємності є лінійною функцією зміни активної площі або діелектричної проникності та нелінійною функцією зміни відстані між електродами. Відносна зміна ємнісного опору пропорційна відносній зміні відстані і є нелінійною функцією відносної зміни активної площі та діелектричної проникності. Для одинарних перетворювачів з нелінійною функцією перетворення відносна зміна відповідного вхідного параметра, за умови, що функцію перетворення можна вважати майже лінійною, не повинна перевищувати 10...15%. Для більших відносних змін (приблизно до 40%) необхідно застосовувати диференціальні перетворювачі.

Ємнісні прилади мають високу чутливість, велику швидкодію, малі габарити. Залежно від вимірюваного середовища в якості електродів

використовують датчики, покриті полівінілхлоридом, фторопластом тощо. В результаті такого покриття пристрої можна використовувати в агресивних середовищах, де використання контактних датчиків практично неможливе. Існує багато конструктивних різновидів ємнісних рівнемірів, основні відмінності яких визначаються ступенем електропровідності досліджуваної речовини. У рівнемірах для електропровідних рідин один з електродів покривають ізоляційним матеріалом, для неелектропровідних електроди не ізолюються.

Як у рівнемірах для електропровідних, так і для неелектропровідних рідин електроди перетворювачів можуть бути виконані у вигляді стержнів, плоских пластин чи циліндрів. Другим електродом може бути металева стінка посудини, що містить досліджувану речовину.

Найпростішою і найпоширенішою є конструкція коаксіального перетворювача. Його внутрішні та зовнішні електричні електроди розміщені у резервуарі з досліджуваною речовиною.

Якщо резервуар рідиною не заповнений, то ємність між електродами перетворювача

$$C = C_0 + \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln(1 + d/R_1)}$$

де  $l$  – повна довжина електродів;  $R_1$ , та  $d_1$  – радіус внутрішнього електрода та відстань між електродами;  $C_0$  – ємність, зумовлена прохідними ізоляторами та з'єднувальними дротами від електродів до вторинної вимірювальної апаратури.

Після заповнення резервуара до рівня  $H$  ємність зміниться до значення

$$\begin{aligned} C &= C_0 + \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0(\epsilon l_1 - \epsilon_X l_2)}{\ln(1 + \frac{d}{R_1})} = C_0 + \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0(l - l_2)}{\ln(1 + \frac{d}{R_1})} + \frac{2\epsilon_X\epsilon_0 l_2}{\ln(1 + \frac{d}{R_1})} = \\ &= C_0 + \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln(1 + \frac{d}{R_1})} + \frac{2\pi\epsilon_0(\epsilon_X - \epsilon)l_2}{\ln(1 + \frac{d}{R_1})}. \end{aligned}$$

Наведений вираз є спрощеною функцією перетворення ємнісного перетворювача неелектропровідної рідини. Еквівалентна ємність такого перетворювача є сумою трьох з'єднаних паралельно ємностей. Якщо діелектричну проникність досліджуваного середовища можна вважати сталою, інформативною є лише третя складова еквівалентної ємності.

Слід також зазначити, що в реальних умовах  $\epsilon_x$  може змінюватись, наприклад, внаслідок зміни температури досліджуваної рідини, її хімічного складу тощо. Для зменшення впливу на результат вимірювання зміни  $\epsilon_x$  конструкцію ускладнюють додатковим компенсаційним конденсатором, розміщеним в нижній частині основного перетворювального елемента.

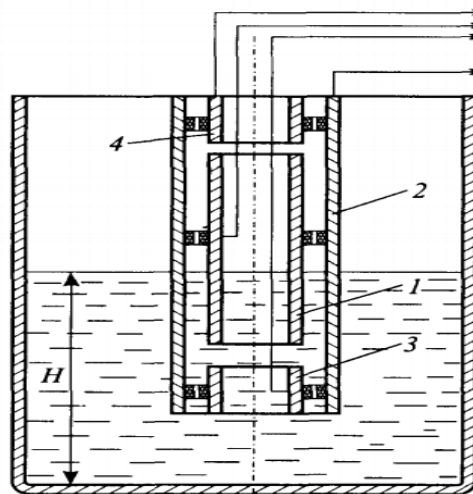


Рис.1.9 Ємнісний перетворювач рівня рідини з компенсаційними конденсаторами

1 та 2 – електроди робочого перетворювача, ємність якого залежить як від рівня досліджуваної рідини, так і від її діелектричної проникності, 3 – додатковий (компенсаційний) конденсатор, який постійно знаходиться в досліджуваній рідині, а його ємність залежить лише від  $\epsilon_x$ . При підключенні до вимірювальної схеми ємність компенсаційного конденсатора може бути використана для корекції вихідного сигналу рівня вимірювача при зміні  $\epsilon_x$ .

Оскільки простір над досліджуваною рідиною завжди буде забруднений парами досліджуваної речовини, а її діелектрична проникність буде

відрізнятися від повітря, для зменшення ефекту зміни діелектричної проникності в ємнісних перетворювачах використовується другий компенсуючий конденсатор 4, розміщений над робочим конденсатором. [3]

В ємнісних перетворювачах рівня один з електродів виконаний у вигляді ізолюваного стержня, іншим можуть бути металеві стінки резервуара, а для неметалевих резервуарів - неізолюваний циліндр, що покриває металевий ізолюваний стержень. Ємнісні рівнеміри характеризуються порівняно низькою вартістю, простотою, зручністю їх використання в широкому діапазоні температур. До недоліків належить непридатність для вимірювань рівнів в'язких рідин, рідин, що кристалізуються, випадають в осад. Їх недоліком є також висока чутливість до зміни електричних властивостей досліджуваної рідини, зміни ємності між дротами лінії, що з'єднує перетворювач з вторинною апаратурою. Зведена похибка звичайних ємнісних рівнемірів становить 2...5 %

Основними труднощами, що виникають при вимірюванні ємнісних перетворювачів, є труднощі, пов'язані з усуненням впливу лінії зв'язку на результат вимірювання, особливо коли перетворювач знаходиться на значній відстані від вимірюваних приладів. Через значну довжину лінії можуть виникати значні активні завади. Тому завади фільтрують, зокрема, розділенням спектра частот інформативного параметра та завади. А оскільки в умовах промислового виробництва перешкоди зазвичай мають низьку частоту (промислова частота), вони перетворюють і передають інформативні параметри на відносно високих частотах. Для усунення впливу паразитних ємностей застосовують екранування ліній, та відповідні схемні рішення, за яких шунтувальна дія паразитних ємностей була б усунена або зменшена.

Вимірювальні схеми ємнісних перетворювачів зазвичай базуються на таких структурах: подільники напруги, вимірювальні мости, резонансні контури, ємнісно-діодні кола.

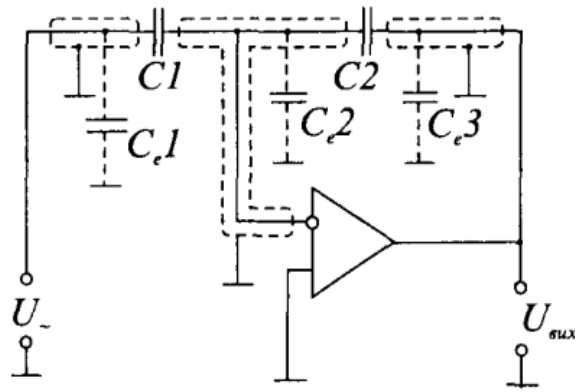


Рис.1.9. Схема вимірювального кола ємнісного перетворювача (а)

Дана схема побудована за принципом подільника напруг.

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{вх}} C_1 / C_2$$

Такі вимірювальні кола можуть бути застосовані в перетворювачах лінійних переміщень, що викликають зміну зазора між обкладками конденсатора  $C_2$ .  $U_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{вх}} C_1}{C_2} = U_{\text{вх}} C_1 \frac{\delta_2}{\varepsilon \varepsilon_0 S_2}$ , вихідна напруга буде лінійною функцією.

Якщо, інформативними параметрами будуть зміна активної площі чи діелектричної проникності між обкладками перетворювача, вихідна напруга буде лінійна функція відповідних параметрів конденсатора  $C_2$ .

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{вх}} \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_0 S_1}{\delta_1 C_2}$$

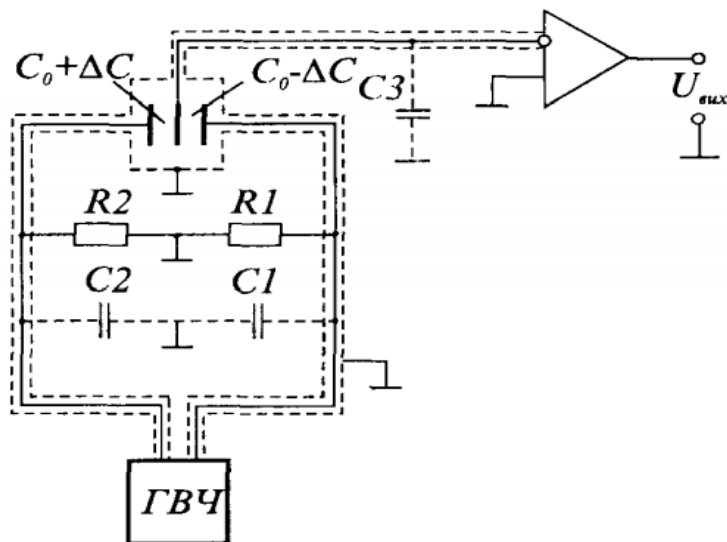


Рис.1.10. Схема вимірювального кола ємнісного перетворювача (б)



Диференційні ємнісні перетворювачі вмикають в мостові вимірювальні кола. Для усунення похибок від впливу лінії зв'язку елементи вимірювального кола з'єднують екранованими дротами, а екран заземлюється. Ємності  $C_1$  та  $C_2$  шунтують порівняно невеликі опори  $R_1$  та  $R_2$ , а ємність  $C_3$  –індикаторну діагональ. Широке застосування як елементи вимірювань в колах з ємнісними перетворювачами знаходять трансформаторні мости.[3]

## 1.2. Області застосування ємнісних датчиків

Можливі області застосування ємнісних датчиків надзвичайно різноманітні. Вони використовуються в системах регулювання і управління виробничими процесами майже у всіх галузях промисловості.

Ємнісні датчики застосовуються для контролю заповнення резервуарів рідкою, порошкоподібною або зернистою речовиною, як кінцеві вимикачі на автоматизованих лініях, конвеєрах, роботах, обробних центрах, верстатах, в системах сигналізації, для позиціонування різних механізмів і т. д.

В даний час найбільш широкого поширення набули датчики наближення (присутності), які крім своєї надійності, мають широкий ряд переваг.

Маючи відносно низьку вартість, датчики наближення охоплюють широкий спектр спрямування щодо їх застосування у всіх галузях промисловості. Типовими областями використання ємнісних датчиків цього типу є:

- сигналізація заповнення ємностей з пластику або скла;
- сигналізація обриву проводу, стрічки, інших подібних предметів під час намотування;
- підрахунок кількості штучних виробів;
- регулювання натягу стрічки

Порівняно новими приладами, доведеними до широкого промислового застосування в останні роки, стали малогабаритні ємнісні інклінометри з електричним вихідним сигналом, пропорційним куту нахилу датчика.

Основними можна вважати такі сфери застосування інклінометрів: використання в системах встановлення платформ у горизонті, визначення величини прогинів і деформацій різного роду опор і балок, контроль кутів нахилу автомобільних і залізних доріг при їх будівництві, ремонті та експлуатації, визначення крену автомобілів, кораблів.

Вони використовуються в системах контролю, регулювання та управління виробничими процесами в харчовій, фармацевтичній, хімічній та нафтопереробній галузях. Ефективного застосування такі датчики також знайшли при роботі з рідинами, сипучими матеріалами, в'язкими речовинами (провідними та непровідними), а також в умовах утворення конденсату, запиленості.

Ємнісні датчики особливо знаходять застосування в різних галузях промисловості для вимірювання абсолютного та надлишкового тиску, товщини діелектричних матеріалів, вологості повітря, деформації, кутових і лінійних прискорень та ін. [4]

### **1.3. Переваги та недоліки ємнісних датчиків в порівнянні з датчиками інших типів**

Ємнісні датчики мають ряд переваг перед іншими видами датчиків. До їх переваг відносяться:

- простота виготовлення;
- використання недорогих матеріалів для виробництва;
- малі габарити і вага;
- низьке споживання енергії;
- висока чутливість;
- відсутність контактів;
- довгий термін експлуатації;
- необхідність дуже малих зусиль для переміщення рухомої частини ємнісного датчика;
- простота пристосування форми датчика до різних завдань і конструкцій;

До недоліків ємнісних датчиків слід віднести:

- порівняно невеликий коефіцієнт передачі (перетворення);
- високі вимоги до екранування деталей;
- необхідність роботи на підвищеній (у порівнянні з 50 Гц) частоті;

Однак у більшості випадків можна домогтися достатнього екранування за рахунок конструкції датчика, а практика показує, що ємнісні датчики дають добрі результати на широко поширеній частоті 400 Гц.

Ємнісні датчики відрізняються простотою, що дозволяє створювати міцні та надійні конструкції. Параметри конденсатора залежать лише від геометричних характеристик і не залежать від властивостей використовуваних матеріалів, якщо ці матеріали обрані правильно.

Тому можна зробити невеликий вплив температури на зміну площі поверхні та відстань між обкладинками вибравши відповідну марку металу для обкладинок та ізоляції для їх кріплення. Залишається лише захищати датчик від тих факторів навколишнього середовища, що можуть погіршити ізоляцію між обкладинками, від пилу, корозії, вологості.

Значною перевагою ємнісних датчиків є мала величина механічного зусилля, необхідного для переміщення його рухомої частини, можливість регулювання вихідної сили і висока точність, роблять ємнісні датчики обов'язковими для пристроїв, в яких допускаються похибки лише в соті і навіть тисячні частки відсотка. [4]

## **2. АВІАЦІЙНІ ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЗАПАСУ ПАЛИВА НА БОРТУ ЛА**

### **2.1. Методи вимірювання запасу і витрати палива**

Маса палива на борту ЛА становить більше половини його злітної маси. Тому точне визначення його кількості та витрати є одним з найважливіших завдань, вирішення якого дозволяє забезпечити роботу силових установок літака. Це завдання вирішує паливовимірювальна система (ПВС).

Основою ПВС сучасних ЛА є паливоміри і витратоміри. Паливомір служить для формування вимірювальної інформації про запас палива в баках паливної системи ЛА. Витратомір забезпечує вимірювальну інформацію про витрату і залишок палива. Виходячи з точного визначення запасу та витрати палива, можна розрахувати дальність і тривалість польоту, вирішувати проблему автоматичного контролю вироблення палива з баків, автоматично проводити перекачування палива з бака в бак для підтримки належного центрування літака, формувати сигналізацію про критичний залишок палива, визначати порядок заправки баків паливом і т.д.

Серед багатьох методів вимірювання кількості рідини найбільш широко застосовуються в авіації методи, засновані на вимірюванні рівня палива. Основними з них є: поплавковий, заснований на визначенні рівня за допомогою поплавка, що плаває на поверхні палива в баку; електроємнісний, який реалізує залежність електричної ємності перетворювача-конденсатора від рівня палива в баку; ультразвуковий, заснований на визначенні рівня палива для відображення ультразвукових коливань на межі розділу двох середовищ.

Запас палива вимірюється або в одиницях об'єму, або в одиницях маси. Тому, його визначення в зазначених одиницях за відомим значенням рівня палива можливо тільки в тих випадках, коли площа поперечного перерізу бака також відома і постійна.

Якщо ця площа змінна, то для отримання запасу палива у відповідних одиницях за допомогою рівномірної шкали показчика паливоміра необхідно усунення основної методичної похибки.

Витрата палива визначається його кількістю, що протікає через перетин паливної магістралі  $S$  зі швидкістю  $\vartheta$ .

Витрата палива за одиницю часу є *миттєвою витратою*, а за будь-який період часу (наприклад, за час між запуском і зупинкою двигуна) – *сумарною витратою палива*.

Миттєва об'ємна витрата палива

$$Q = S\vartheta \quad (2.1)$$

Миттєва масова витрата палива

$$Q_M = \rho S\vartheta = \rho Q \quad (2.2)$$

де  $\rho$  – щільність палива.

На основі цих залежностей всі методи вимірювання витрати палива зводяться або до вимірювання постійної площі  $S$ , або навпаки. Основними методами вимірювання витрати палива, що застосовуються в авіації, є:

- порціальный, заснований на визначенні числа порцій палива в одиницю часу, що надходять в паливну магістраль;
- змінного перепаду тиску, при якому витрата визначається по різниці тисків до і після нерухомого опору гідродинамічного тиску потоку рідини;
- швидкісний, заснований на залежності частоти обертання ненавантаженої турбіни від швидкості палива при постійному перерізі паливної

					НАУ. 21.01.55 000 ПЗ					
		магістралі								
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>АВІАЦІЙНІ ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЗАПАСУ ПАЛИВА НА БОРТУ ЛА</b>					
<i>Розроб.</i>		Савранський В.А.						<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Дивнич М.П.								
<i>Реценз.</i>										
<i>Н. Контр.</i>		Дивнич М.П.						ФАЕТ- 401 гр.		
<i>Затверд.</i>		Гачиніна О.М.								

- ультразвуковий, при якому швидкість потоку палива визначає або різницю часу випроміненого і прийнятого сигналів, або різниця їх фаз, або різниця їх частот;
- електромагнітний, заснований на виникненні ЕРС в рідині, що рухається під дією магнітного поля, параметри якого пропорційні швидкості палива.[9]

## 2.2. Паливоміри та їх конструктивні особливості

### 2.2.1 Поплавкові паливоміри

Застосовуються такі типи електромеханічних поплавцевих паливомірів (масломірів): БЕС, КЕС, МЕМ, СБЕС і т.д. Букви в позначенні типу визначають вид вимірюваної рідини та особливості конструкції: Б – бензин, К – керосин, М – масло. Буква С на початку позначення вказує, що паливомір сумуючий, в кінці позначення – що паливомір з сигналізацією критичного залишку палива або масла. Як приклад поплавкового паливоміру розглянемо бензиномір типу СБЕС (сумуючий бензиномір, електромеханічний з сигналізацією залишку палива).

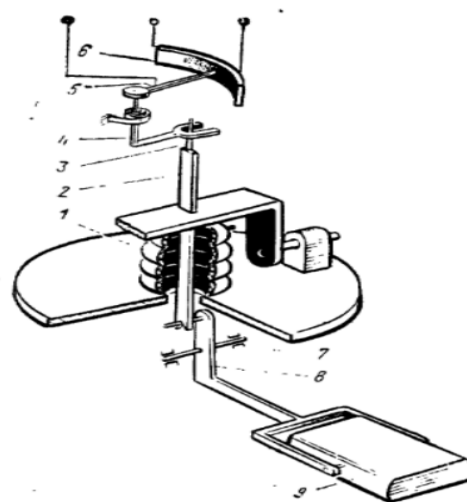


Рис.2.1. Датчик поплавкового паливоміра

- 1 – сильфон; 2, 3 – важелі; 4 – вісь; 5 – движок потенціометра; 6 – потенціометр; 7 – основа; 8 – коромисло; 9 – поплавок

У комплект приладу входять: датчики, розміщені в баках, показчик, перемикач, система сигналізації і лінія зв'язку. Датчик перетворює переміщення поплавця 9 в залежності від рівня палива в зміни напруги, знімається з потенціометра 6, за допомогою передавального механізму, що складається з коромисла 8, важеля 2 і повідка 4.

Сильфон 1 забезпечує герметизацію внутрішнього простору бака і рухливість передавального механізму.

Спрощена принципова електрокінематична схема приладу приведена на рис.2.2.

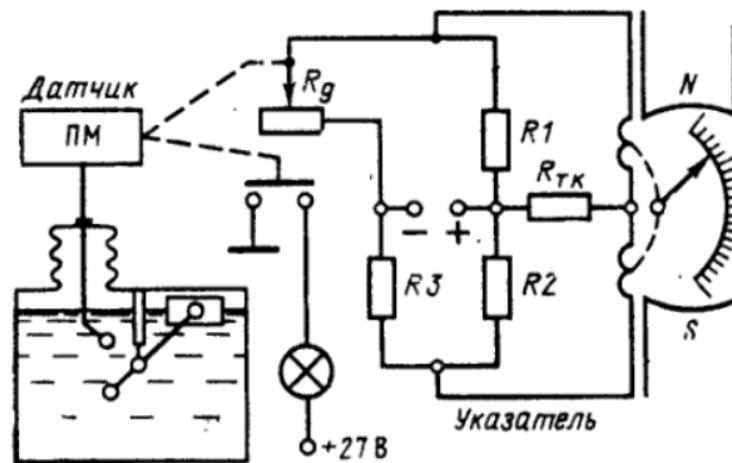


Рис.2.2. Принципова електрокінематична схема поплавкового паливоміра

Потенціометр датчика  $R_d$  включений у вимірювальну схему, подібну схемі манометра типу ЕДМУ. У паливоміра типу СБЕС застосований логометричний показчик з рухомими рамками і нерухомим магнітом.

Потенціометр датчика  $R_d$ , є одним з плечей мостової вимірювальної схеми. Зміна положення движка потенціометра, що впливає на стан поплавця, призводить до зміни його опору і відповідно до перерозподілу значень струмів, що протікають в рамках логометра. Внаслідок цього буде відбуватися поворот рамок і стрілки показника, яка, відхилившись на відповідний кут, буде відображати на шкалі значення запасу палива в баку.

Розглянутий паливомір має один показчик на дві групи баків. За допомогою перемикача його підключають до лівої чи правої групи баків, або до всіх баків, щоб заміряти сумарний запас палива. Внаслідок цього показчик бензиноміру має верхню і нижню шкали. Верхня шкала визначає запас палива в правій або лівій групі резервуарів, нижня - сумарний запас.

При критичному (30-хвилинному) залишку палива замикається контакт і в ланцюзі сигналізації лампа запалюється.

Основний недолік поплавкового паливоміру полягає в тому, що він може формувати вимірювальну інформацію про запас палива тільки в одиницях об'єму, а не в одиницях маси. Внаслідок цього на ЛА широко застосовуються електроємнісні паливоміри, яким не властиві перераховані недоліки. [9]

### 2.2.2. Електроємнісні паливоміри

Такі паливоміри знайшли найбільше застосування на сучасних ЛА з великим числом баків. Вони дозволяють вирішувати два завдання: формування вимірювальної інформації про запас палива, що знаходиться в баках, забезпечується вимірювальною частиною паливоміру; збереження правильного центрування ЛА під час вироблення палива в баках, управління заправкою палива, включення сигналізації при аварійному залишку палива і т.п. - вирішується в автоматичній частини паливоміру.[8]

Основними датчиками вимірювальної частини паливоміру типу СПУП (система програмного управління і вимірювання палива) є циліндричні конденсатори, розміщені в паливних баках (рис.2.3).

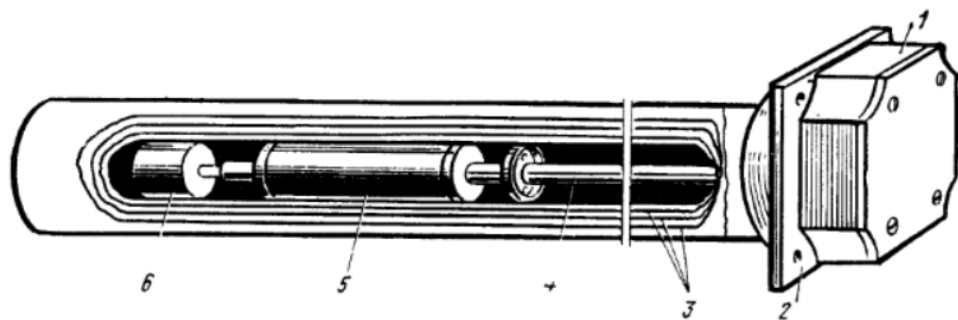


Рис.2.3. Датчик ємнісного паливоміра



1 – кришка; 2 – панель; 3 – циліндри; 4 – напрямні трубки; 5 – поплавок з якорем; 6 – котушка індуктивності

Обкладинками конденсаторів служить набір коаксіально розташованих алюмінієвих труб. Для збільшення чутливості датчика труб може бути три або більше. Електрична ємність верхньої частини датчика, де є газоподібне середовище (повітря і пари палива), за умови нехтування товщиною стінок циліндрів

$$C_B = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_T}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} (H - h),$$

де  $\varepsilon_0 = 8,85 * 10^{-12}$  пФ/см – діелектрична постійна;  $\varepsilon_T$  – відносна діелектрична проникність газового середовища;  $H$  – максимальна висота;  $h$  – висота занурення датчика в паливо;  $D$  – діаметр зовнішньої труби;  $d$  – діаметр внутрішньої труби датчика.

Електрична ємність нижньої частини датчика, зануреного в паливо

$$C_h = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_T}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} h,$$

де  $\varepsilon_T$  – відносна діелектрична проникність палива.

Тоді повна ємність датчика визначається як:

$$C_D = C_B + C_h = 2\pi\varepsilon_0 \frac{H\varepsilon_T + h(\varepsilon_T - \varepsilon_0)}{\ln(D/d)} \quad (2.3)$$

Після перетворення з урахуванням того, що  $\varepsilon_T \approx 1$  (2.3), можна, написати як

$$C_D = C_0 + C_x, \quad (2.4)$$

де  $C_0 = \frac{2\pi\varepsilon_0 H}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}$  – ємність сухого датчика при  $h = 0$ ;  $C_x = \frac{2\pi\varepsilon_0 h * (\varepsilon_T - 1)}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}$  – частина

ємності датчика, пропорційна рівню палива.

Об'єднавши всі постійні виразу (2.3), отримаємо

$$C_D = C_0 + k_1 h (\varepsilon_T - 1), \quad (2.5)$$

$$\text{де } k_1 = 2\pi\varepsilon_0 h / \ln\left(\frac{D}{d}\right)$$

Зі співвідношення (2.5) випливає, що ємність розглянутого датчика є лінійною функцією рівня палива. Щоб врахувати в даному методі вимірювання запасу палива основну методичну помилку, обумовлену змінною площею перетину бака, і побудувати лінійну шкалу показчика, ємнісні датчики профілюють. Для цього в коаксіальних трубах роблять або вирізи, зменшуючи ємність за рахунок зменшення площі обкладок, або змінюють діаметри труб, варіюючи ставлення  $(D/d)$ . Тоді вираз (2.5) буде відображати лінійну залежність не від рівня, а від обсягу палива і його можна переписати як:

$$C_D = C_0 + k_2 \vartheta (\varepsilon_T - 1), \quad (2.6)$$

де  $\vartheta$  – об'єм палива в баці,  $k_2$  – постійний коефіцієнт

Щоб на основі розглянутого датчика перейти до вимірювання запасу палива в одиницях маси, необхідно врахувати, що

$$\vartheta = m / \rho.$$

де  $m$  – маса палива:  $\rho$  – щільність палива

Тоді вираз (2.4) перепишеться у вигляді :

$$C_D = C_0 + k_2 m (\varepsilon_T - 1) / \rho \quad (2.7)$$

При використанні наближеної залежності:

$$\varepsilon_T = a + b\rho. \quad (2.8)$$

Постійні коефіцієнти  $a$  та  $b$  можна перетворити в вираз

$$C_D = C_0 + k_2 \left( \frac{a-1}{\rho} + b \right) \quad (2.9)$$

У свою чергу  $\rho$  залежить від сорту і температури палива.

Температурна залежність щільності палива визначається як

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta T),$$

де  $\rho_0$  - щільність палива при температурі  $T = 20^\circ\text{C}$ ;  $\beta$  - температурний коефіцієнт палива:  $T$  - температура палива,  $^\circ\text{C}$ .

Звідси випливає, що для усунення методичної похибки, пов'язаної зі зміною палива та зміною температури навколишнього середовища, необхідно застосовувати різні методи компенсації при вимірюванні подачі палива в одиницях маси з урахуванням цих факторів.

Розглянемо роботу принципової схеми вимірювальної частини представленої на рис.2.4.

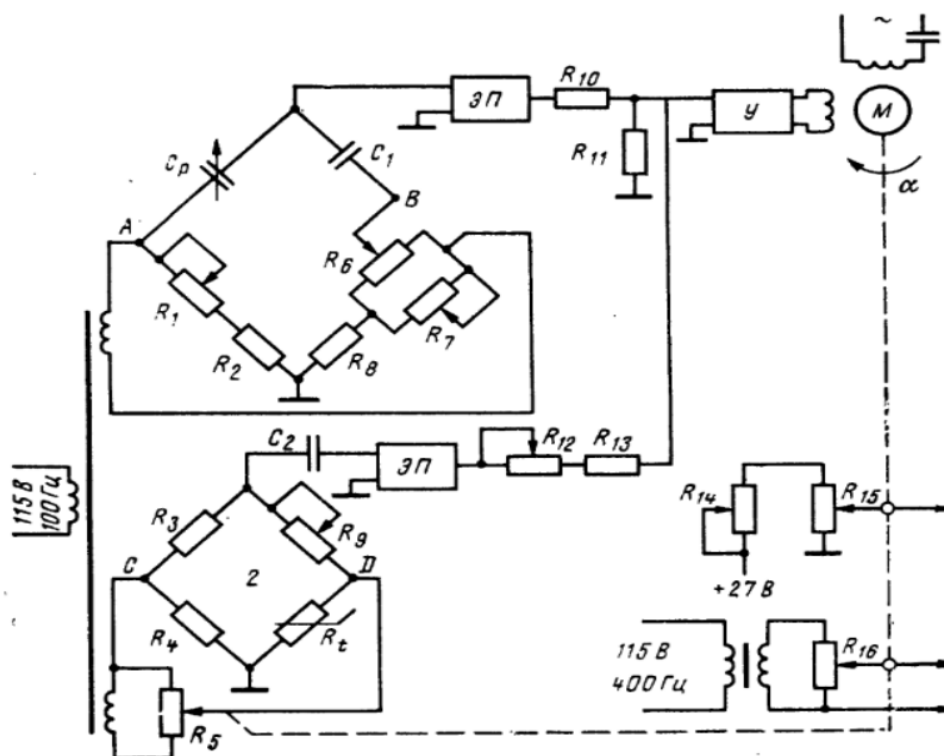


Рис.2.4. Спрощена принципова схема вимірювальної частини

Ємність датчика  $C_d$  вимірюється за допомогою самобалансуючого моста змінного струму. Він складається з ємнісних датчиків  $C_d$ , постійної ємності  $C$ , резисторів  $R_2$ ,  $R_8$ , потенціометрів  $R_1$ ,  $R_6$ , і  $R_7$ . Потенціометр  $R_1$  служить для балансування моста при сухих баках. Для цього, переміщаючи движок потенціометра  $R_1$ , за умови, що  $C_1 = C_0$ , а движки потенціометрів  $R_6$  і  $R_7$ , – в крайні ліві положення, домагаються відсутності напруги на вимірювальній діагоналі моста між точками  $A, B$ .

Потенціометр  $R_7$ , використовується для балансування моста при повних баках за умови, коли ємність датчика  $C_D$  максимальна, движок потенціометра  $R_6$ , знаходиться в крайньому правому положенні. Міст функціонує наступним чином. При зміні рівня палива в баку ємність датчика  $C_D$  змінюється. Внаслідок цього відбувається розбаланс моста і на вимірювальній діагоналі між точками  $A, B$  з'являється напруга. Вона через емітерний повторювач, масштабуючі резистори  $R_{10}$  і  $R_{11}$  і підсилювач подається на керуючу обмотку двигуна відпрацювання  $M$ .

Двигун за допомогою редуктора переміщує движок потенціометра зворотного зв'язку  $R_6$ , на кут  $\alpha$  в сторону зменшення сигналу розбалансу з діагоналі  $AB$  до тих пір, поки міст не буде урівноважений. У рівноважному положенні моста кожному значенню  $C_D$  а значить і рівню палива буде відповідати певний кут відпрацювання двигуна  $\alpha$ .

Зміна температури палива призводить до зміни його щільності, що викличе зміна ємності датчика  $C_D$  при незмінній масі. Щоб кут відпрацювання  $\alpha$  був пропорційний запасу палива в одиницях маси, необхідна компенсація методичних похибок.

Усунення похибок, спричинених зміною типу палива, здійснюється шляхом перенастроювання схеми основного моста. За допомогою ручки перемикача щільності  $\rho$  з пульта бортінженера проводиться комутація значень резисторів і потенціометрів моста 1. Ця частина схеми на рис.2.4. не відображена.

Усунення температурної похибки проводиться за допомогою компенсаційного моста 2, що складається з резисторів  $R_3, R_4$ , потенціометра  $R_D$  і терморезистора  $R_t$ . Терморезистор  $R_t$ , вбудований в нижню частину ємність

датчика і ходиться завжди в паливі. При зміні температури палива змінюється опір терморезистора  $R_t$ , і відповідно потенціал в точці  $D$ , і на вимірювальній діагоналі  $CD$  з'являється напруга  $\Delta U$ , яка через ізолюючий конденсатор  $C_2$ , і емітерний повторювач подається на вхід підсилювача двигуна відпрацювання в протифазі сигналом основного моста. При цьому для реалізації залежності (2.9) рівновага компенсаційного моста досягається переміщенням движка потенціометра зворотного зв'язку  $R_5$ , пропорційним куту відпрацювання  $\alpha$ .

Потенціометр  $R_5$ , змінює напругу живлення моста до вирівнювання потенціалів точок  $C$  і  $D$ . У результаті складання напруг на підсилювачі з основного і компенсаційного мостів двигун  $M$  відпрацює кут  $\alpha$ , пропорційний запасу палива в одиницях маси. Інформація про запас палива в баку, отримана за допомогою самобалансуючого моста у вигляді кута відпрацювання  $\alpha$ , передається на індикатор за допомогою потенціометричної системи контролю постійного струму.

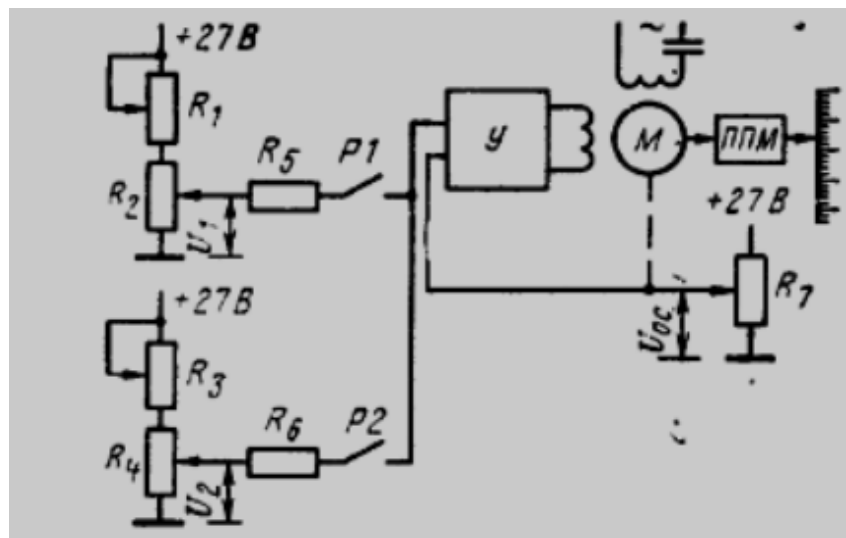


Рис.2.5. Схема передачі інформації про запас палива в баку на показчик

У неї входять: підсилювач; двигун відпрацювання; потенціометричний датчик  $R_2$ , движок якого пов'язаний з двигуном відпрацювання моста;

потенціометр зворотного зв'язку  $R_7$ , що знаходиться в покажчику, двигок якого пов'язаний з двигуном відпрацювання і з стрічкопротяжним механізмом покажчика.

Потенціометр  $R_1$ , служить для регулювання розмаху шкали покажчика, резистор  $R_5$ , регулює крутизну вхідного сигналу. Напруга  $U_1$ , пропорційна куту відпрацювання  $\alpha$ , яка знімається з движка потенціометра  $R_2$ , надходить на перший вхід підсилювача.

Напруга зворотного зв'язку  $U_{оз}$ , що знімається з движка потенціометра  $R_7$ , надходить на другий вхід підсилювача. В підсилювачі формується різниця напруги  $U_1 - U_{оз}$ , яка посилюється і обробляється двигуном до тих пір, поки  $U_{оз}$  не зрівняється з  $U_1$ . Тоді на стрічковому покажчику буде видана інформація про запас палива в одиницях маси. Іноді один і той же покажчик служить для вимірювання запасу палива в групі баків. За сигналом від перемикача відбувається почергове підключення потенціометрів  $R_2$   $R_4$ , за допомогою реле  $P_1$  і  $P_2$  до входу підсилювача і з'являється відповідна індикація запасу палива по баках.

За допомогою розглянутої схеми можливе визначення загального запасу палива в групі баків, пов'язаних з одним покажчиком. Для цього до входу підсилювача також за допомогою реле  $P_1$  і підключаються одночасно потенціометри  $R_2$   $R_4$ , і на покажчику проводиться видача необхідної інформації. Завдання вимірювання і передачі на покажчик інформації про сумарний запас палива у всіх баках вирішується за допомогою каналу підсумовування.

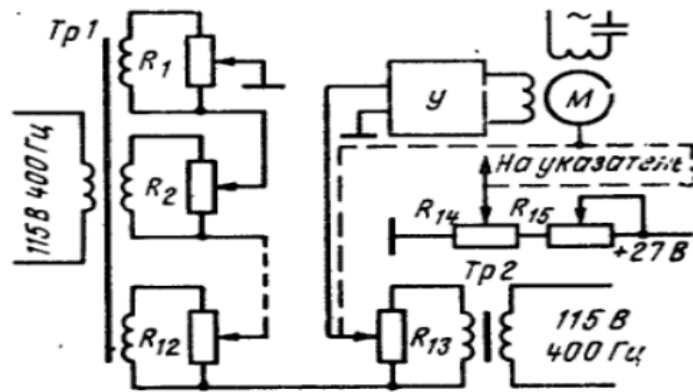


Рис.2.6. Схема виміру сумарного запасу палива

Напруга потенціометрів  $R_1, R_2, \dots, R_{12}$ , з'єднаних послідовно, пропорційна максимальному запасу палива в кожному баку. Їх движки з'єднані з двигунами балансувальних мостів, які вимірюють подачу палива у відповідні баки. Тоді згідно з поданою схемою вихідні напруги всіх потенціометрів підсумовуються і напруга, пропорційна запасу палива в усіх баках, порівнюється з напругою, що знімається з потенціометра зворотного зв'язку. Результат порівняння надходить на підсилювач, а далі на двигун, який одночасно з движком потенціометра  $R_{15}$  переміщує стрілку або стрічку покажчика до тих пір, поки напруга порівняння не зменшиться до нуля. В результаті покажчик видає інформацію про сумарний запас палива на ЛА. До елементів автоматичної частини паливоміру відносяться автомати програмної витрати і заправки палива, які здійснюють управління паливними насосами, кранами заправки і сигнальної апаратури, і автомати центрування, які керують перекачувальними насосами і сигнальної апаратури.

Основним елементом автомата програмної витрати і заправки палива є електромагнітні або магнітокеровані сигналізатори рівня палива. Індуктивний сигналізатор складається з вимірювального моста змінного струму та вторинного пристрою ВП (випрямний пристрій) з контактами комутації.

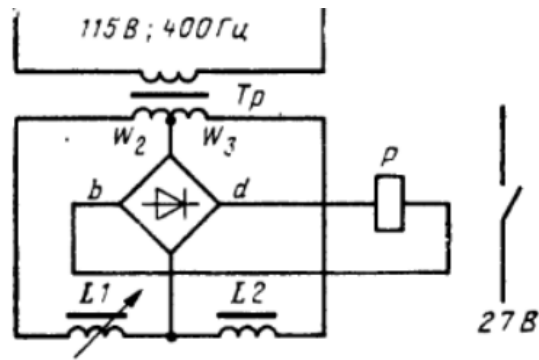


Рис.2.7. Принципова схема індуктивного сигналізатора рівня палива

Плечами моста є котушка змінної індуктивності  $L_1$ , котушка постійної індуктивності  $L_2$  і вторинні обмотки трансформатора живлення  $W_2$ , і  $W_3$ . Датчик сигналізатора являє собою вертикально встановлену в баку трубу, усередині якої переміщається поплавець з феромагнітним сердечником. На трубі закріплена циліндрична котушка з індуктивністю  $L_1$ . Поплавок змінює своє положення в залежності від рівня палива. За відсутності сердечника в котушці рівня індуктивності  $L_1$  міст збалансований і  $U_{bd} = 0$ , сигнал на блок ВП не надходить. Коли рівень палива досягає певного значення, сердечник входить в котушку  $L_1$  і її індуктивність різко змінюється. В якості ВП використовуються електромагнітні, напівпровідникові і електронні реле, які забезпечують включення або виключення паливних насосів, а також управління заправними кранами. Внутрішні обкладки ємнісних датчиків паливомірів часто використовуються в якості напрямних трубок, де є два-три датчики рівня, які сигналізують про верхній і нижній рівень, а також певного залишку палива.

Точність вимірювання цими датчиками рівнів палива в баках дорівнює 2...10 мм. Магнітокеруючий сигналізатор є трубою з немагнітного матеріалу, всередині якої на певній висоті закріплені магнітокеровані контакти — геркони, а зовні труби ковзає поплавок, положення якого визначається рівнем палива. При досягненні заданого рівня поплавков встановлюється так, що спрацьовують контакти геркона. Контакти контролюють стан проміжних реле, які видають



команду на ввімкнення або вимкнення насосів та спрацьовування відповідної сигналізації.[9]

### **2.3. Система вимірювання запасу палива та управління його відкачуванням з баків ЛА**

Паливна система літака призначена для безперебійного забезпечення двигунів паливом в будь-яких умовах польоту при різних режимах роботи двигуна та забезпечує необхідну дальність і тривалість польоту, зберігаючи при цьому центрування літака в допустимих межах. Паливо розміщується в шести баках-кесонах центроплана і в відокремлених частинах крила. Паливо в основні двигуни подається насосом, що підкачує із загального витратного бака № 1 відповідно до встановленого порядку витрати. Система управління і вимірювання палива призначена для:

- вимірювання запасу палива в кожному баку; вимірювання сумарного запасу палива в усіх баках;
- забезпечення рівномірного вироблення палива з однойменних баків № 2 і 3 лівого і правого крила;
- видачі сигналів про сумарний запас палива на літаку в залежності від загальної заправки в бортову магнітну систему реєстрацію параметрів і літаковий радіовідповідач;
- автоматичного керування витратою палива за заданою програмою виходячи з умови збереження центрування літака;
- сигналізації черговості витрати палива і залишку палива на літаку 2500 кг.

#### **2.3.1. Принцип дії паливоміра**

Принцип дії заснований на вимірювання електричної ємності датчика-конденсатора, яка змінюється при зміні кількості палива. Датчики паливоміра встановлюються в баках вертикально і являють собою набір труб, які утворюють конденсатор. При заповнення баків паливом заповнюються зазори між трубами, а оскільки діелектрична проникність палива і повітря різні, то зміна рівня палива в баках призводить до зміни електричної ємності датчика.

Тому для того, щоб виміряти кількість палива в баках, необхідно виміряти величину електричної ємності датчиків.

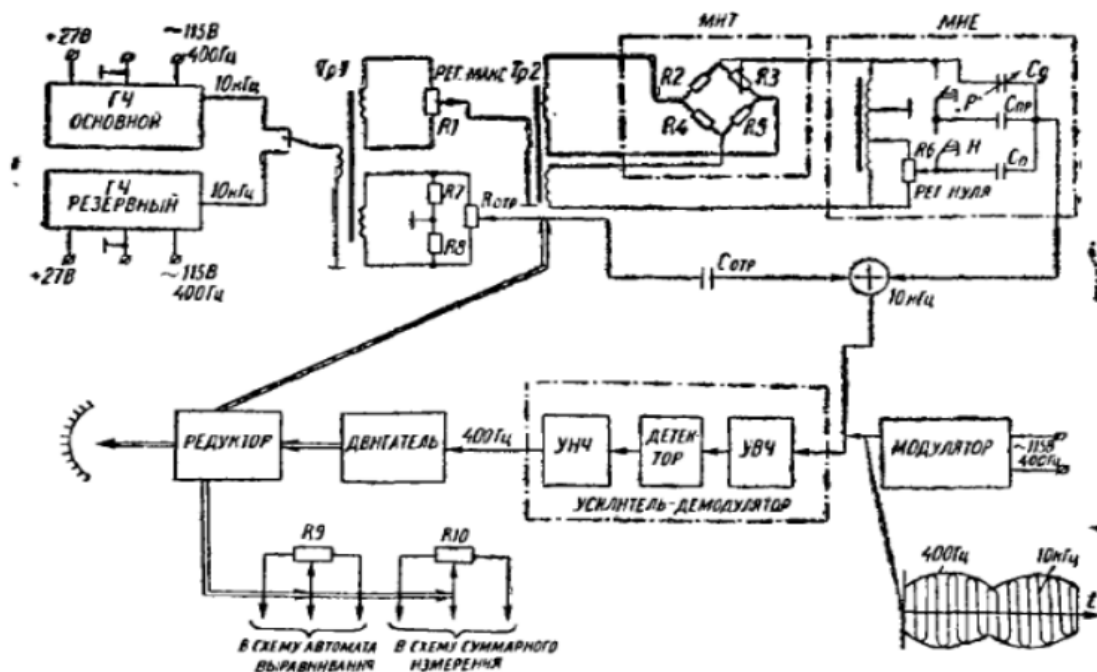


Рис.2.8. Функціональна схема для вимірювання запасу палива в одному баку

Схема живиться від двох генераторів підвищеної частоти ГЧ основного і резервного. Наявність двох джерел живлення підвищує надійність систем по ланцюгах живлення. Перемикання з основного (в разі його відмови) на резервний відбувається автоматично. Ємність датчика  $C_D$ , є одним з плечей ємнісного вимірювального моста (МІЕ). Ємність  $C_0$  є плечем порівняння і дорівнює ємності  $C_D$ , «сухого» датчика, тобто (ємності датчика в порожньому баку). Два інших плеча моста утворені індуктивним дільником напруги  $L$ .

При зміні кількості палива міст МІЕ розбалансується, з його діагоналі знімається сигнал частотою 10 кГц, який модулюється сигналом 400 Гц і подається на підсилювач-демоделюлятор. Сигнал з виходу підсилювача-демоделюлятора частотою 400 Гц подається в показчик на двигун, який відпрацьовує стрілку на кількість заправленого палива, щітку потенціометра  $R_9$  для видачі сигналу в схему автомата вирівнювання (при вимірюванні палива в

другому та третьому баках), щітку потенціометра  $R_{10}$  для видачі сигналу в схему сумарного вимірювання і щітку потенціометра  $R_{від}$ . Сигнал з моста відпрацювання, утвореного резисторами  $R_7$ ,  $R_8$  і  $R_{від}$ , компенсує сигнал з МІЕ. Для компенсації похибки вимірювання вагової кількості палива від зміни щільності палива при зміні температури міст МІЕ живиться через міст вимірювання температури МІТ, одним з плечей якого є приймач температури палива  $R_3$ . [10]

### 2.3.2. Принцип дії автомату вирівнювання

Автомат вирівнювання забезпечує рівномірне вироблення палива з однойменних баків № 2 і 3 лівого і правого крила. Вирівнювання палива між однойменними баками відбувається одночасно з вимірюванням і автоматичним управлінням витратою палива.

Принцип роботи автомату вирівнювання полягає в порівнянні напруг, пропорційних кількості палива в однойменних баках № 2 і 3 лівого і правого крила.

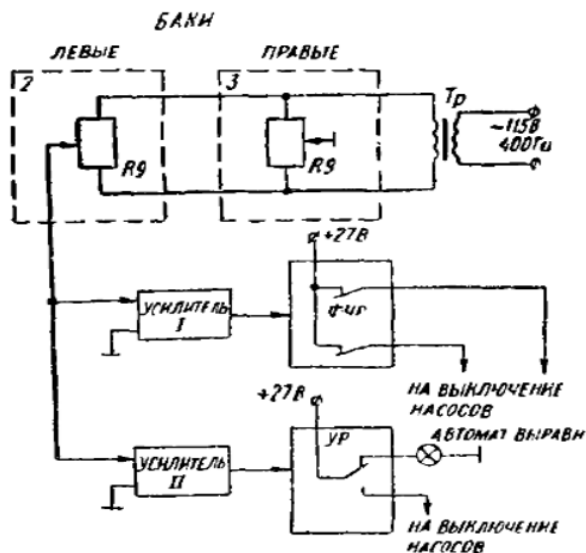


Рис.2.9. Схема до принципу дії автомату вирівнювання

У разі рівного розподілу кількості палива в однойменних баках вихідна напруга потенціометрів  $R_9$  дорівнюють нулю, сигнали на вході підсилювачів I і

II відсутні. При різниці в баках №2 кількості палива в  $(350 + 150)$  кг, в баках № 3 в  $(300 + 100)$  кг на вхід підсилювача 1 подається напруга неузгодженості, яка посилюється і змушує спрацювати порогове фазочутливе реле ФЧР. Залежно від фази напруги неузгодженості ФЧР подає сигнал на вимикання насоса того бака, в якому кількість палива менше.

При цьому вмикаються жовті світлові сигнали «ВИРІВНЮВАННЯ» цього бака.

При різниці кількості палива в порівнюваних баках  $(800 \pm 200)$  кг спрацьовує порогове реле УР. При цьому вдається сигнал  $+27$  В на включення паливних насосів баків № 2 і 3, загоряються чотири індикатори «ВИРІВНЮВАННЯ» та гасне сигнал зеленого кольору «АВТОМАТ ВИРІВН». В цьому випадку необхідно перейти на ручне управління вирівнюванням, вимкнути насоси того бака, де палива менше. Ланцюги живлення автомата вирівнювання захищені автоматами захисту, встановленими на правій панелі АЗС. Вимикач «АВТОМАТ ВИРІВН» розташований на панелі автоматики палива і гідросистеми.

### 2.3.3. Принцип роботи автоматичної частини паливної системи

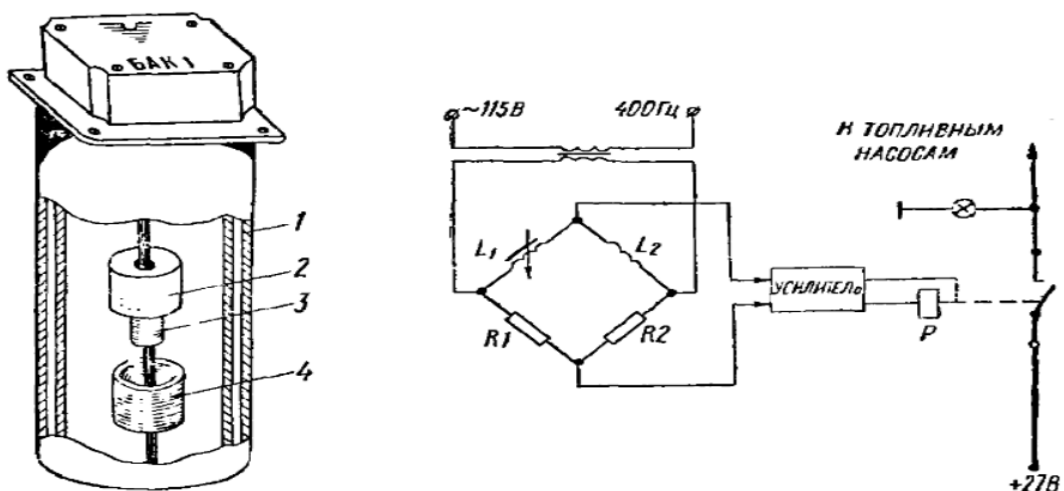


Рис.2.10. Схема принципу дії автоматичної частини паливної системи

1 – труби; 2 – поплавков; 3 – сердечник; 4 – катушка

Автоматична частина включає схему автомата заправки паливом та схему автомата витрати. Автоматичне управління насосами паливної системи, перекачування палива і електромагнітними кранами за заданою програмою здійснюється за допомогою індуктивних сигналізаторів. Конструктивно сигналізатори розташовані всередині датчиків-конденсаторів, кожний з яких складається з герметично запаяної котушки (див.рис.2.10) і поплавка з сердечником з феромагнітного матеріалу. При певному рівні палива поплавок, переміщаючись, вводить сердечник всередину котушки. Індуктивність обмотки збільшується, що призводить до неузгодженості електричного моста.

Сигнал неузгодженості моста подається на вхід електронного реле, яке спрацьовує і своїми контактами замикає ланцюг живлення світлосигналізаторів і контакторів, керуючих роботою паливних насосів або електромагнітних кранів заправки.[10]

### 3. РОЗРОБКА СХЕМИ ЄМНІСНОГО СИГНАЛІЗАТОРА РІВНЯ АВІАПАЛИВА ТА РОЗРАХУНОК ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

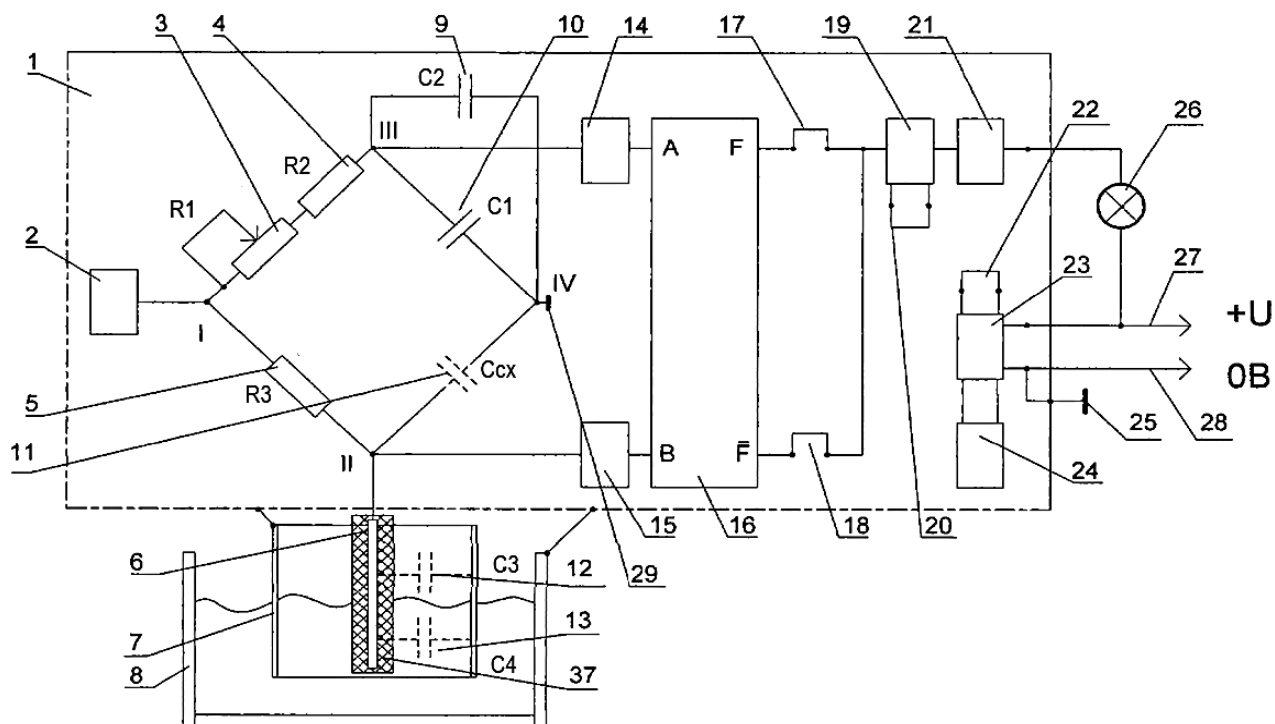


Рис.3.1. Ємнісний сигналізатор автоматизованої паливовимірювальної системи

де:

$C_{сх}$  – постійною паразитною ємністю входів елементів схеми;

$C_3$  – постійна ємність вимірювального центрального електрода 6, коаксіального зовнішньому електроду 7, певна конструктивними особливостями датчика;

$C_4$  – змінна ємність, обумовлена зміною рівня рідини

У ємнісних авіаційних паливомірах для сигналізації рівня палива в баку використовується індуктивний датчик. У цьому датчику є поплавок, який плаває на поверхні палива. При досягненні рівня палива певного значення

(наприклад, мінімального критичного запасу), якір поплавка входить в датчика. Індуктивність датчика змінюється, що

НАУ. 21.01.55 000 ПЗ			Літ.		
Зм.	Авт.	Оп.	Інд.	Відв.	Дод.
Розроб.	Савранський В.А.				Аркуш
Перевір.	Дивнич М.П.				Аркушів
Реценз.					
Н. Контр.	Дивнич М.П.				ФАЕТ- 401 гр.
Затверд.	Тачиніна О.М.				

**СХЕМА ЄМНІСНОГО СИГНАЛІЗАТОРА РІВНЯ АВІАПАЛИВА ТА РОЗРАХУНОК ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ**

призводить до розбалансування мостової схеми. Недоліком такої системи сигналізації є недостатня експлуатаційна надійність.

Невисока надійність виникає через наявність поплавка, який переміщається всередині датчика.

Для сигналізації рівня палива в баку пропонується використовувати ємнісний датчик. Цей датчик включається в мостову схему. Два плеча мостової схеми утворені резисторами, а два інших конденсаторами.[11-12]

Інформація з сигналізатора буде подаватися у автоматизовану систему управління при виборі палива, що відображує на дисплеї необхідну пілотажно-навігаційну інформацію, і потім у інформаційну систему сигналізації, тобто яка призначена для індикації даних про технічний стан бортових систем і сигналізації екіпажу про відмови устаткування, яке контролюється.

В одне з плечей моста послідовно включені два резистора. Один з цих резисторів змінний. Одна ємність постійна – еталонна. Паралельно еталонному конденсатору включений конденсатор, який використовується для настройки схеми сигналізації при зміні сорту палива.

В якості другого конденсатора використовується датчик паливоміра. Його ємність залежить від рівня палива в баку. Мостова схема живиться напругою від генератора, який формує прямокутні імпульси.

Сигнали з еталонного і вимірювального плеча надходять на формувачі фронтів. В якості формувача фронтів використовуються тригери з двоступінчастим запам'ятовуванням. За допомогою тригерів формуються фронти двох сигналів.

Фронти сигналів зсунуті відносно фронту імпульсу генератора на наступні величини. Фронт першого сигналу буде зсунутий на величину:

$$t_1 = (R_1 + R_2)(C_1 + C_2)$$

де  $R_1$  – опір постійного резистора;  $R_2$  – опір змінного резистора;  $C_1$  – ємність еталонного конденсатора;  $C_2$  – ємність конденсатора, яка призначена для настройки схеми сигналізації при зміні сорту палива.

Фронт другого сигналу зсунутий на величину:

$$t_2 = R_3(C_3 + C_4)$$

де  $R_3$  – опір плеча моста;  $C_3, C_4$  – ємності, утворені частиною датчика, яка знаходиться в паливі і в повітрі відповідно.

Для підвищення точності вимірювань параметри елементів необхідно підібрати таким чином, що вимірювальний міст був збалансований при рівні палива наполовину заповненого бака. В цьому випадку затримки сигналів по фазі будуть однаковими:

$$t_1 = t_2 = (R_1 + R_2)(C_1 + C_2) = R_3(C_3 + C_4)$$

Виходи тригерів підключені до електронного ключа. Якщо на вхід ключа надходять одночасно два сигналу, то він розімкнутий. При зміні рівня палива (його зменшенні або збільшенні) один імпульс зрушується відносно іншого. Елементи схеми повинні бути розраховані таким чином, що при досягненні мінімального (або максимального) рівня палива на вході ключа присутній тільки один сигнал.

Змінний резистор, включений в одне з плечей моста, призначений для точного налаштування балансу схеми. За допомогою цього резистора можна регулювати рівень спрацьовування сигналізації.

При цьому досягненні рівнем палива максимального або мінімального значення ключ спрацьовує і замикає ланцюг сигналізації.

Таким чином, дане технічне рішення дозволить відмовитися від застосування індукційного датчика в системі сигналізації авіаційного паливоміру.

### **3.1. Розрахунок ємнісного датчика**

Електрична ємність двотрубного датчика в функції висоти рівня палива визначається рівнянням прямої, що не паралельна осі абсцис:



$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_B(H-h)}{\ln\frac{D}{d}} + \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_T h}{\ln\frac{D}{d}} \quad (3.1)$$

де  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-2}$  пФ/см – діелектрична постійна вакууму;  $\varepsilon_B$  – відносна діелектрична проникність повітря;  $H$  – висота баку, см;  $h$  – висота рівня палива в баку, см;  $D$  – діаметр зовнішньої труби, см;  $d$  – діаметр внутрішньої труби датчика, см;  $\varepsilon_T$  – відносна діелектрична проникність палива ( $\varepsilon_T \approx 2$ ).

Тобто, при  $H = 55$  см,  $h = 52$  см,  $\varepsilon_B = 1$ ,  $D = 30$  мм,  $d = 28$  мм,  $\varepsilon_T \approx 2$

$$C = \frac{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot (55-3)}{\ln\frac{30}{28}} + \frac{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 52}{\ln\frac{30}{28}} = 1260 \text{ пФ};$$

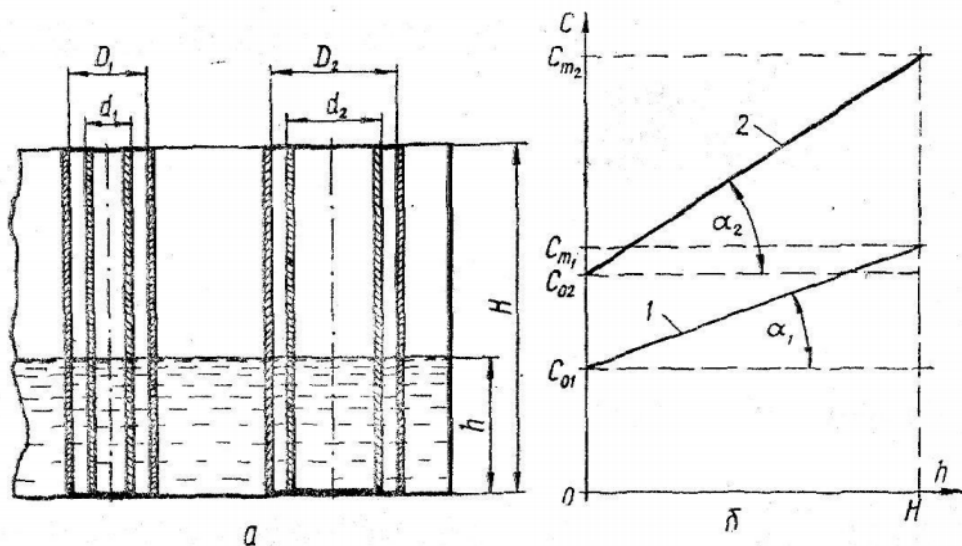


Рис.3.2. Емнісні датчики з коаксіальним положенням труб (а) та їх статистичні характеристики (б)

При відсутності рівня палива у баку, коли  $h = 0$ , електрична ємність «сухого» датчика дорівнює:

$$C_0 = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_B H}{\ln\frac{D}{d}} \quad (3.2)$$

При  $H = 65$  см,  $\varepsilon_B = 1$ ,  $D = 35$  мм,  $d = 33$  мм

$$C_{01} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_B H}{\ln\frac{D}{d}} = \frac{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot 65}{\ln\frac{35}{33}} = 614 \text{ пФ}$$

При  $H = 65$  см,  $\varepsilon_B = 1$ ,  $D = 45$  мм,  $d = 43$  мм

$$C_{02} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_B H}{\ln\frac{D}{d}} = \frac{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot 65}{\ln\frac{45}{43}} = 795 \text{ пФ}$$

При заповненому баці, коли  $h = H$ , обидва датчики мають найбільші ємності  $C_{m1}$  та  $C_{m2}$ . Величина кожної з цих ємностей визначаються виразом

$$C_m = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_T H}{\ln\frac{D}{d}} \quad (3.3)$$

При  $H = 65$  см,  $\varepsilon_T \approx 2$ ,  $D = 35$  мм,  $d = 33$  мм

$$C_{m1} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_T H}{\ln\frac{D}{d}} = \frac{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 65}{\ln\frac{35}{33}} = 1228 \text{ пФ}$$

При  $H = 65$  см,  $\varepsilon_T \approx 2$ ,  $D = 45$  мм,  $d = 43$  мм

$$C_{m2} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_T H}{\ln\frac{D}{d}} = \frac{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 65}{\ln\frac{45}{43}} = 1590 \text{ пФ}$$

Так як,  $\varepsilon_T = 2\varepsilon_B$ , то  $C_{m1} = 2C_{m2}$ . При інших значеннях відносної діелектричної проникності палива максимальна ємність датчика відповідно дорівнює  $C_{mT} = \varepsilon_T C_0$ . [13]

При лінійній статичній характеристиці 2 чутливість датчика визначається

$$k_2 = \frac{C_{m2} - C_{02}}{H} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_2}{d_2}} (\varepsilon_T - \varepsilon_B), \quad (3.4)$$

$$k_2 = \frac{1590 - 795}{65} = 12 \text{ пФ/мм}$$

де  $D_2$  та  $d_2$  – діаметри труб датчика з характеристикою 2.

Відповідно для датчика з характеристикою 1 чутливість

$$k_1 = \frac{C_{m1} - C_{01}}{H} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_1}{d_1}} (\varepsilon_T - \varepsilon_B), \quad (3.5)$$

$$k_1 = \frac{1228 - 614}{65} = 9 \text{ пФ/мм}$$

Вирази (3.4) та (3.5) можуть бути отримані диференціюванням статичної характеристики 1 по вхідній величині  $h$

$$\frac{dC}{dh} = \operatorname{tg} \alpha = k \quad (3.6)$$

Датчики з характеристиками 1 і 2, виготовлені з труб з діаметрами  $D_1 < D_2$  та  $d_1 < d_2$ , мають різні початкові ємності  $C_{01} < C_{02}$  і відповідно різні чутливості  $k_1 < k_2$ .

Однак надмірне збільшення чутливості при незмінному зазорі між трубами неприпустимо, так як воно пов'язане зі збільшенням початкової ємності  $C$  датчика і відповідно його габаритів і маси. Тому основне завдання зводиться до вибору оптимальних значень всіх названих величин і перш за все початкової ємності  $C_0$ .

Поряд з чутливістю властивості ємнісного датчика з коаксіальним розташуванням труб характеризуються діапазоном  $\xi$  зміни вихідної величини  $C$  в процесі вимірювання. Діапазон  $\xi$  визначається відношенням кінцевої  $C_m$  до початкової  $C_0$  ємності датчика.

$$\xi = \frac{C_m}{C_0} = \frac{\epsilon_{ж}}{\epsilon_{в}}, \quad (3.7)$$

де  $\epsilon_{ж}$  та  $\epsilon_{в}$  – діелектричні проникності рідини та повітря.

Один і той же датчик при вимірі рівнів керосина ( $\epsilon_{к} \approx 2$ ) має діапазон  $\xi_{к} = 2$ , а води ( $\epsilon_{H_2O} = 81$ ) відповідно  $\xi = 81$ . Початкова ємність цього датчику визначається виразом:

$$C_0 = \frac{C_{mk}}{2} = \frac{C_{mH_2O}}{81}, \quad (3.8)$$

В якості вимірювальних схем більшості електричних рівнемірів з ємнісними датчиками застосовуються мостові схеми, що живляться змінним струмом частотою  $f = 400$  Гц.

Датчики названих рівнемірів мають початкову ємність  $C_0$  не менше 600 пФ. Для отримання такої ємності, при висотах баків від 400 до 1000 мм,

застосовуюють від трьох до п'яти коаксіально розташованих стандартних алюмінієвих труб Д1 або Д16Т з діаметрами 28×30; 33×35; 38×40; 43×45; 48×50.

Основні недоліки многотрубних конденсаторних датчиків:

- а) складність конструкції;
- б) труднощі отримання однакового зазору між суміжними трубами;
- в) велика маса.

Такі недоліки в значній мірі можуть бути усунені, якщо початкова ємність датчика обрана малої величини ( $C_0 = 600$  пФ). Однак зі зменшенням  $C_0$  зменшується чутливість датчика  $k_d$ , і відповідно паливоміру.

$$k_T = k_d k_{cx} k_{yк} \quad (3.9)$$

де  $k_d$ ,  $k_{cx}$ ,  $k_{yк}$  – чутливості: датчика, вимірювальної схеми та показника.

Найбільш малогабаритними, і відповідно з малою початковою ємністю  $C_0$  є трьохелектродні ємнісні датчики, включені в схему трансформаторних мостів. Основна перевага таких систем є велика чутливість і висока точність вимірювання. Вибравши відповідну вимірювальну схему, що задовольняє основним технічним вимогам визначають початкове значення ємності  $C_0$  сухого датчика зі стандартних труб з зазором між ними не менше 1,5 мм при вимірі рівня керосину.

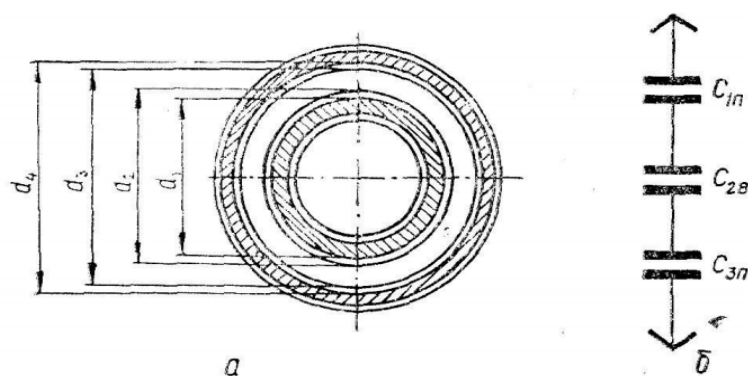


Рис.3.3 Ємнісний датчик з двошаровим діелектриком між коаксіально розміщеними трубами:

а – основні розміри; б – електрична схема

Розрахунок початкової ємності двухтрубного датчика з ізоляційним покриттям труб проводять по формулі сумарної ємності трьох послідовно включених конденсаторів  $C_{1п}, C_{2в}, C_{3п}$ .

$$C_{0э} = \frac{C_{1п} C_{2в} C_{3п}}{C_{2в} C_{3п} + C_{1п} C_{3п} + C_{1п} C_{2в}}, \quad (3.10)$$

де  $C_{0э}$  – початкова ємність датчика;  $C_{1п} C_{2в} C_{3п}$  – ємності конденсаторів з різними величинами діаметрів  $d_1; d_2; d_3; d_4$  а також різними значеннями діелектричними постійними  $\epsilon_{п} \approx 2,9$  – плівки(поліхлорвініл) та  $\epsilon_{в}$  – повітря.

Кожна ємність, що входить у формулу (3.9), розраховується за формулами

$$\begin{aligned} C_{1п} &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_{п}H}{2.31 \lg \frac{d_2}{d_1}} \\ C_{2в} &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_{в}H}{2.31 \lg \frac{d_3}{d_2}} \\ C_{3п} &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_{в}H}{2.31 \lg \frac{d_4}{d_3}} \end{aligned} \quad (3.11)$$

де  $H$  – висота баку

$H = 70$  см,  $d_1 = 43$  мм,  $d_2 = 45$  мм,  $d_3 = 49$  мм,  $d_4 = 51$  мм,  $\epsilon_{в} = 1$   $\epsilon_{п} = 2,9$ .

$$C_{1п} = \frac{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot 70 \cdot 2,9}{2,31 \lg \frac{45}{43}} = 2485 \text{ пФ}; \quad C_{2в} = \frac{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot 70}{2,31 \lg \frac{49}{45}} = 455 \text{ пФ};$$

$$C_{3п} = \frac{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot 70 \cdot 2,9}{2,31 \lg \frac{51}{49}} = 2825 \text{ пФ};$$

$$C_{0э} = \frac{3213086612,736}{9451690,16} = 340 \text{ пФ}$$

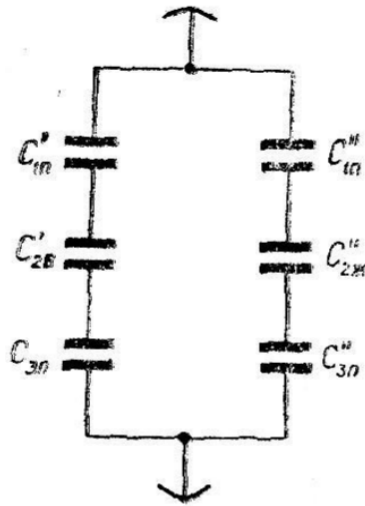


Рис.3.3 Електрична схема датчика с двошаровим діелектриком, частково заповненого рідиною

Поточна ємність  $C_з$  датчика, вимірюючого висоту рівня електропровідної рідини, коли  $0 < h < H$ , визначається сумою загальних ємностей 2 паралельних віток  $C_{лів} + C_{прав} = C_з$ , кожна з яких складається з 3 послідовних включених конденсаторів  $C_{1п}; C_{2в}; C_{3п}$  та  $C_{1п}; C_{2ж}; C_{3п}$  (див.рис.3.3).

Відповідно ємності лівої та правої вітки визначаються виразами

$$\left. \begin{aligned} C_{лів} &= \frac{C_{1п} C_{2в} C_{3п}}{C_{2в} C_{3п} + C_{1п} C_{3п} + C_{1п} C_{2в}}; \\ C_{прав} &= \frac{C_{1п} C_{2ж} C_{3п}}{C_{2ж} C_{3п} + C_{1п} C_{3п} + C_{1п} C_{2ж}}. \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

Ємності, що входять у (3.12), розраховуються за формулами

$$\left. \begin{aligned} C_{1п} &= A \frac{\varepsilon_{п}(H-h)}{\lg \frac{d_2}{d_1}}; & C_{1п} &= A \frac{\varepsilon_{п}h}{\lg \frac{d_2}{d_1}} \\ C_{2в} &= A \frac{\varepsilon_{в}(H-h)}{\lg \frac{d_3}{d_2}}; & C_{2ж} &= A \frac{\varepsilon_{ж}h}{\lg \frac{d_3}{d_2}} \\ C_{3п} &= A \frac{\varepsilon_{п}(H-h)}{\lg \frac{d_4}{d_3}}; & C_{3п} &= A \frac{\varepsilon_{п}h}{\lg \frac{d_4}{d_3}} \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

де  $A = \frac{2\pi\varepsilon_0}{2,3}$  – постійний коефіцієнт;  $\varepsilon_{п}, \varepsilon_{в}, \varepsilon_{ж}$  – коефіцієнти відносної діелектричної проникності ізоляційної плівки, повітря і електропровідної рідини

$$A = \frac{2\pi\varepsilon_0}{2,3} = 0,241; \quad H = 80 \text{ см}, \quad h = 65 \text{ см}, \quad d_1 = 33 \text{ мм}, \quad d_2 = 35 \text{ мм}, \quad d_3 = 39 \text{ мм},$$

$$d_4 = 41 \text{ мм}, \quad \varepsilon_{в} = 1 \quad \varepsilon_{п} = 2,9 \quad \varepsilon_{ж} \approx 2.$$

$$C_{1п} = 0,241 * \frac{2,9*15}{\lg \frac{35}{33}} = 410 \text{ пФ}; \quad C_{2в} = 0,241 * \frac{15}{\lg \frac{39}{35}} = 77 \text{ пФ};$$

$$C_{3п} = 0,241 * \frac{2,9*15}{\lg \frac{41}{39}} = 482 \text{ пФ}.$$

$$C_{лів} = \frac{9041262,18}{163910,3} = 55 \text{ пФ}$$

$$C_{1п} = 0,241 * \frac{2,9*65}{\lg \frac{35}{33}} = 1775 \text{ пФ}; \quad C_{2ж} = 0,241 * \frac{2*65}{\lg \frac{39}{35}} = 665 \text{ пФ};$$

$$C_{3п} = 0,241 * \frac{2,9*65}{\lg \frac{41}{39}} = 2090 \text{ пФ}$$

$$C_{прав} = \frac{1801662007,7}{5089655,7} = 395 \text{ пФ}$$

Таким чином, знаючи ємності лівої та правої вітки, початкова ємність дорівнює  $C_{лів} + C_{прав} = 450 \text{ пФ}$

Розглянуті ємнісні датчики мають практично незмінну довжину труб, рівну висоті бака. Статичну характеристику датчика можна представити функцією незалежної змінної на виміряній висоті рівня, зміна якої викликає

протилежну і різну за величиною зміну ємностей лівої і правої гілок конденсаторів, які ведуть до трансформаційних змін загальної ємності датчика.[13]

### 3.2. Розрахунок елементів ємнісного сигналізатора загальної схеми

1)  $R_1 = 178$  кОм (резистор змінний, СПЗ-45Б);

$R_2 = 187$  кОм (резистор постійний, Р1-4);

$C_1 = 1$  мкФ (оксидно-напівпровідниковий танталовий конденсатор, К53-66);

$C_2 = 2,2$  мкФ (оксидно-напівпровідниковий танталовий конденсатор, К53-1А);

$$t_1 = (3,2) * (365) = 1168 * 10^{-6} * 10^3 = 1,2 \text{ мс}$$

Бак заповнений наполовину паливом, та повітрям, тому датчик ділиться на 2 частини

$$H = 72 \text{ см}, h = 36 \text{ см} \quad \varepsilon_B = 1, D = 40 \text{ мм}, d = 38 \text{ мм}, \varepsilon_T \approx 2,$$

$$C_3 = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_B H}{\ln\frac{D}{d}} = \frac{2\pi*8,85*10^{-2}*36}{\ln\frac{40}{38}} = 390 \text{ пФ};$$

$$C_4 = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_T H}{\ln\frac{D}{d}} = \frac{2\pi*8,85*10^{-2}*2*36}{\ln\frac{40}{38}} = 780 \text{ пФ};$$

$$R_3 = 1 \text{ МОм}$$

Таким чином затримка сигналу дорівнює:

$$t_2 = 1 * 1170 * 10^{-12} * 10^3 * 10^6 = 1,2 \text{ мс};$$

Отже, умова виконується  $t_1 = t_2$ , вимірювальний міст буде збалансований при рівні палива наполовину заповненого бака

2) Коли бак повністю заповнений паливом, то відповідно ємність конденсатора збільшується, тобто:

$$H = 72 \text{ см}, h = H \quad \varepsilon_B = 1, D = 40 \text{ мм}, d = 38 \text{ мм}, \varepsilon_T \approx 2,$$

$$C_3 = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_B H}{\ln\frac{D}{d}} = \frac{2\pi*8,85*10^{-2}*72*2}{\ln\frac{40}{38}} = 1560 \text{ пФ};$$



$$C_4 = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r H}{\ln\frac{D}{d}} = \frac{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot 36}{\ln\frac{40}{38}} = 780 \text{ пФ};$$

$$t_0 = 1 \cdot 2341 \cdot 10^{-12} \cdot 10^3 \cdot 10^6 = 2,3 \text{ мс}$$

Коли на вхід тригера подається 2 сигнали, то сигналізація не спрацює. Але за рахунок того, що затримка сигналу стала більше, то на вході цього елемента тільки 1 сигнал з'явиться, тому на вході ключа буде присутній тільки один сигнал, і спрацює сигналізація.

### 3.3 Аналіз причин виникнення похибок спрацювання сигналізації

#### 3.3.1. Похибка результату вимірювання

Традиційно для кількісної оцінки якості вимірювання використовується негативна характеристика - похибка результату вимірювання або часто просто похибка вимірювання як відхилення результату вимірювання  $x$  від істинного значення  $X$  вимірюваної величини.

$$\Delta = x - X$$

Використання похибки як характеристики якості вимірювань зумовлено тим, що принаймні похибки ЗВТ можна визначити (можливо наближено) експериментальним шляхом, наприклад, подаючи на його вхід відоме значення величини і зіставляючи з ним результат вимірювання. Можна експериментально перевірити також методи вимірювань з певними розмірами, які проводяться з певними ЗВТ за певних умов.

Похибки вимірювань виникають внаслідок різноманітних причин. Під час глибокого вивчення об'єкта і вимірювальної величини, покращення засобів вимірювальної техніки, способів їх використання, методів виконання вимірювань, корекції та опрацювання результатів тощо, вплив похибок на результат вимірювання зменшується і, похибка вимірювання зменшується. Тому в наведеному рівнянні похибки залишаються дві невідомі величини - похибка та істинне значення вимірюваної величини  $X$  (інакше відпала би

потреба у вимірюванні). Отже, теоретично за відомого результату вимірювання  $x$  неможливо визначити ні істинне значення величини, ні фактичне значення похибки. Оскільки абсолютно точне вимірювання неможливе, тому неможливо точно визначити похибку вимірювання, що є одним з основних протиріч вимірювань.

На практиці, щоб вийти з цього протиріччя, визначають не точне значення похибки вимірювання, а оцінюють певні її характеристики, тобто деякий інтервал, в якому вона може знаходитися. При цьому цей інтервал може бути з безумовними границями, в тому сенсі, що ні за яких умов похибка вимірювання не вийде з цього інтервалу, або з м'якими, чи умовними (імовірнісними, довірчими) границями, в тому сенсі, що похибка вимірювання знаходиться в цьому інтервалі лише з певною ймовірністю.

Кінцевою метою аналізу похибок вимірювань є оцінювання границь (умовних чи безумовних), в яких знаходиться фактичне значення похибки. Вважається, що результат вимірювання разом з інтервалом, визначеним границями похибки вимірювання, з певною ймовірністю покриває справжнє значення вимірюваної величини.[3]

Відхилення результату вимірювання  $x$  від істинного (справжнього) значення  $X$  вимірюваної величини, є означенням власне абсолютної похибки. Одиницею абсолютної похибки — одиниця вимірюваної величини.

Для порівняння якості вимірювань різних значень однієї величини або різних вимірюваних величин абсолютна похибка є не зручною. Для кількісної характеристики якості вимірювання в таких випадках використовують відносну похибку, теоретично як відношення абсолютної похибки до істинного значення вимірюваної величини, або практично — до вимірюваного значення

$$\delta = \frac{\Delta}{X} \cong \frac{\Delta}{x}$$

оскільки істинне значення залишається невідомим. Різниця між теоретичними та практичними значеннями відносної похибки нехтовно мала: відносну похибку виражають у відсотках ( $\delta_{\%} = \delta * 100$ ), часом у так званих *ppm* (одна мільйонна частка,  $\delta_{ppm} = \delta * 10^6$ ) або залишають у відносних одиницях.

*Інструментальні похибки* – зумовлені недосконалістю засобів вимірювальної техніки та залежність їх властивостей від впливу зовнішніх умов. Серед усіх інших можливих складових інструментальна похибка вимірювання є завжди присутньою.

Засоби вимірювальної техніки використовують в певних умовах. Сюди входять температура навколишнього середовища, його тиск, вологість, напруженість магнітного та електростатичного поля, інтенсивність електромагнітного поля, рівень випромінювання, механічних вібрацій, струсів та ударів, певне просторове положення та інші. Хоча ці величини не вимірюються даним ЗВТ, вони впливають на його характеристики, змінюючи показники або інші характеристики. Їх називають впливними величинами. Для кожної з впливних величин встановлюють нормальні значення або область нормальних значень (нормальні умови), а також область робочих значень (робочі умови). Для кожного типу ЗВТ регламентують вид впливних величин і конкретні їх нормальні та робочі області значень.

*Методичні похибки* пов'язані з невідповідними моделями вимірюваних об'єктів і їх величин, включаючи спрощення залежностей та через взаємодію вимірювального обладнання та об'єктів. В певних вимірюваннях методичні похибки можуть бути великими – до 10, 100% більше, а в інших настільки малими, що ними можна знехтувати. Наприклад, при вимірюванні сили змінного електричного струму в провіднику найчастіше приймається його гармонічна модель. Крім того, дія зовнішнього електромагнітного поля спричиняється до наведення електричних завад в провіднику в різних частотних діапазонах. У провіднику генеруються також власні температурно

залежні електричні шуми. Зовнішні наведення та внутрішні шуми за певних умов (наприклад, низький рівень струму) можуть суттєво спотворити вимірюваний струм. При вимірюванні струму, недотримання цих ефектів також може призвести до значної похибки вимірювання.

Сталі та регулярні змінні належать до систематичних похибок. Регулярність полягає в тому, що дослідженнями можна вивчити закономірності часової зміни похибки, і ця закономірність протягом майбутнього часу загалом зберігається і може бути використана для зменшення впливу похибок. Серед регулярних виділяють прогресуючі, які практично лінійно змінюються в часі (зростають чи спадають), періодичні, наприклад, що змінюються за гармонічним законом. Регулярність похибки забезпечується лише протягом певного часу, и одних випадках довшого, а в інших – коротша закономірність змінної часу систематичної похибки може бути описана у вигляді часової функції чи графіка. Систематичні помилки є найбільш небезпечними, оскільки вони залишаються незмінними під час вимірювань, особливо при повторних вимірюваннях показ приладу залишається незмінним.

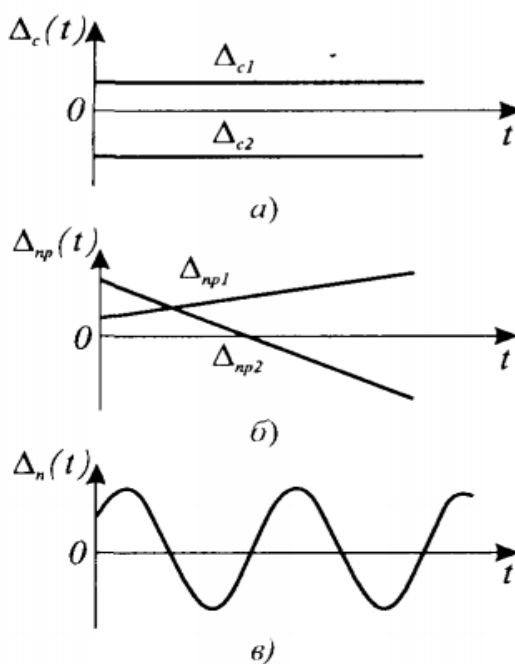


Рис.3.4. Систематичні (а), прогресуючі (б) та періодичні (в) похибки вимірювань

Похибки, що змінюються в часі нерегулярно— випадкові похибки, а їх майбутні значення можна прогнозувати лише з певною часткою ймовірності. Результати вимірювань, що спотворені випадковими похибками, змінюються хаотично. Незважаючи на хаотичну зміну послідовних значень випадкових похибок, вони характеризуються стабільністю певних властивостей (усереднених показників у часі), наприклад, частість появи тих чи інших значень, середнього та середнього квадратичного відхилення від середнього значення, статистичного взаємозв'язку між значеннями через певний інтервал часу тощо. Такі властивості випадкових похибок використовують для зменшення їх впливу на результат вимірювання.[3]

### **3.3.2. Похибки паливомірів**

Основні інструментальні похибки паливомірів виникають за рахунок зміни параметрів електричної схеми в залежності від температури навколишнього середовища і відхилень розмірів баків від номінальних даних, прийнятих при калібруванні показчиків. Загальна приведена похибка поплавкових паливомірів досягає  $\pm 5\%$  в робочому діапазоні шкали. При експлуатації поплавкових паливомірів можливі наступні основні дефекти: порушення герметичності датчика, втрата контакту між движком і потенціометром, забруднення контактів системи сигналізації, деформація важелів і повідка передавального механізму і втрата плавучості поплавця через його розгерметизації.

З метою усунення основної методичної похибки і для створення показчика з рівномірною шкалою каркас опору профілюють з урахуванням функціональної залежності обсягу палива в баку від його рівня. Решта методичних похибок поплавцевих паливомірів визначаються або прискореннями, що діють на поплавок, або еволюціями ЛА та прогином крил, в яких знаходяться паливні баки, під дією аеродинамічних сил.

Електроємнісні паливоміри мають ряд методичних похибок. Основні з них визначаються: діями прискорень і еволюціями ЛА, коли відбувається

перерозподіл палива в баку; зміною ємності датчика, а також провідністю датчика і кабелю, що з'єднує датчик з вимірювальною частиною паливоміра, що відбувається в основному через забруднення ізоляторів струмопровідними опадами, що виділяються з плином часу з палива; невідповідністю профілювання датчика розмірами поперечного перерізу конкретного бака. Для зменшення першої похибки вимірювання запасу палива рекомендують проводити тільки при горизонтальному польоті, а також ставлять в бак кілька датчиків, ємності яких включені паралельно. Для зменшення другої похибки в деяких типах паливомірів застосовують збільшену частоту живлення основного і компенсаційного мостів. Інструментальні похибки електроємнісних паливомірів малі, і ними в порівнянні з розглянутими похибками можна знехтувати.

Основна приведена похибка в нормальних умовах паливоміра типу СПУП становить + 2%. Перевірку працездатності електроємнісних паливомірів забезпечують вбудовані системи контролю.[9]

### **3.3.3. Похибки ємнісних датчиків**

Похибка вимірювання, що зумовлена нестабільністю ємнісного коефіцієнта палива компенсується за допомогою терморезистора або спеціального конденсатора, які безперервно знаходяться в паливі. В існуючих паливомірах це робиться за допомогою профілювання датчиків механічним способом. Похибка при цьому може досягати 1,44%, до того ж початкова ємність датчиків з технологічних причин не може бути отримана з похибкою менш ніж  $\pm 1\%$ . Так як паливомір вимірює масу палива, то в ємнісному датчику виникає методична похибка через відхилення значення діелектричної проникності палива від стандартного значення при нормальних умовах, а також внаслідок зменшення температури палива, при цьому паливо в баках має не однакову діелектричну проникність на різних рівнях, тому проникність одного сорту палива може відрізнятися на  $\pm 1,96\%$ , а від сорту до сорту на 6,25%. Також похибка в датчиках виникає через перетікання палива під час еволюцій

ЛА (крен, тангаж), похибка зростає при зменшенні висоти палива і збільшенні кутів крену і тангажу.[14]

## **ВИСНОВКИ**

Вимірювання рівня рідини відіграє важливу роль при автоматизації технологічних процесів у багатьох галузях промисловості, в тому числі коли необхідно точно знати рівень рідини при безпечній роботі. Так як в даний час використовуються ємнісні сигналізатори рівня для різних цілей, перевагою яких є спрацьовування при підході рівня середовища до електрода (або при його зануренні в середовище), тому в даній роботі використовується саме такий вид сигналізатора.

У першому розділі було розглянуто типи та класифікацію датчиків, серед яких розрізняють такі види: ємнісні датчики наближення, лінійних та кутових

переміщень, тиску, та рідини. Також представлено області застосування ємнісних датчиків, та основні переваги та недоліки використання таких датчиків.

У другому розділі було розглянуто методи вимірювання запасу палива на борту ЛА, серед яких найбільшого застосування в авіації отримали поплавковий та електроємнісний; принцип дії паливомірів, що ґрунтується на вимірюванні електричної ємності датчика-конденсатора, яка змінюється при зміні кількості палива; представлено принципи автомату вирівнювання, та автоматичної частини паливної системи.

У третьому розділі було розроблено структурну схему ємнісного сигналізатора автоматизованої паливовимірювальної системи, а також вибрані та розраховані елементи схеми, таким чином, щоб вимірювальний міст був збалансований при рівні палива наполовину заповненого бака. Було проведено розрахунок ємнісного багатотрубного датчика з коаксіальним положенням труб, та визначено статистичні характеристики відносно розрахованих ємностей датчика. Відповідно до цього було розглянуто трьохелектродні датчики, які є малогабаритними, і відповідно з малою початковою ємністю  $C_0$ , що включені в схему трансформаторних мостів. Основна перевага таких систем є велика чутливість і висока точність вимірювання, і при розрахунку початкової ємності двотрубного датчика з ізоляційним покриттям труб, береться до уваги сумарна ємність трьох послідовно включених конденсаторів, з різними ємностями та діаметрами, і далі було розглянуто електричну схему датчика з двошаровим діелектриком, частково заповненого рідиною, де поточна ємність датчика, вимірюючого висоту рівня електропровідної рідини, визначається сумою загальних ємностей 2 паралельних віток. Також було приведено загальний опис похибок результату вимірювання, паливомірів та ємнісних датчиків.

В результаті дипломної роботи, було розроблено схему сигналізатора рівня авіапалива, на основі ємнісного датчика, який має такі переваги як:



простота виготовлення, низьке споживання енергії, довгий термін експлуатації, та простота пристосування форми датчика до різних завдань і конструкцій.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Прилади для вимірювання рівня [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: <https://studfile.net/preview/3906536/>
2. Датчики для контролю рівня речовин [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: [http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/009/TA/rozd2\\_3.htm](http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/009/TA/rozd2_3.htm)

3. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / [Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін.]; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Видавництво —Бескид Біт, 2003. – 544 с.
4. Ємнісні датчики [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: <http://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/440-emkostnye-datchiki.html#:~:text=Емкостные%20датчики%20применяются%20для%20контроля,д>
5. Види ємнісних датчиків [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: <https://www.owenkomplekt.ru/emkostnye-datchiky.html>
6. Ємнісні датчики [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: <https://teko.by/catalog-emkostnye-datchiki>
7. Ємнісні датчики. Види і пристрій. Робота і застосування [Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/emkostnye-datchiki/>
8. Ємнісні датчики і принципи їх роботи[Електронний ресурс] – Режим доступу до статті: <https://osensorax.ru/posiciya/emkostnoj-datchik>
9. Воробьев В.Г, Глухов В.В., Кадышев И.К. Авиационные приборы, информационно измерительные системы и комплексы. Учебник для ВУЗов. — М.: Транспорт, 1992. — 399с.
10. Анненков Н.П. Приборное оборудование самолета и его летная эксплуатация. Учебное пособие для слушателей Центра ГА СЭВ и УТО управлений ГА. - М.: Воздушный транспорт, 1984. — 160 с.
11. Характеристики датчиків [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <http://www.svaltera.ua>
12. Ємнісний датчик рівня [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <http://www.simpletech.ua>

13. Авиационные приборы. Пособие по курсовому проектированию/Под редакцией Шершуна. Киев, КИИГА, 1971. – 168 с.
14. Аналіз вимірювальних систем різних типів [Електронний ресурс]: Режим доступу до ресурсу: <https://tran.bobrodobro.ru/15297>
15. Патент ВУ 2288 У, МПК G 01 F 23/24, 23/26, оп 2005