

Державний університет "Львівська політехніка"

На правах рукопису

УДК 621.3(075.8)

ЯЦУН

Андрій Михайлович

**КВАЗИСТАЦІОНАРНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ
ТА ПАРАМЕТРИЧНА ЧУТЛИВІСТЬ
СМІСНИХ ЕКРАНОВАНИХ ДАВАЧІВ**

Спеціальність 05.09.05 - Теоретична електротехніка

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів - 1997



621.3.01+
621.314
Дисертацією є рукопис.
Робота виконана в Українському державному лісотехнічному університеті.

Наукові керівники: академік АНТК, доктор технічних наук,
професор **Гірник Микола Лукич**

кандидат технічних наук, доцент
кафедри АВП, Е і Т УкрДЛТУ
Кенс Ігор Романович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
професор **Чабан Василь Йосипович**
кандидат технічних наук,
доцент **Матвійчук Ярослав Миколайович**

Провідна установа: фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

Захист дисертації відбудеться "28" березня 1997р. о год. 15 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 04.06.19 при державному університеті "Львівська політехніка" за адресою: 290646, Львів, вул. С. Бандери, 12.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці ДУ "Львівська політехніка" (290646, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розіслано "27" лютого 1997р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент

О. І. Шегедин

AB - 37.058³

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Дисертаційна робота присвячена дослідженню квазістаціонарного електричного поля і параметричних чутливостей ємнісних екранованих давачів з компланарними електродами на узагальненій розрахунковій моделі з об'єктом контролю у формі шарового недосконалого діелектрика. Вона доповнює клас відомих аналітичних методів розрахунку електричних полів на випадок накладних та прохідних екранованих ємнісних давачів з багатошаровим слабоелектропровідним середовищем, які захищені екраном від впливу зовнішніх електромагнітних полів завод.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Розвиток ринкових відносин і входження України в єдину ринкову економіку міжнародного співтовариства вимагає випуску продукції, якість якої відповідає світовим стандартам. Тому виникає необхідність неперервного вдосконалення методів і засобів неруйнівного контролю та діагностики якості матеріалів і виробів. Одним із способів неруйнівного контролю та діагностики фізико-механічних параметрів матеріалів і виробів є метод з використанням ємнісних первинних перетворювачів. У відомій літературі розглядаються електричні поля між електродами неекранованих давачів переважно у випадку одно- і двошарового об'єкта контролю, в той час як у більшості практичних випадків такі давачі захищені від впливу зовнішніх завод провідними екранами, які суттєво впливають на форму поля і результати вихідної інформації, а також дозволяють значно підвищити чутливість, точність і достовірність контролю. Крім того, об'єкт контролю розглядається як ідеальний діелектрик, а реальні діелектрики та напівпровідники і вироби з них, які підлягають контролю, мають відмінну від нуля електричну провідність.

В методах та засобах неруйнівного контролю здебільшого викриваються стаціонарні режими роботи ємнісних давачів і відповідно розрахунок електричних полів здійснюється для цих режимів. Використання нестационарного режиму для давачів даного класу дозволяє суттєво розширити спектр інформативних величин шляхом одночасного поєднання дієлькометричних та кондуктометричних способів неруйнівного контролю і створити ефективну систему автоматичного багатопараметрового неруйнівного контролю і діагностики слабоелектропровідних матеріалів та виробів. Тому актуальним є питання аналізу та розрахунку квазістаціонарного електричного поля в екранованих ємнісних давачах з реальними багатошаровими діелектриками в нестационарних режимах їх роботи.

МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є дослідження електричного поля, визначення скалярного потенціалу, перехідної провідності і ємності та параметричних чутливостей ємнісних екранованих давачів з компланарними електродами і шаровим слабоелектропровідним середовищем у квазістаціонарному режимі їх роботи, виявлення моментів відбору багатопараметрової інформації, а також формулювання рекомендацій стосовно можливостей практичного застосування одержаних результатів у

засобах неруйнівного контролю та діагностики характеристик слабоеклектропровідних матеріалів і виробів.

Для досягнення цієї мети розглято наступні питання:

1. Аналітичне дослідження квазістаціонарного електричного поля накладного і прохідного екранованих ємнісних давачів з компланарними електродами і багат шаровим слабоеклектропровідним середовищем-об'єктом контролю з отриманням загального розв'язку рівняння Лапласа у вигляді рядів Фур'є або Фур'є-Бесселя.

2. Аналіз перехідних провідності і ємності та параметричних чутливостей накладного екранованого ємнісного давача у формі диска з шайбою над одношаровим слабоеклектропровідним середовищем з повітряним проміжком.

3. Аналіз інформативних величин - перехідної напруги і струму та їх параметричних чутливостей, а також обґрунтування рекомендацій щодо відбору інформації при власних загасаючих коливаннях у первинному вимірному електричному колі з ємнісним давачем.

4. Оцінка точності розрахунків та адекватності аналітичного методу аналізу і розрахунку квазістаціонарного електричного поля в накладних екранованих ємнісних давачах з шаровим слабоеклектропровідним об'єктом контролю.

НАУКОВА НОВИЗНА РОБОТИ:

-запропоновані та обґрунтовані узагальнені розрахункові моделі екранованих накладного та прохідного ємнісних давачів з шаровим слабоеклектропровідним об'єктом контролю;

-розроблений метод аналізу та розрахунку квазістаціонарного електричного поля в накладних і прохідних ємнісних давачах на основі розкладу розв'язків рівняння Лапласа для скалярного потенціалу електричного поля в ряди Фур'є або Фур'є-Бесселя;

-визначені перехідні провідності і ємності та чутливості давачів до основних параметрів об'єкта контролю з їх подальшим аналізом;

-запропоновано використання імпульсного режиму роботи давача з формуванням власних загасаючих коливань у первинному вимірному колі, на основі чого сформульовані рекомендації щодо відбору багатопараметрової інформації про первинні параметри об'єкта контролю.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При дослідженнях використані диференціальні рівняння скалярного потенціалу квазістаціонарного електричного поля у декартовій і циліндричній системах координат, ряди Фур'є та Фур'є-Бесселя, рівняння математичної фізики.

ВИХІДНІ ПРИПУЩЕННЯ:

-електричне поле давача вважається квазістаціонарним, тобто нехтуються хвильові процеси у системі;

-у слабоеклектропровідному середовищі нехтується впливом змінного магнітного поля на електричне;

-у щілині між потенціальним і заземленим електродами потенціал розподіляється аналогічно, як і у випадку між паралельним круговими провідниками двопровідної лінії.

НА ЗАХИСТ ВІНОСЯТЬСЯ:

-узагальнені розрахункові моделі екранованих накладного та прохідного ємнісних давачів з компланарними електродами і шаровим слабоелектропровідним об'єктом контролю;

-метод аналізу та розрахунку квазістаціонарного електричного поля у запропонованих моделях накладного та прохідного екранованих ємнісних давачів з компланарними електродами;

-перехідні провідності і ємності та їх чутливості до основних параметрів слабоелектропровідних матеріалів і виробів у квазістаціонарному режимі роботи ємнісного давача при аперіодичному перехідному процесі та власних загасаючих коливаннях;

-рекомендації щодо моментів відбору інформації про основні первинні параметри об'єкта контролю.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ РОБОТИ:

-запропоновано використання нестационарного режиму роботи ємнісних давачів, зокрема власних загасаючих коливань для виділення інформаційних величин про основні параметри об'єкта контролю (за результатами роботи подані дві заявки у Держпатент України на спосіб (реєстр. № 96052145) і прилад (реєстр. № 96052146) для здійснення неруйнівного електричного контролю фізико-механічних параметрів матеріалів і виробів ємнісним методом у нестационарному режимі їх роботи);

-подані рекомендації щодо моментів відбору інформативних величин за відповідними критеріями;

-розроблений пакет прикладних програм розрахунку характеристик накладного екранованого ємнісного давача з одношаровим недосконалим об'єктом контролю при наявності повітряного проміжку.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ

Основні результати наукових досліджень доповідались і обговорювались на 6 національних та 3 міжнародних конференціях і семінарах, зокрема на:

- "SPETO'96",- 19-th Seminar on Fundamentals of Electrotechnics and Circuit Theory, Glivice, Poland, 1996;

- "Електромеханіка. Теорія і практика",- науково-технічна конференція з міжнародною участю, Львів, 1996;

- "Проблеми автоматизації лісопромислового комплексу",- міжнародна науково-практична конференція, Львів, 1996;

СТРУКТУРА ТА ОГЛЯД РОБОТИ

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести основних розділів, підсумків і списку літератури, викладених на 152 сторінках з 42 рисунками та 4 таблицями. У переліку літератури наведено 201 джерело.

У **ВСТУПІ** визначено актуальність теми, проблематику дисертаційної роботи, розглянута структура роботи, вказано її наукову новизну, практичну цінність та питання, які виносяться на захист.

У ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ дисертації проведений порівняльний огляд відомих методів аналізу і розрахунку електричних полів у ємнісних давачах і аналіз задач ємнісного методу неруйнівного контролю. Проаналізовані також основні типи ємнісних давачів і особливості проведення ними неруйнівного контролю та сформульовані завдання дисертаційної роботи.

У ДРУГОМУ РОЗДІЛІ обґрунтовані розрахункові моделі, розкриті граничні умови на поверхні розділу недосконалих діелектриків та проведений теоретичний аналіз квазістаціонарного електричного поля в накладних та прохідних екранованих ємнісних давачах з шаровим слабоелектропровідним середовищем.

Розрахункова модель накладного давача (рис.1) представлена у вигляді компланарних соосних електродів з коловими краями над багат шаровим недосконалим середовищем із замкненим екраном у формі соосного циліндра з двома круговими віками. Така модель максимально наближена до реальних ємнісних давачів з екраном для захисту від завад зовнішніх електромагнітних полів і є узагальненою у порівнянні з відомими моделями, бо вона враховує наявність екрана, поширюється на багат шарове слабоелектропровідне середовище та охоплює (поєднує) давачі з одностороннім і двостороннім доступом.

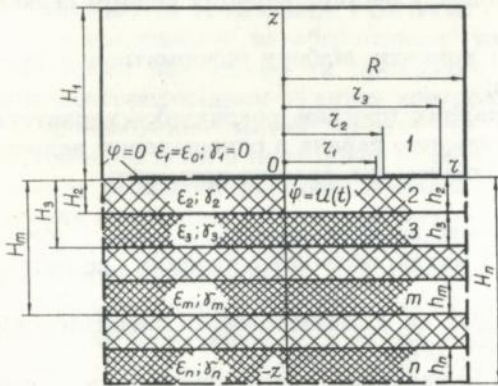


Рис.1. Узагальнена розрахункова модель накладного екранованого ємнісного давача з компланарними електродами у формі диска з шайбою над багат шаровим слабоелектропровідним об'єктом контролю, де ϵ_m - діелектрична проникність і γ_m - питомо електрична провідність m -го шару

має вигляд:

$$E_{2N}(\rho) = \frac{\gamma_1 + p\epsilon_1}{\gamma_2 + p\epsilon_2} E_{1N}(\rho)$$

і відповідно в оригіналі:

$$E_{2N}(t) = \frac{\gamma_1}{\epsilon_2} \left(1 - \frac{\epsilon_1 \gamma_2}{\epsilon_2 \gamma_1} \right) \int_0^t e^{-\frac{\gamma_2(t-\tau)}{\epsilon_2}} E_{1N}(\tau) d\tau + \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} E_{1N}(t).$$

Граничні умови на циліндричній поверхні екрана витримуються шляхом розкладу рівняння поля (Лапласа) у ряд Фур'є-Бесселя, а на верхньому та нижньому віках екрана і між шарами недосконалого діелектрика - з граничних умов на поверхні розділу неоднорідних недосконалих діелектриків, розкриваючи які отримаємо зв'язок у часі між нормальними складовими вектора напруженості електричного поля E_{1N} та E_{2N} , який в операторній формі за нульвих початкових умов

Для спрощення аналізу електричного поля прийнято, що у площині електродів (рис.1) потенціал між електродами ($r_1 \leq r \leq r_2$) розподіляється аналогічно як і у випадку між прямолінійними круговими провідниками двопровідної лінії:

$$\Phi_{012} = \int_{012}(r)u(t) = \frac{u(t)}{2} \left\{ 1 + \frac{\ln[(r_2 - r + \delta)/(r - r_1 + \delta)]}{\ln[(r_2 - r + \delta)/\delta]} \right\}, \quad \text{де}$$

$u(t)$ - напруга, під якою знаходиться потенціальний електрод відносно заземленого;

$$\delta = \left[\sqrt{(r_2 - r_1)(r_2 - r_1 + 2d)} + r_1 - r_2 \right] / 2, \quad d - \text{товщина електрода.}$$

Дослідимо змінне електричне поле у розрахунковій моделі (рис.1), беручи до уваги вихідні припущення. Змінне електричне поле в кожному з шарів $m = 0, 1, 2, 3, \dots, m, \dots, n$ описується рівнянням Лапласа для скалярного потенціалу Φ , яке у циліндричній системі координат r, α, z з урахуванням осової симетрії набуває вигляду:

$$\Delta\Phi = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0$$

і має наступний розв'язок:

$$\Phi_m = \sum_{i=1}^{\infty} [A_{m1} e^{n_i z} + A_{m2} e^{-n_i z}] J_0(n_i r), \quad \text{де}$$

J_0 - функція Бесселя першого роду нульового порядку; $n_i = \lambda_i/R$; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots$ - корені рівняння $J_0(\lambda) = 0$.

Сталі інтегрування A_{m1} і A_{m2} визначено з граничних і краєвих умов в операторній формі (перетворення за Лапласом часових залежностей):

при $z = 0$: $\Phi_1(p) = \Phi_0(p)$ або $U(p)\alpha_{0i} = A_{11} + A_{12}$;

і $\Phi_2(p) = \Phi_0(p)$ або $U(p)\alpha_{0i} = A_{21} + A_{22}$;

при $z = H_1$: $\Phi_1(p) = 0$ або $A_{11} e^{n_i H_1} + A_{12} e^{-n_i H_1} = 0$;

при $z = -H_2$: $\Phi_3(p) = \Phi_2(p)$ або $A_{31} e^{-n_i H_2} + A_{32} e^{n_i H_2} = A_{21} e^{-n_i H_2} + A_{22} e^{n_i H_2}$;

$$(\gamma_3 + p\epsilon_3) \left[\frac{\partial \Phi_3(p)}{\partial z} \right]_{z=-H_2} = (\gamma_2 + p\epsilon_2) \left[\frac{\partial \Phi_2(p)}{\partial z} \right]_{z=-H_2} \quad \text{або}$$

$$(\gamma_3 + p\epsilon_3) [A_{31} e^{-n_i H_2} - A_{32} e^{n_i H_2}] = (\gamma_2 + p\epsilon_2) [A_{21} e^{-n_i H_2} - A_{22} e^{n_i H_2}];$$

при $z = -H_m$: $\Phi_{m+1}(p) = \Phi_m(p)$ або

$$A_{m+1,1} e^{-n_i H_m} + A_{m+1,2} e^{n_i H_m} = A_{m1} e^{-n_i H_m} + A_{m2} e^{n_i H_m};$$

$$(\gamma_{m+1} + p\epsilon_{m+1}) \left[\frac{\partial \Phi_{m+1}(p)}{\partial z} \right]_{z=-H_m} = (\gamma_m + p\epsilon_m) \left[\frac{\partial \Phi_m(p)}{\partial z} \right]_{z=-H_m} \quad \text{або}$$

$$(\gamma_{m+1} + p\epsilon_{m+1}) [A_{m+1,1} e^{-n_i H_m} - A_{m+1,2} e^{n_i H_m}] = (\gamma_m + p\epsilon_m) [A_{m1} e^{-n_i H_m} - A_{m2} e^{n_i H_m}];$$

при $z = -H_n$: $\Phi_n(p) = 0$ або $A_{n1} e^{-n_i H_n} + A_{n2} e^{n_i H_n} = 0, \quad \text{де}$

$a_{0i} = \frac{2I_0}{R^2 J_1^2(\lambda_i)}$ – коефіцієнти ряду Фур'є-Бесселя функції:

$$f_0(r) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq r \leq r_1, \\ f_{012}(r) & \text{при } r_1 \leq r \leq r_2, \\ 0 & \text{при } r_2 \leq r \leq r_3, \end{cases} \text{ розкладеної у проміжку } (0, R);$$

J_1 – функція Бесселя першого роду першого порядку;

$$I_0 = \int_0^R f_0(r) J_0(n_i r) r dr = \int_0^{r_1} J_0(n_i r) r dr + \int_{r_1}^{r_2} f_{012}(r) J_0(n_i r) r dr.$$

У випадку накладного екранованого ємнісного давача над одношаровим об'єктом контролю з повітряним проміжком визначено перехідний потенціал $\Phi_m(r, z, t)$ в усіх областях при дії одиничної напруги, вирази якого наведені у дисертації.

Відповідно зображення повного струму в ємнісному давачі над слабоелектропровідним об'єктом контролю визначається виразом:

$$\begin{aligned} I_c(p) &= \int_0^{r_1} \left\{ (\gamma_2 + p\epsilon_2) \left[\frac{\partial \Phi_2(p)}{\partial z} \right]_{z=0} - p\epsilon_0 \left[\frac{\partial \Phi_1(p)}{\partial z} \right]_{z=0} \right\} 2\pi r dr = \\ &= 2\pi r_1 U(p) \sum_{i=1}^{\infty} a_{0i} J_1(n_i r_1) \left\{ \frac{p\epsilon_0 [e^{2n_i H_1} + 1]}{e^{2n_i H_1} - 1} + (\gamma_2 + p\epsilon_2) \times \right. \\ &\times \left. \frac{[\gamma_2 + p(\epsilon_2 + \epsilon_0)](1 + e^{-2n_i H_2}) - [\gamma_2 + p(\epsilon_2 - \epsilon_0)](e^{-2n_i h} + e^{2n_i(h-H_2)})}{[\gamma_2 + p(\epsilon_2 + \epsilon_0)](1 - e^{-2n_i H_2}) - [\gamma_2 + p(\epsilon_2 - \epsilon_0)](e^{-2n_i h} - e^{2n_i(h-H_2)})} \right\}. \end{aligned}$$

За цим виразом визначається повний струм в ємнісному давачі $i_c(t)$ для конкретного виразу $U(p)$ шляхом оберненого перетворення за Лапласом. При дії напруги довільної форми і відомій перехідній провідності струм в ємнісному давачі визначається за допомогою інтеграла Дюамеля.

Аналітично проведений аналіз та отримані загальні розв'язки рівняння Лапласа для скалярного потенціалу електричного поля у вигляді одинарного ряду Фур'є від поперечної відносно електродів координати для випадку накладного давача з електродами у формі довгих компланарних пластин, розрахункова модель якого аналогічна і отримується із моделі на рис.1 шляхом заміни радіальної координати r на декартову x і розмірів r_1, r_2, r_3, R відповідно на x_1, x_2, x_3, X . Тоді загальний розв'язок рівняння Лапласа набуває вигляду:

$$\Phi_m = \sum_{i=1}^{\infty} [A_{m1} e^{n_i z} + A_{m2} e^{-n_i z}] \cos(n_i x), \quad \text{де } n_i = (2i - 1)\pi / 2X.$$

Сталі інтегрування A_{m1} і A_{m2} , як і у попередньому випадку, визначаються з відповідних граничних та краєвих умов.

Відповідно у випадку накладного екранованого ємнісного давача з електродами у формі компланарних пластин кінцевих розмірів розв'язки

отримані у вигляді подвійного ряду Фур'є від двох декартових координат - поперечної x і повздовжньої y :

$$\varphi_m = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} [A_{m1} e^{n_i z} + A_{m2} e^{-n_i z}] \cos(n_i x) \cos(n_k y), \quad \text{де } n_i = (2i-1)\pi/2X,$$

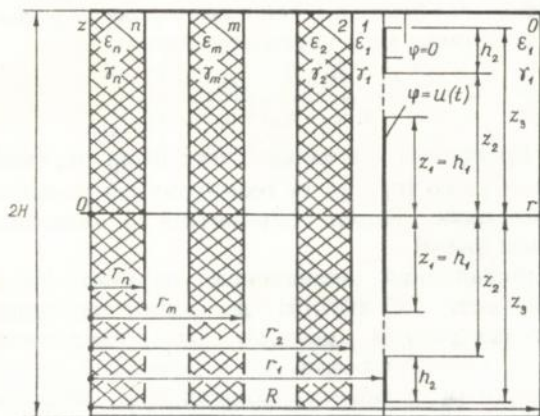


Рис.2. Узагальнена розрахункова модель прохідного екранованого ємнісного давача з соосними компланарними циліндричними електродами і багатощаровим слабоеклектропровідним об'єктом контролю

координати z , коефіцієнти якого залежать від радіальної координати r :

$$\varphi_m = \sum_{k=1}^{\infty} [A_{m1} I_0(n_k r) + A_{m2} K_0(n_k r)] \cos(n_k z), \quad \text{де } n_k = (2k-1)\pi/2H,$$

I_0 і K_0 - модифіковані функції Бесселя нульового порядку відповідно першого і другого роду; A_{m1} та A_{m2} - сталі інтегрування.

У ТРЕТЬОМУ РОЗДІЛІ визначена перехідна провідність для накладного екранованого ємнісного давача з компланарними електродами у формі диска з шайбою над одношаровим слабоеклектропровідним об'єктом контролю з повітряним проміжком:

$$Y(t) = 2\pi r_1 \sum_{i=1}^{\infty} a_{0i} J_1(n_i r_1) \left\{ \left[\varepsilon_0 \frac{a_3}{a_4} + \varepsilon_2 \frac{a_1(\varepsilon_2 + \varepsilon_0) - a_5(\varepsilon_2 - \varepsilon_0)}{a_2(\varepsilon_2 + \varepsilon_0) + a_6(\varepsilon_2 - \varepsilon_0)} \right] \delta(t) + \right. \\ \left. + \gamma_2 \frac{a_1 - a_5}{a_2 + a_6} + \frac{4\varepsilon_0^2 \gamma_2 a_7 (a_2 - a_6)}{[a_2(\varepsilon_2 + \varepsilon_0) + a_6(\varepsilon_2 - \varepsilon_0)]^2 (a_2 + a_6)} e^{-at} \right\}, \quad \text{де}$$

$\delta(t)$ - одинична імпульсна функція (функція Дірака) та прийняті такі позначення:

$n_k = (2k-1)\pi/2Y$. Сталі інтегрування A_{m1} і A_{m2} визначаються аналогічно з відповідних граничних і крайових умов.

Для випадку прохідного екранованого давача з компланарними соосними циліндричними електродами та багатощаровим слабоеклектропровідним об'єктом контролю (рис.2) за запропонованим методом проведений аналіз і отримані загальні розв'язки рівняння Лапласа для скалярного потенціалу електричного поля у кожному шарі ($m = 0, 1, 2, 3, \dots, m, \dots, n$) у вигляді одинарного ряду Фур'є від осьової

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 1 + e^{-2n_1 H_2}; & a_2 &= 1 - e^{-2n_1 H_2}; & a_3 &= 1 + e^{-2n_1 H_1}; \\
 a_4 &= 1 - e^{-2n_1 H_1}; & a_5 &= e^{-2n_1 h} + e^{2n_1(h-H_2)}; & a_6 &= e^{-2n_1 h} - e^{2n_1(h-H_2)}; \\
 a_7 &= e^{-2n_1 h} - e^{2n_1(h-2H_2)}; & a &= \frac{\gamma_2(a_2 + a_6)}{a_2(\epsilon_2 + \epsilon_0) + a_6(\epsilon_2 - \epsilon_0)}.
 \end{aligned}$$

З метою повнішої характеристики властивостей такого давача у квазістационарному режимі роботи визначена його перехідна ємність:

$$C(t) = 2\pi r_l \epsilon_2 \sum_{i=1}^{\infty} a_{0i} J_1(n_i r_l) \left\{ \frac{\epsilon_0 a_3}{\epsilon_2 a_4} + \frac{a_1 - a_5}{a_2 + a_6} + \frac{4\epsilon_0 a_7 (a_2 + a_6)^{-1} e^{-at}}{a_2(\epsilon_2 + \epsilon_0) + a_6(\epsilon_2 - \epsilon_0)} \right\}.$$

Проведений аналіз перехідних провідності та ємності при зміні окремих первинних параметрів об'єкта контролю (ϵ_2 , γ_2) та геометричних розмірів системи при фіксованих значеннях інших параметрів і наведені характерні результати у графічній формі.

ЧЕТВЕРТИЙ РОЗДІЛ присвячений визначенню параметричних чутливостей перехідних провідності та ємності до зміни основних електричних параметрів і геометричних розмірів для накладного екранованого ємнісного давача з компланарними електродами у формі диска з шайбою над одношаровим слабоелектропровідним об'єктом контролю з повітряним проміжком. Вони визначаються як похідні від перехідної провідності або ємності за відповідним параметром об'єкта контролю:

$$Y'_\gamma(t) = \frac{\partial[Y(t)]}{\partial\gamma_2} = 2\pi r_l \sum_{i=1}^{\infty} a_{0i} J_1(n_i r_l) \left\{ \frac{a_1 - a_5}{a_2 + a_6} + \frac{4\epsilon_0^2 a_7 (a_2 - a_6) \cdot (1 - at) \cdot e^{-at}}{[a_2(\epsilon_2 + \epsilon_0) + a_6(\epsilon_2 - \epsilon_0)]^2 (a_2 + a_6)} \right\};$$

$$\begin{aligned}
 Y'_\epsilon(t) = \frac{\partial[Y(t)]}{\partial\epsilon_2} &= 2\pi r_l \sum_{i=1}^{\infty} a_{0i} J_1(n_i r_l) \left\{ \delta(t) \left[\frac{a_1 a_2 (\epsilon_2 + \epsilon_0)^2 + 2a_9 (\epsilon_2^2 - \epsilon_0^2)}{[a_2(\epsilon_2 + \epsilon_0) + a_6(\epsilon_2 - \epsilon_0)]^2} - \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \frac{a_5 a_6 (\epsilon_2 - \epsilon_0)^2 + 4\epsilon_0 \epsilon_2 a_7}{[a_2(\epsilon_2 + \epsilon_0) + a_6(\epsilon_2 - \epsilon_0)]^2} \right] + \frac{4\epsilon_0^2 \gamma_2 a_7 (a_2 - a_6)}{[a_2(\epsilon_2 + \epsilon_0) + a_6(\epsilon_2 - \epsilon_0)]^4} \times \right. \\
 &\quad \left. \times [a_2(\gamma_2 t - 2(\epsilon_2 + \epsilon_0)) + a_6(\gamma_2 t - 2(\epsilon_2 - \epsilon_0))] \cdot e^{-at} \right\};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y'_h(t) = \frac{\partial[Y(t)]}{\partial h} &= 2\pi r_l \sum_{i=1}^{\infty} a_{0i} J_1(n_i r_l) \left\{ \left[\frac{16\epsilon_0^3 \gamma_2^2 n_i a_2 a_5 a_7 (a_2 - a_6) \gamma}{[a_2(\epsilon_2 + \epsilon_0) + a_6(\epsilon_2 - \epsilon_0)]^4 (a_2 + a_6)} + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + 8\epsilon_0^2 \gamma_2 n_i \left[\frac{[a_5 a_7 - a_8 (a_2 - a_6)] [a_2(\epsilon_2 + \epsilon_0) + a_6(\epsilon_2 - \epsilon_0)] (a_2 + a_6)}{[a_2(\epsilon_2 + \epsilon_0) + a_6(\epsilon_2 - \epsilon_0)]^3 (a_2 + a_6)^2} \right] \right\}
 \end{aligned}$$

$$+ \frac{a_5 a_7 (a_2 - a_6) [a_2 (3\varepsilon_2 - \varepsilon_0) + 3a_6 (\varepsilon_2 - \varepsilon_0)]}{[a_2 (\varepsilon_2 + \varepsilon_0) + a_6 (\varepsilon_2 - \varepsilon_0)]^3 (a_2 + a_6)^2} \Bigg] \cdot e^{-at} + \frac{4n_i \gamma_2 [a_8 - 2(a_1 - I)]}{(a_2 + a_6)^2} +$$

$$+ \frac{4n_i \varepsilon_2 (\varepsilon_2 - \varepsilon_0) [a_8 (\varepsilon_2 + \varepsilon_0) - 2(a_1 - I) (\varepsilon_2 - \varepsilon_0)]}{[a_2 (\varepsilon_2 + \varepsilon_0) + a_6 (\varepsilon_2 - \varepsilon_0)]^2} \delta(t) \Bigg\};$$

$$C'_\gamma(t) = \frac{\partial[C(t)]}{\partial\gamma_2} = 2\pi r_l \varepsilon_2 \sum_{i=1}^{\infty} a_{0i} J_1(n_i r_l) \frac{-4\varepsilon_0 a_7 t e^{-at}}{[a_2 (\varepsilon_2 + \varepsilon_0) + a_6 (\varepsilon_2 - \varepsilon_0)]^2};$$

$$C'_\varepsilon(t) = \frac{\partial[C(t)]}{\partial\varepsilon_2} = 2\pi r_l \varepsilon_2 \sum_{i=1}^{\infty} a_{0i} J_1(n_i r_l) \left\{ \frac{a_1 - a_5}{a_2 + a_6} + \right.$$

$$\left. + \frac{4\varepsilon_0 a_7 [\varepsilon_0 (a_2 - a_6) + \varepsilon_2 (a_2 + a_6) at] \cdot e^{-at}}{[a_2 (\varepsilon_2 + \varepsilon_0) + a_6 (\varepsilon_2 - \varepsilon_0)]^2 (a_2 + a_6)} \right\}, \text{ де}$$

$$a_8 = e^{-2n_i h} + e^{2n_i (h-2H_2)}; \quad a_9 = e^{-2n_i (h+H_2)} - e^{2n_i (h-H_2)}.$$

В цьому розділі проведений також аналіз чутливостей перехідних провідностей та ємності до зміни окремих первинних параметрів об'єкта контролю при фіксованих значеннях інших параметрів та наведені характерні результати в графічній формі. Декілька з них наведені на рис.3-7.

Контроль матеріалів та виробів у нестационарному режимі роботи давача базується на використанні вільної складової, яка володіє підвище-

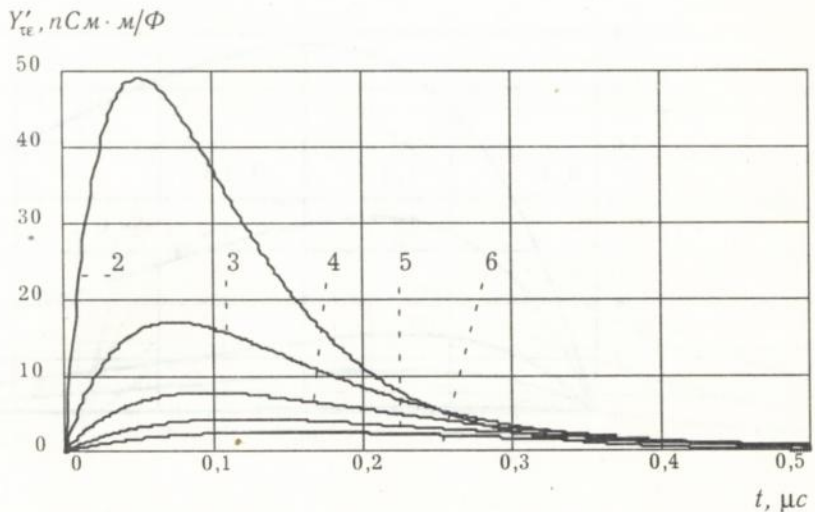


Рис.3. Чутливість параметричної складової перехідної провідності при різних значеннях відносної діелектричної проникності $\varepsilon_r = \varepsilon_2 / \varepsilon_0$

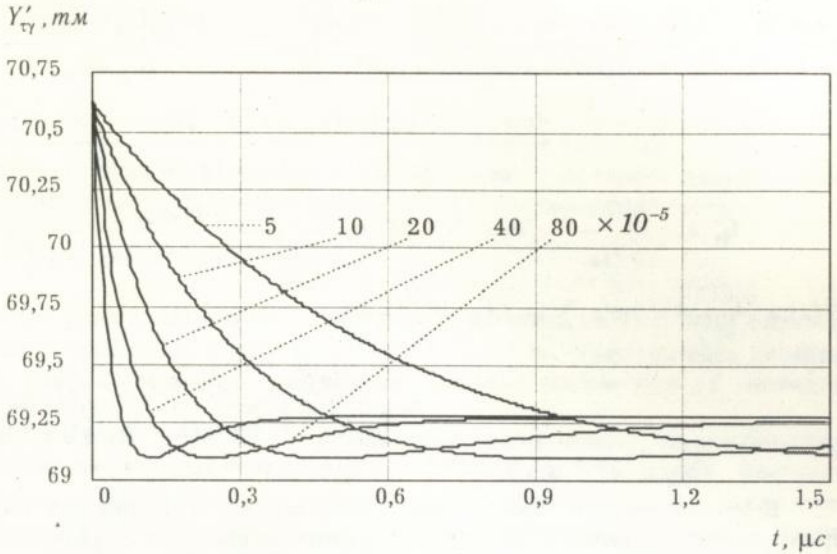


Рис.4. Чутливість параметричної складової перехідної провідності при різних значеннях питомої електричної провідності γ_2 в $\text{См}/\text{м}$.

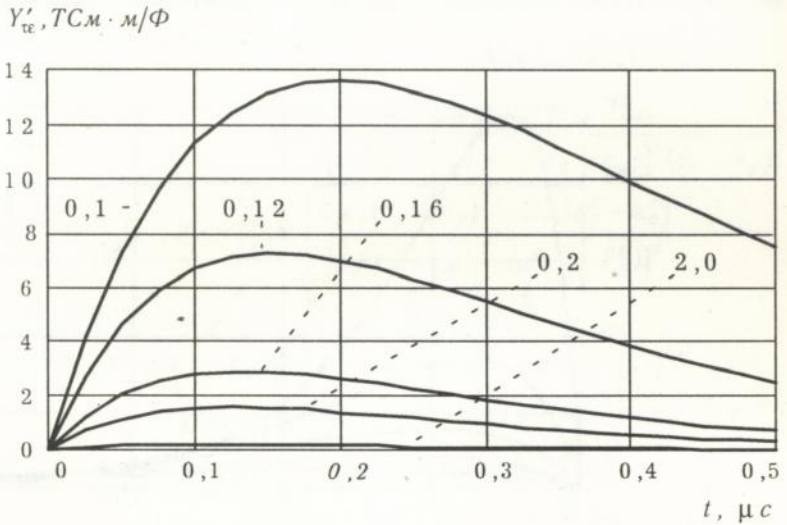


Рис.5. Чутливість параметричної складової перехідної провідності до діелектричної проникності при різних відносних значеннях висоти H_2^* захисного екрана знизу від поверхні об'єкта контролю ($H_2^* = H_2/r_1$)

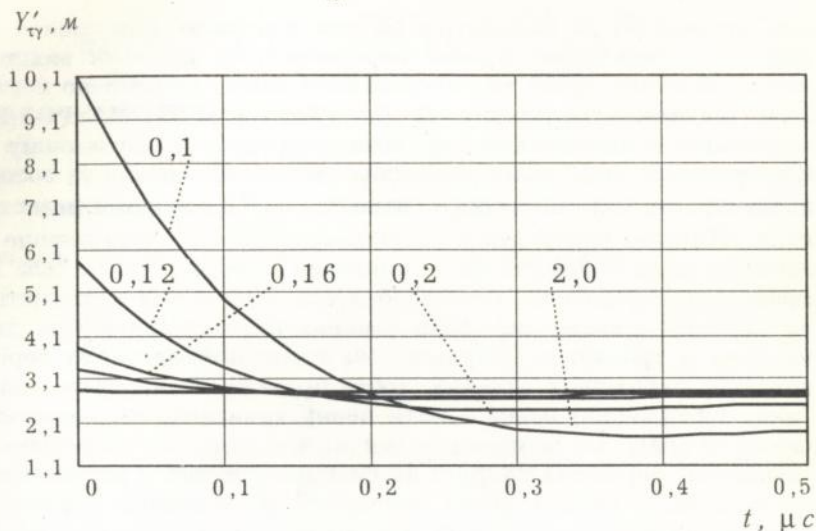


Рис.6. Чутливість параметричної складової перехідної провідності до питомої електропровідності при різних відносних значеннях висоти H_2^* захисного екрана знизу від поверхні об'єкта контролю ($H_2^* = H_2/r_1$)

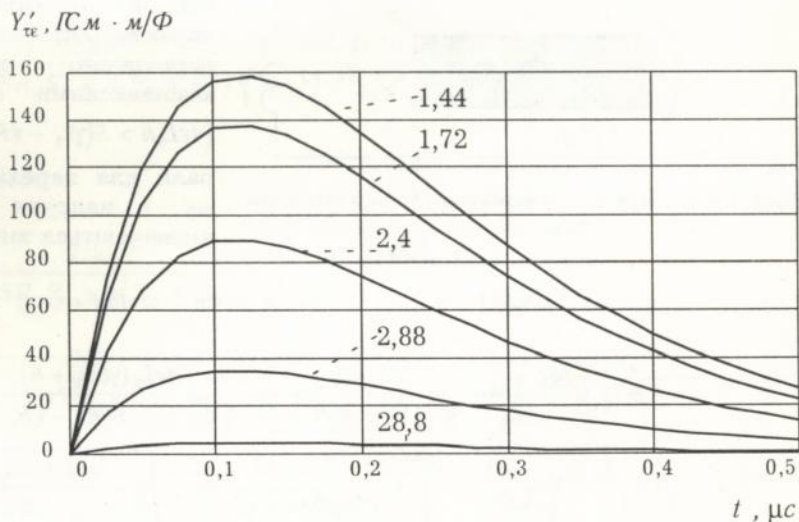


Рис.7. Чутливість параметричної складової перехідної провідності до діелектричної проникності при різних відносних значеннях радіуса R^* захисного екрана ($R^* = R/r_1$)

ною чутливістю до параметрів об'єкта контролю. Вимушений періодично повторний перехідний процес перспективний, оскільки вихідний інформативний сигнал дуже малої тривалості також періодично повторюється і легко піддається подальшій обробці. Тому у **П'ЯТОМУ РОЗДІЛІ** проведений аналіз вимушеного перехідного процесу у первинному вимірному електричному колі з ємнісним давачем та елементами із зосередженими параметрами: катушкою індуктивності (L_k, R_k) і вхідним резистором (R_0), коли об'єктом контролю є слабоектопровідне середовище (рис.8). У цьому ж розділі обґрунтоване живлення вимірного кола кола імпульсами прямокутної форми від мультівібратора. При цьому тривалість наростання (фронту) і спаду імпульсів повинна бути приблизно на два порядки меншою, а тривалість імпульса - на порядок більшою за період власних коливань перехідних величин, тобто прямокутні імпульси напруги живлення (збудження) повинні мати певну тривалість та достатньо крутий фронт та спад, які визначають імпульсну складову перехідних величин. Визначені перехідна напруга на ємнісному давачі у первинному вимірному колі та її параметричні чутливості до основних параметрів об'єкта контролю і на основі аналізу параметричних чутливостей сформульовані рекомендації щодо відбору інформації при загасаючих коливаннях у первинному вимірному електричному колі.

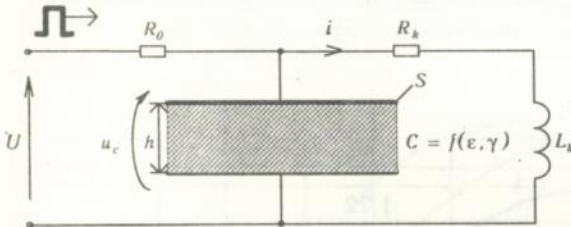


Рис.8. Схема первинного вимірного кола з ємнісним давачем

За початкових умов $u_c(0) = U_0$ та $i(0) = I_0$ у випадку, коли корені характеристичного рівняння перехідного процесу є комплексними спряженими ($4\epsilon L_k h > S(\gamma L_k - \epsilon R_k)^2$), вирази для перехідного струму і напруги на давачі визначаються виразами:

$$i = A e^{-\delta t} \sin(\omega t + \psi_i); \quad u_c = B e^{-\delta t} \sin(\omega t + \psi_u), \quad \text{де}$$

$$A = I_0 \sqrt{\frac{\gamma S R_k + h}{\omega^2 \epsilon S L_k}} = \frac{U h}{\gamma S R_0 R_k + h(R_0 + R_k)} \sqrt{\frac{4\epsilon L_k (\gamma S R_k + h)}{4\epsilon h L_k - S(\gamma L_k - \epsilon R_k)^2}};$$

$$B = U_0 \sqrt{1 + \left[\frac{\delta \epsilon S R_k - \gamma S R_k - h}{\omega \epsilon S L_k} \right]^2} = \frac{U h}{\gamma S R_0 R_k + h(R_0 + R_k)} \sqrt{S \left[4h\epsilon L_k - S(\gamma L_k - \epsilon R_k)^2 \right]};$$

$$\operatorname{tg} \psi_i = \frac{\sqrt{4\epsilon L_k (\gamma S R_k + h)}}{S(\gamma L_k + \epsilon R_k)} - 1; \quad \operatorname{tg} \psi_u = \frac{2\omega \epsilon S L_k R_k}{\epsilon S R_k^2 - 2h L_k - \gamma S L_k R_k};$$

$$\delta = \frac{\gamma L_k + \varepsilon R_k}{2\varepsilon L_k}; \quad \omega = \sqrt{\frac{\gamma S R_k + h}{\varepsilon S L_k} - \left(\frac{\gamma L_k + \varepsilon R_k}{2\varepsilon L_k}\right)^2}$$

Параметричні чутливості логарифмічного декримента загасання, частоти і амплітуди власних загасаючих коливань до зміни основних параметрів контролю (ε і γ) при коливному характері перехідного процесу у первинному вимірному колі та одиничній функції напруги джерела живлення мають вигляд:

$$\frac{\partial \delta}{\partial \gamma} = \frac{1}{2\varepsilon}; \quad \frac{\partial \delta}{\partial \varepsilon} = -\frac{\gamma}{2\varepsilon^2};$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \gamma} = \frac{S(\varepsilon R_k - \gamma L_k)}{2\varepsilon \sqrt{2\gamma \varepsilon S^2 L_k R_k + 4\varepsilon h S L_k - \gamma^2 S^2 L_k^2 - \varepsilon^2 S^2 R_k^2}};$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \varepsilon} = \frac{\gamma^2 S L_k - \gamma \varepsilon S R_k - 2\varepsilon h}{4\varepsilon^3 S L_k \sqrt{\frac{\gamma S R_k + h}{\varepsilon S L_k} - \left(\frac{\gamma L_k + \varepsilon R_k}{2\varepsilon L_k}\right)^2}};$$

$$\frac{\partial [Ae^{-\delta t}]}{\partial \gamma} = \frac{U h e^{-\delta t}}{\gamma S R_0 R_k + h(R_0 + R_k)} \sqrt{\frac{4\varepsilon L_k (\gamma S R_k + h)}{4\varepsilon h L_k - S(\gamma L_k - \varepsilon R_k)^2}} \times \left\{ \frac{S R_k}{2(\gamma S R_k + h)} + \frac{S L_k (\gamma L_k - \varepsilon R_k)}{4\varepsilon h L_k - S(\gamma L_k - \varepsilon R_k)^2} - \frac{S R_0 R_k}{\gamma S R_0 R_k + h(R_0 + R_k)} - \frac{t}{2\varepsilon} \right\};$$

$$\frac{\partial [Ae^{-\delta t}]}{\partial \varepsilon} = \frac{U h e^{-\delta t}}{\gamma S R_0 R_k + h(R_0 + R_k)} \sqrt{\frac{4\varepsilon L_k (\gamma S R_k + h)}{4\varepsilon h L_k - S(\gamma L_k - \varepsilon R_k)^2}} \times \left\{ \frac{\gamma t}{2\varepsilon^2} - \frac{S(\gamma^2 L_k^2 - \varepsilon^2 R_k^2)}{2\varepsilon [4\varepsilon h L_k - S(\gamma L_k - \varepsilon R_k)^2]} \right\};$$

$$\frac{\partial [Be^{-\delta t}]}{\partial \gamma} = \frac{U h e^{-\delta t}}{\gamma S R_0 R_k + h(R_0 + R_k)} \sqrt{\frac{4h L_k^2 (\gamma S R_k + h)}{S [4\varepsilon h L_k - S(\gamma L_k - \varepsilon R_k)^2]}} \times \left\{ \frac{S R_k}{2(\gamma S R_k + h)} + \frac{S L_k (\gamma L_k - \varepsilon R_k)}{4\varepsilon h L_k - S(\gamma L_k - \varepsilon R_k)^2} - \frac{S R_0 R_k}{\gamma S R_0 R_k + h(R_0 + R_k)} - \frac{t}{2\varepsilon} \right\};$$

$$\frac{\partial [Be^{-\delta t}]}{\partial \varepsilon} = \frac{U h e^{-\delta t}}{\gamma S R_0 R_k + h(R_0 + R_k)} \sqrt{\frac{4h L_k^2 (\gamma S R_k + h)}{S [4\varepsilon h L_k - S(\gamma L_k - \varepsilon R_k)^2]}} \times \left\{ \frac{\gamma t}{2\varepsilon^2} - \frac{2h L_k + S R_k (\gamma L_k - \varepsilon R_k)}{4\varepsilon h L_k - S(\gamma L_k - \varepsilon R_k)^2} \right\};$$

На основі аналізу отриманих виразів для чутливостей інформативних величин - коефіцієнта (логарифмічного декримента) загасання, частоти і амплітуди власних загасаючих коливань у вимірному колі до первинних параметрів об'єкта контролю, сформульовані основні рекомендації стосовно вибору інформації для неруйнівного контролю матеріалів та виробів за допомогою ємнісного давача:

1. Амплітуда першої півхвилі власних загасаючих коливань напруги на ємнісному давачі залежить головним чином лише від абсолютної діелектричної проникності і товщини об'єкта контролю приблизно за лінійним законом.

2. Коефіцієнт (логарифмічний декримент) загасання не залежить від товщини об'єкта контролю і змінюється прямо пропорційно до питомої електропровідності та обернено пропорційно до діелектричної проникності об'єкта контролю.

3. Початкові значення перехідних величин (I_0 , U_0) при вимиканні джерела постійної напруги, тобто усталені значення цих величин при вмиканні джерела живлення, змінюються приблизно прямо пропорційно до товщини і обернено пропорційно до питомої електропровідності об'єкта контролю.

У **ШОСТОМУ РОЗДІЛІ** подані результати обчислень розподілу потенціалу в площині розташування компланарних електродів (рис.9) і визначена похибка розрахунків у відносних одиницях, що дає змогу вибрати необхідну кількість членів ряду для розрахунку відповідної величини з заданою точністю. Показано, що приведена похибка розрахунків не перевищує 10%, 5%, 1% та 0,1% при кількості членів ряду Фур'є-Бесселя відповідно $i = 4, 8, 19$ та 31 .

Визначена залежність параметричних чутливостей від геометричних розмірів захисного екрана з розрахунком і аналізом цих залежностей. Показано, що в міру віддалення екрана від електродів та об'єкта контролю його вплив на характеристики давача зменшується за експоненціальним законом, причому нижній і верхній диски циліндричного екрана впливають слабше, ніж його циліндрична частина, що пояснюється формою поля між потенціальним електродом і заземленими електродом та екраном.

У цьому ж розділі проведена перевірка адекватності аналітичного методу аналізу та розрахунку квазістаціонарного електричного поля накладних екранованих ємнісних давачів з шаровим слабоелектропровідним об'єктом контролю. Для оцінки рівня адекватності проведені розрахунки ємності накладного екранованого ємнісного давача з одношаровим об'єктом контролю за виразом:

$$C_{\text{н}} = C(\infty) = 2\pi r_1 \sum_{i=1}^{\infty} a_{0i} J_1(n_i r_1) \left[\epsilon_0 \frac{a_3}{a_4} + \epsilon_2 \frac{1 + e^{-2n_i h}}{1 - e^{-2n_i h}} \right],$$

який впливає з загальної формули для перехідної ємності при гранично-

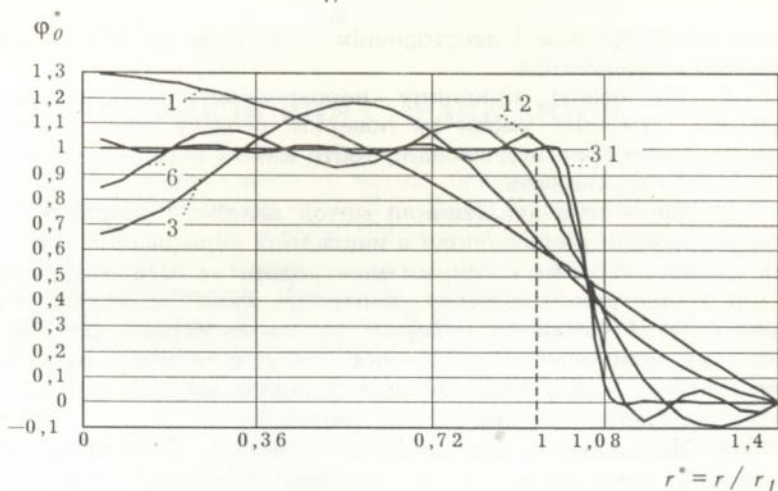


Рис.9. Розподіл потенціалу вздовж радіальної координати у площині розташування компланарних електродів над одношаровим недосконалим середовищем з циліндричним екраном для різної кількості членів ряду

му переході ($H_2 \rightarrow h$, $\gamma_2 \rightarrow 0$) і для випадку двостороннього доступу до об'єкта контролю наближається до ємності плоского конденсатора:

$$C = \epsilon_2 \pi r_1^2 / h.$$

З результатів обчислень видно, що величина відносного відхилення не перевершує 7,5% для малих значень абсолютної діелектричної проникності об'єкта контролю, що знаходиться між електродами (обкладками) конденсатора. Зі зростанням величини відносної діелектричної проникності матеріалу величина відносної похибки суттєво зменшується (до 1,5%). Отже, розрахунки ємності конденсатора за загальновідомою формулою та за запропонованим методом збігаються. Незначні розбіжності в результатах розрахунків пояснюються наявністю екрана в узагальненій моделі та його впливом на результати обчислень.

Таким чином, запропонована узагальнена розрахункова модель та розроблений метод аналізу квазістаціонарного електричного поля достовірно відображають реальні фізичні процеси в ємнісних давачах.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Запропонована і обґрунтована узагальнена розрахункова модель ємнісного давача накладного типу для контролю параметрів слабоелектропровідного багатошарового середовища, яка поєднує одно- та двосторонній доступ до об'єкта контролю з врахуванням впливу екрана для захисту від впливу зовнішніх полів та завад. Узагальнення вибраної моделі полягає в тому, що від неї можна перейти до відомих моде-

лей з одностороннім і двостороннім доступом до об'єкта контролю й плоского конденсатора.

2. На основі принципу нерозривності електричного струму розкриті граничні умови на поверхні розділу двох діелектриків на випадок, коли вони недосконалі, тобто мають відмінну від нуля питому електричну провідність.

3. Розроблено аналітичний метод аналізу і розрахунку квазістаціонарного електричного поля в накладних екранованих ємнісних давачах з компланарними соосними електродами та багатошаровим недосконалим діелектриком-об'єктом контролю, який ґрунтується на врахуванні крайової умови на поверхні захисного екрана шляхом розкладу розв'язку рівняння поля в ряд Фур'є-Бесселя за радіальною координатою і далі дозволяє для кожного члену ряду застосовувати метод розділення змінних (метод Лапласа).

4. Отримані загальні розв'язки рівняння Лапласа для скалярного потенціалу електричного поля у вигляді одинарного ряду Фур'є від поперечної відносно електродів координати для випадку накладного екранованого давача з електродами у формі довгих компланарних пластин та осьової координати для прохідного давача з компланарними соосними циліндричними електродами. У випадку накладного екранованого давача з електродами у формі компланарних пластин кінцевих розмірів розв'язки отримані у вигляді подвійного ряду Фур'є від двох декартових координат.

5. Одержані аналітичні вирази для скалярного потенціалу квазістаціонарного електричного поля в усіх областях екранованих накладного та прохідного ємнісних давачів з компланарними електродами над одно- і двошаровим об'єктом контролю. Для випадку накладного екранованого ємнісного давача з компланарними електродами у формі диска з шайбою над одношаровим об'єктом контролю отримані аналітичні вирази для струмів провідності, зміщення і повного струму в давачі.

6. Визначені та досліджені перехідна провідність та ємність і їх параметричні чутливості до діелектричної проникності, питомої електричної провідності і товщини об'єкта контролю широковживаного практичного випадку накладного екранованого ємнісного давача з компланарними електродами у формі диска з шайбою над одношаровим слабоеклектропровідним об'єктом контролю з повітряним проміжком.

7. Досліджені характерні особливості поведінки чутливостей перехідної провідності та ємності до параметрів і товщини об'єкта контролю та геометричних розмірів захисного екрана.

8. Запропоноване первинне вимірне коло з ємнісним давачем і катушкою індуктивності для виділення інформативних величин - перехідної напруги і струму в колі та їх чутливостей до первинних параметрів контролю.

9. Проведено аналіз параметричних чутливостей і обґрунтовані рекомендації щодо відбору інформації при загасаючих коливаннях у вимірному електричному колі.

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПРАЦЬ АВТОРА

1. **Яцун А.М.** Аналіз ємнісного методу неруйнівного контролю при комбінованому нестаціонарному процесі.// В кн.: Нове в технології лісової та деревообробної промисловості. Збірник наукових праць інституту технологічної кібернетики ліспромислового комплексу, т.6.- Львів-Харків.: Технологічна кібернетика, 1993.- 415с. - С.231-237.

2. **Яцун А.М., Бубняк Т.І., Ганцюк В.М., Шикеринець І.М.** Аналіз ємнісного методу неруйнівного контролю при аперіодичному нестаціонарному процесі.// В кн.: Нове в технології лісової та деревообробної промисловості. Збірник наукових праць інституту технологічної кібернетики ліспромислового комплексу, т.6.- Львів-Харків.: Технологічна кібернетика, 1993.- 415с.- С.238-241.

3. **Яцун А.М.** Електроємнісний імпульсний метод визначення вологості деревини.// Науковий вісник,- Львів: вид. УкрДЛТУ, 1995.- Вип. 3.2.- С.34-38.

4. **Яцун А.М., Яцун М.А.** Параметрична чутливість ємнісного накладного давача з одношаровим об'єктом контролю.// Електроенергетичні та електромеханічні системи,- Львів: Вид. ДУ "Львівська політехніка", 1995.- № 288.- С.139-143.

5. **Яцун А.М., Яцун М.А.** Перехідна провідність ємнісного давача у формі диска з шайбою над слабоелектропровідним середовищем.// Теоретична електротехніка,- Львів: вид. ЛДУ, 1995.- № 53.-С. 58-64.

6. **Яцун А.М. Кенс І.Р.** Застосування накладних екранованих ємнісних давачів з електродами у формі колового диска з шайбою для неруйнівного контролю деревинних матеріалів.// Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми автоматизації ліспромислового комплексу",- Львів: вид. УкрДЛТУ, 1996.-С.61

7. **Yatsun A.M., Yatsun M.A., Girnyk M.L.** The alternating electric field of disk form capacity data unit with a washer above the imperfect medium.// SPETO'96,- Gliwice.: Ustron, 1996. Vol.2, Str.225-229.

8. **Яцун А.М., Яцун М.А.** До питання граничних умов на поверхні розділу недосконалих діелектриків.//Електромеханіка. Теорія і практика. Праці науково-технічної конференції з міжнародною участю,- Львів: ДУ "Львівська політехніка", 1996.- С. 200-202.

АННОТАЦІЯ

Яцун А.М. Квазістаціонарне електричне поле і параметрична чутливість екранованих ємкостних датчиків. Рукопись.

Дисертація на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.05 - Теоретическая электротехника. Украинский государственный лесотехнический университет.

Предложены обобщенные модели накладного и проходного емкостных экранированных первичных преобразователей с объектом контроля в форме многослойной слабоэлектропроводящей среды. Разработан аналитический метод расчета и получены выражения в виде одинарных и двойных рядов Фурье и Фурье-Бесселя для скалярного потенциала квазистационарного электрического поля в предложенных моделях емкостных преобразователей. Получены и исследованы выражения для переходной проводимости и емкости и их чувствительностей к основным первичным параметрам контроля. Предложена первичная измерительная цепь (способ и устройство неразрушающего электрического контроля) с емкостным преобразователем в которой периодически протекают собственные затухающие колебания для выделения информации о первичных параметрах объекта контроля.

ABSTRACT

Yatsun A.M. The quasi-stationary electric field and parametrs sensivity of screen variable-capacitance gauges. Manuscript.

The thesis for candidate of science degree. Speciality 05.09.05 -Theoretical Electrotechnique. Ukrainian State University of Forestry and Wood Technoogy.

The generalization model of waybill and pass screen variable-capacitance primary gauges with the multylayer weak conductivity medium has been proposed. The analitic calculation method has been worked out and the expressions for scalar potential at the single and double Fourier's and Fourier-Bessel's rows of these models have been obtained. The expressions for the transient conductivity and capacitance and their sensitivities by the main primary control parameters have been obtained too. The primary measuring circuit (non-destructive process and apparatus) with capacitance pick-off in which the own oscillation are periodical proceeding for the extraction of informational values about the testing articles primary design has been proposed as well.

Ключові слова: екранований ємнісний давач, багат шарове слабоелектропровідне середовище, скалярний потенціал електричного поля, перехідна провідність і ємність, параметрична чутливість, первинне вимірне коло.



Тираж 100 прим.

Друк ТзОВ "Простір-М"

434805

AB 37.038