

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

На правах рукопису
УДК 621.317

ПОПОВ ВАЛЕРІЙ ЮРІЙОВИЧ

Попов

КОНДУКТОМЕТРИЧНІ ВИМІРИ ТА КОНТРОЛЬ
ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФОЛЬГИ В ПРОЦЕСІ
ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ

Спеціальність 05.11.06 - Прилади та методи
виміру електричних та магнітних величин

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1996



00753597 (-)

дисертація в рукописі

АВ 35.046

Роботу виконано у відділі електричних та магнітних вимірів
Інституту електродинаміки НАН України, м. Київ

- | | |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Науковий керівник | - доктор технічних наук,
професор
Сурду Михайло Миколайович. |
| Науковий консультант | - кандидат технічних наук
Гордієнко Григорій Федорович. |
| Офіційні опоненти | - доктор технічних наук,
професор
Володарський Євген Тимофійович,

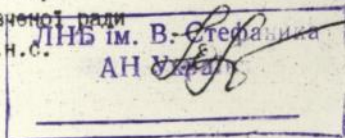
- кандидат технічних наук
Тучін Роберт Дмитрович. |
| Провідна організація | - ВО "Електроприлад"
Міністерства машинобудівної
промисловості України, м. Київ. |

Захист відбудеться " 2 " липня 1996 р. о 14 годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.99.03 при Інституті
електродинаміки НАН України (252680, м. Київ - 57, пр. Перемоги,
56, тел. 446-91-15).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту
електродинаміки НАН України.

Автореферат розіслано " 24 " травня 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., ст.н.с.



Ю.О. Масиренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність і ступінь дослідження тематики дисертації.

Електролітичні конденсатори (ЕК) є невід'ємними компонентами практично кожної електронної схеми. Вони широко використовуються в радіотехніці і зв'язу, енергетиці і обчислювальній техніці, телебаченні і приладобудуванні. Очевидно, що від їх якості, надійності і масогабаритних характеристик в значній мірі залежить і якість продукції, що випускається.

В свою чергу, якість, надійність і масогабаритні параметри ЕК в значній мірі визначаються ступенем розвинутої поверхні алюмінієвої фольги (АФ) і характеристиками оксидного шару, що утворюється внаслідок операцій електрохімічної обробки (ЕО) фольги - травлення і оксидування, відповідно, і які в сукупності визначають питому ємність фольги (ПЕФ).

Недостатність операцій ЕО призводить, зокрема, до нестатості ПЕФ по довжині рулона, що визначає широкий діапазон відхилень від номінального значення ємності конденсаторів в межах від мінус 20 до + 50%. А це призводить до не виправданого дорожчання обладнання, в якому застосовуються ЕК, збільшення витрат матеріалів і енергетичних ресурсів на їх виробництво.

ПЕФ визначається режимами ЕО - швидкістю руху фольги, температурою і питомою електропровідністю електроліту (ПЕЕ), силою струму (при травленні) і розміром напруги (при оксидуванні), а також кристалічною будовою і хімічним складом вихідної АФ, що є непостійними по довжині рулону. Саме останній чинник не дозволяє одержувати стабільні значення ПЕФ при постійних режимах ЕО.

Корегуванням режимів ЕО в залежності від значень ПЕФ на виходах операцій травлення і оксидування можна забезпечити її сталість по довжині рулону. Але в існуючій технології обробки фольги такий принцип стабілізації питомої ємності не використовується за відсутності вимірювальних перетворювачів (ВП) ПЕФ і ПЕЕ, працюючих безпосередньо на агрегатах травлення і оксидування під час технологічного процесу в умовах виділення газоподібних, нерозчинних або важкорозчинних побічних продуктів ЕО. Контроль цих параметрів здійснюється в лабораторних умовах шляхом відбору проб електроліту і зразків фольги. Існуючі вимірювальні прилади, що працюють в комплексі з ВП ПЕФ і ПЕЕ, недоцільно використовувати в процесі ЕО фольги, бо дешевим і конструктивно простим приладам властива низька точність вимірів.

а прецизійні прилади є конструктивно складними і мають високу вартість.

Таким чином, для удосконалення технології виробництва ЕК необхідна розробка засобів виміру – ВП ПЕФ і ПЕЕ, працездатних в умовах ЕО фольги, і вимірjuвальних приладів, дешевих, конструктивно простих, які мають достатньо високі метрологічні характеристики, що їх доцільно використовувати у цьому технологічному процесі.

Мета роботи і основні завдання наукового дослідження. Метою дисертаційної роботи є створення засобів виміру ПЕФ і ПЕЕ безпосередньо в умовах технологічного процесу ЕО АФ для ЕК, що відповідають сучасним вимогам по точності, швидкодії, стійкості до перешкод і вартості, які ставляться до технологічного обладнання.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні проблеми:

- розробка ВП для виміру ПЕЕ і ПЕФ в умовах виділення газоподібних, нерозчинних і важкорозчинних побічних продуктів ЕО АФ в процесі виробництва ЕК;

- дослідження впливу конструктивних особливостей ВП на їх основні метрологічні характеристики;

- розробка вимірjuвальних приладів, що діють у комплексі з ВП, для технологічних вимірів ПЕЕ і ПЕФ та аналіз їх основних метрологічних характеристик;

- підвищення стійкості до перешкод засобів виміру ПЕЕ і ПЕФ.

Наукова новизна дослідження. В роботі отримано наступні наукові результати:

- вперше побудовано модель чотириелектродних кондуктометричних чарунк (ЧКЧ) загального типу для виміру ПЕЕ в умовах ЕО АФ, на підставі дослідження якої визначено загальні конструктивні обмеження, що практично виключають вплив приелектродних процесів на потенціальних електродах (ПЕ) на наслідки виміру, проаналізовано окремий і сумісний вплив ПЕ і електродів струму (ЕС) на константу чарунк та встановлено оптимальні співвідношення геометричних розмірів електродів, при яких відбувається практично повна компенсація впливу на константу чарунк неоднорідності електричного поля, що обумовлена ПЕ і ЕС;

- запропоновано способи виміру ПЕФ із структурним та алгоритмічним корегуванням адитивної погрешності, що дозволяють здійснювати неруйнівний контроль високоємних фольг, а також

способи захисту ВП ПЕФ від побічних продуктів ЕО АФ і розроблено відповідні конструкції ВП;

- розроблено і проаналізовано моделі електродної системи ВП ПЕФ для вивчення формування електричного поля при наявності поляризаційних процесів на електродах, аналіз яких дав змогу встановити оптимальну ширину охоронних електродів (ОЕ) для різних конструкцій ВП, що виключають вплив як поляризації електродів, так і крайових ефектів, на точність виміру;

- на підставі досліджень моделі електродної системи ВП ПЕФ з нескінченно протяжними ОЕ визначено вплив зазора між ОЕ і вимірювальними електродами (ВЕ) на константу ВП і встановлено залежність її відносного відхилення від розрахункового значення.

Теоретична і практична цінність роботи полягає у наступному:

- розроблені автором конструкції заглиблених ЧКЧ виключають вплив побічних продуктів електролізу на наслідки виміру і в комплексі з розробленим кондуктометром вперше дають змогу здійснювати вимірювання ПЕЕ безпосередньо на агрегатах ЕО АФ в процесі виробництва ЕК;

- на базі розроблених автором способів виміру ПЕФ створено вимірювальну апаратуру, включаючи ВП ПЕФ та вимірювальні прилади, що дозволяє вперше здійснювати неруйнівний контроль ПЕФ асього діапазону значень, який використовується в виробництві ЕК, аж до максимально одержуваних значень порядку $2 \cdot 10^5$ мкФ/дм² і вище, безпосередньо на агрегатах ЕО АФ;

- вирішено питання метрологічного забезпечення операцій ЕО АФ і, зокрема виробництва ЕК з використанням високоемних фольг, а також нових технологій виробництва високоемних фольг методами вакуумного напilenня;

- отримані в роботі аналітичні вирази і графіки дозволяють розробляти заглиблені ЧКЧ і ВП ПЕФ із заданими константами.

Рівень впровадження наукових розробок. Результати роботи було використано в ВАТ НДІ "Уконд" та ВАТ НВО "Катіон" (м. Хмельницький) при створенні:

- заглибленої ЧКЧ у формі паралелепіпеду ЧКЧ-1 з розрахунковою константою 5 см^{-1} для виміру ПЕЕ;

- термокондуктометра ПК.ХД-1, який вимірює провідність від 0.2 до $5 \cdot 10^{-6}$ См, опір від 5 до $2 \cdot 10^5$ Ом, температуру від мінус 50 до +150°C з погрешністю не більше 0.3%, для виміру ПЕЕ у комплексі з ЧКЧ-1 і температури у комплексі з елементом термометричним мідним з характеристикою 50 М;

- приладу ПИ.ФЛА-1, вимірюючого емність від 10^{-3} до 10^4 мкФ

з погрішності не більше 0.2%, для оперативного контролю ПЕФ у комплексі з ВП ПЕФ з константою $5 \cdot 10^{-3}$ дм², що реалізує спосіб виміру з алгоритмічною корекцією адитивної погрішності.

Апробація результатів наукових досліджень. Основні положення роботи доповідались та обговорювались на республіканській науково-практичній (1989 р.) та регіональній науково-технічній (1996 р.) конференціях (м. Хмельницький).

Публікація результатів досліджень. Матеріали дисертації знайшли відображення у 14 роботах, в тому числі 8 авторських свідоцтвах.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, описку використаної літератури та додатку, містить 142 сторінки основного тексту, 89 малюнків, 109 найменувань бібліографії.

Конкретний особистий внесок дисертанта у розробку наукових результатів, що виносяться на захист, полягає:

- у розробці конструкцій заглиблених ЧКЧ для виміру ПЕЕ в умовах ЕО АФ для ЕК, аналізі впливу конструктивних параметрів на метрологічні і експлуатаційні характеристики, визначенні оптимальних співвідношень основних розмірів чарунків, що виключають вплив приелектродних процесів на точність виміру і забезпечують розрахунковість констант;

- у розробці способів виміру ПЕФ із застосуванням структурної та алгоритмічної корекції для підвищення точності виміру (особливо високоємних фольг), способу захисту ВП ПЕФ від побічних продуктів ЕО АФ і конструкцій ВП, що їх реалізують;

- в аналізі формування електричного поля в ВП ПЕФ під час перебігу поляризаційних процесів на електродах, впливу конструктивних особливостей на метрологічні характеристики перетворювачів, визначенні оптимальних співвідношень їх основних розмірів, виключаючих вплив поляризації електродів та крайових ефектів на точність виміру, і залежності від них відносного відхилення констант від розрахункового значення;

- у розробці структурних схем вимірювальних приладів прямого перетворення для виміру ПЕЕ і ПЕФ у комплексі з відповідними ВП.

Предмет та об'єкт дослідження. В дисертації досліджується метрологічне забезпечення операцій ЕО АФ для ЕК.

Методи досліджень базуються на використанні методів теорії функції комплексної змінної, методу конформних відображень, розрахунку поля прямим методом, теоретичних основ електротехніки,

інтегрального обчислення, кількісних методів аналізу з використанням ВМ.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність і ступень дослідження теми дисертації, сформульовано мету і основні завдання, відображено наукову новизну, практичну цінність та рівень впровадження наукових досліджень, структуру роботи і конкретний особистий внесок автора у розробку.

У першому розділі визначено вимоги, що ставляться до ВП ПЕЕ і ПЕФ (вимірювання без відбору проб і зразків, сталість та розрахунковість констант, тривале функціонування в умовах виділення газоподібних, нерозчинних та важкорозчинних побічних продуктів ЕО) і вимірювальних приладів, що діють у комплексі з ними (погрішність виміру не більше 0,5 - 1%, простота конструкції, низька вартість), і проведено аналіз відомих перетворювачів та приладів для виміру цих величин з точки зору відповідності їх встановленим вимогам, тобто, можливості і доцільності їх застосування безпосередньо в процесі ЕО рулонної АФ для ЕК. Показано, що наявні:

- конструкції заглибних та проточних, які можна використовувати як заглибні, чотири - і п'ятиелектродних кондуктометричних чарунок не задовольняють вимогам, що ставляться (або не здатні тривалий час функціонувати в умовах виділення побічних продуктів ЕО, бо накопичують їх, або конструктивно складні, або не мають розрахункових констант);

- ВП ПЕФ не захищені від впливу побічних продуктів ЕО, особливо газоподібних, вони мають суттєву адитивну погрішність, особливо при вимірюванні високоємних фольг (до 50%), зумовлену способом виміру, при якому вимірюється ємність перетворювача, що складається з послідовно включених ємностей вимірювальної ділянки фольги та ВЕ;

- вимірювальні прилади, що працюють у комплексі з ВП ПЕЕ і ПЕФ, не задовольняють встановленим вимогам (або по вартості, або по конструктивній складності, або по точності виміру).

Наприкінці глави в висновках сформульовано конкретні завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі описано розроблені автором конструкції заглибних ЧКЧ циліндричної форми і у формі паралелепіпеда.

Розріз вздовж осі чарунки циліндричної форми показано на

мал.1, $\epsilon_1 - \epsilon_5$ - частини діелектричної трубки корпусу довжиною $l_1 - l_5$, відповідно, причому, $l_2 = l_4$, між торцями яких знаходяться ЕС 6 і 7 шириною h_{EC} та ПЕ 8 і 9 шириною $h_{ПЕ}$. l - відстань між центрами ПЕ, D - внутрішній діаметр. У досліджуваний електроліт чарунка занурюється до повного перекриття електролітом всіх електродів таким чином, щоб забезпечити проходження вимірювального струму тільки у внутрішньому обсязі.

Розроблено розрахункову модель в площині $w(u,v)$, зображену на мал.2, яка відображає основні конструктивні особливості ЧКЧ. Тут p - ширина ПЕ $h_{ПЕ}$, qR - ЕС h_{EC} , $R = D/2$, L - сума $(l_2 + l_3 + l_4 + 2h_{ПЕ})$, $\pm C_0$ - координати особливих точок, A_1, A_{10} - кут. двокутника, що обмежує зону, яка розглядається, $A_2 - A_9$ - коорди. эти кінців електродів 6 - 9, l - як і на мал.1

Відносне відхилення $\delta_{КЧ}$ константи чарунки від розрахункового значення $K_p = 4l/\pi D^2$ іражено у вигляді функції від складових напружності поля $E_{v=0}(u)$ и $E_{u=0}(v)$:

$$\delta_{КЧ} = \frac{0.5(1-p)}{-0.5(1-p)} \frac{R}{0} \frac{\int_0^L E_{v=0}(u) du / (2/R) \int_0^L E_{u=0}(v) v dv}{-1}. \quad (1)$$

На підставі аналізу моделі визначено загальні конструктивні обмеження, які виключають вплив приелектродних процесів на ПЕ на точність вимірів (для чого необхідно розмішувати ПЕ в зоні вихідно однорідного поля, що вимагає максимального віддалення ЕС від ПЕ) і забезпечують мінімізацію довжини чарунк та нормальну роботу вимірювального приладу (для чого необхідно максимально зближити ЕС і ПЕ). Вони описуються відношеннями: $l_2 \approx D/2$ і $l_4 \approx D/2$ при умові, що $l_3 > D$.

Аналогічно, з використанням виразу (1), проведено аналіз впливу неоднорідності поля, обумовленої тільки конструкцією та параметрами ЕС при нескінченно тонких ПЕ, тільки конструкцією і параметрами ПЕ при нескінченно рознесених ЕС, а також сумісним впливом ЕС і ПЕ на константу чарунки. Графічно наслідки аналізу представлено на мал.3 - 5, відповідно.

Встановлено, що в чарунках такої конструкції ЕС викликають збільшення константи K по відношенню до розрахункового значення K_p , а ПЕ - зменшення, що існують певні співвідношення розмірів цих електродів, при яких відбувається повна компенсація їх впливу на константу. Зокрема, при $2h_{ПЕ}/D = 0.2$, $2h_{EC}/D = 0.1$ і $2l/D > 3$ відносне відхилення константи від розрахункового значення не перевищує 0.05%.

Здійснений аналіз також показав, що при ширині ПЕ $h_{\text{ПЕ}} < 0.01(D/2)$ їх практично можна розглядати як нескінченно тонкі ПЕ. У такому випадку відносне відхилення констант чарунок $\delta_{\text{КЧ}}$ від розрахункового значення описується емпіричним виразом:

$$\delta_{\text{КЧ}}(h_{\text{ПЕ}}=0), [\%] = 1.43 / [(2l/D)(2h_{\text{ЕС}}/D)^{0.25}] \quad (2)$$

з погрішністю не більше 5%.

Аналогічно проведено аналіз ЧКЧ у формі паралелепіпеда квадратного перерізу.

Розглянуто варіанти захисту заглиблених ЧКЧ від електромагнітних перешкод.

У третьому розділі розроблено способи виміру ПЕФ, в яких структурною і алгоритмічною корекцією підвищується точність виміру, спосіб захисту ВП від впливу побічних продуктів ЕО, конструкції перетворювачів, що реалізують їх. Встановлено, що вимір ПЕФ необхідно здійснювати для конкретних умов: складу і температури електроліту, а також щільності струму, якщо ВЕ чи фольга, що вимірюється, неокисдовані.

Базовий спосіб виміру відображено на мал.6, де 1 - фольга, 2 - електроліт, 3 - ВЕ у формі плоского циліндра діаметром d , 4 - ОЕ кільцевої форми завширшки $h_{\text{ОЕ}}$, 5 - зазор між ними завширшки l_3 , 6 - діелектрична основа, h - відстань між фольгою та ВЕ і ОЕ, ВПР - вимірвальний прилад, ПН - повторювач напруги. Вимірюється ємність електролітичного конденсатора $C_{\text{К}}$, створеного паралельним з'єднанням двох однакових ланцюгів, кожен з яких складається з послідовно включених ємностей ділянки фольги (з одного боку), що вимірюється, $0.5C_{\text{Ф}}$, ємності ВЕ $C_{\text{ВЕ}}$ і опору r що включає активні втрати імпедансів останніх та опір об'єма електроліту між ВЕ і ділянкою фольги, що вимірюється, і дорівнює:

$$C_{\text{К}} = 2C_{\text{Ф}}C_{\text{ВЕ}} / (C_{\text{Ф}} + 2C_{\text{ВЕ}}). \quad (3)$$

Адитивна погрішність виміру $\delta_{\text{СВ}}$ базового способу обумовлюється ємністю ВЕ ВП і дорівнює:

$$\delta_{\text{СВ}} = 2C_{\text{ВЕ}} / (C_{\text{Ф}} + 2C_{\text{ВЕ}}) - 1. \quad (4)$$

Спосіб структурної корекції погрішності придатний для вимірювання окисдованих фольг (ОФ) ВП, що містять окисдовані ВЕ, які мають стабільні ємності $C_{\text{ВЕ}}$, і здійснюється включенням послідовно з кожним ВЕ корегуючої індуктивності $L_{\text{К}}$, що задовольняє

відношення: $\omega L_K = 1/\omega C_{BE}$.

Способи алгоритмічної корекції передбачають використання високоємних неокисдованих ВЕ у ВП і включають два виміри, які здійснюються в однакових умовах. Перший завжди здійснюється відповідно до базового способу (вимірюється ємність ВП C_{K1} , що визначається виразом (3)). При другому вимірі:

- по способу 1 змінюється однаково (в n разів) дійсна площа поверхні кожного ВЕ (тобто, ємність C_{BE}) при збереженні їх геометричної площі і вимірюється ємність C_{K2-1} ВП при тій же щільності струму через ВЕ, яка описується виразом:

$$C_{K2-1} = 2nC_{\Phi}C_{BE}/(C_{\Phi} + 2nC_{BE}); \quad (5)$$

- по способу 2 додаткові електроди із стабільними параметрами з відомою ємністю C_E (окисдовані) розташовуються в одній площині з ВЕ і С так, щоб вони оточували ОЕ, і вимірюється ємність електролітичного конденсатора C_{K2-2} , утвореного двома паралельно включеними додатковими електродами, паралельно включеними ВЕ та об'ємами електроліту між ними, при тій же щільності струму через ВЕ, що описується рівняннями:

$$C_{K2-2} = 2C_EC_{BE}/(C_E + C_{BE}). \quad (6)$$

Спосіб 1 застосовується для вимірювання ОФ. Ємність ділянки фольги, що вимірюється, C_{Φ} визначається як:

$$C_{\Phi} = (n-1)C_{K1}C_{K2-1}/(nC_{K1} - C_{K2-1}). \quad (7)$$

Для його реалізації ВЕ виготовляють з двох спірально згорнутих тонких стрічок металевої фольги, ізольованих одна від одної тонкими діелектричними стрічками.

Спосіб 2 застосовується для виміру як ОФ, так і неокисдованих фольг (НОФ). По наслідках другого виміру визначається ємність C_{BE} ВЕ:

$$C_{BE} = C_EC_{K2-2}/(2C_E - C_{K2-2}). \quad (8)$$

а ємність ділянки фольги, що вимірюється, C_{Φ} :

$$C_{\Phi} = 2C_{BE}C_{K1}/(2C_{BE} - C_{K1}). \quad (9)$$

Спосіб захисту ВП від побічних продуктів ВО полягає у формуванні двох об'ємів електроліту з кожного боку фольги. Один об'єм електроліту формується між фольгою і ВЕ та ОЕ, а другий (у вигляді тонкого плоского кільця) - між фольгою і плоским торцем

виступу діелектричної основи, що забезпечується її конструкцією. При щільному приляганні торця виступу до фольги (зазор $l_{\text{ФВ}}$ між торцем буртика і фольгою повинен забезпечувати переміщення останньої) здійснюється захист ВП від побічних продуктів ЕО.

Також розроблено модель електродної системи ЕП в площині $w(u, v)$ для вивчення впливу поляризаційних процесів на формування поля, яку відображено на мал.7, де електрод 1 - аналог ділянки фольги, що не поляризується, 2 - ділянки фольги, що поляризується, 3 - ОЕ і ВЕ при нескінченно тонкому зазорі між ними, R - відстань h , A_1 і A_2 - кути двокутника, який обмежує ділянку, що розглядається, A_3 і A_4 - края електродів. Проаналізовано розподіл поля на поверхні електродів для випадків: $\varphi_1 = \varphi_3 = 0, \varphi_2 \neq 0; \varphi_1 = 0, \varphi_2 = \varphi_3 \neq 0; \varphi_1 = 0, \varphi_2 = -\varphi_3 \neq 0$, де $\varphi_{1,2,3}$ - потенціали відповідних електродів. Встановлено, що для усунення впливу поляризації та крайових ефектів на наслідки виміру необхідно, щоб $h_{\text{ОЕ}} \geq 2h$ для незахищеної конструкції ВП та $h_{\text{ОЕ}} \geq 2l_{\text{ФВ}}$ - для захищеної.

Розроблено в площині $w(u, v)$ модел. електродної системи для вивчення впливу ширини зазору l_3 на константу ВП зображено на мал.8, де електрод 1 - аналог фольги, 2 - ВЕ, 3 - нескінченно протяжного ОЕ, p - зазор l_3 , d - діаметр ділянки фольги, що вимірюється, рівний $(d + l_3)$, $A_2 - A_5$ - кінці електродів, $\pm C_0$ - координати особливих точок, A_1, A_4 . R - відповідають A_1, A_2, R мал.7. В наслідок її аналізу встановлено, що зазор між ВЕ і ОЕ збільшує константу K ВП ПЕФ. Одержано залежність відносного відхилення δ_K константи K ВП від розрахункового значення $K_p = \pi(d + l_3)^2/4$ у вигляді графіка (мал.9) та емпіричного виразу (погрішність не перевищує 4%):

$$\delta_K [\%] \approx 41.56(l_3/h)^2 / [(d + l_3)/h]^{3/4}. \quad (10)$$

Визначено умови, при яких виключається вплив швидкості переміщення фольги на наслідок виміру, для чого ширину ОЕ необхідно збільшити на величину $h_v \geq v_{\text{Ф}} t_{\text{ВС}}$, де $v_{\text{Ф}}$ - швидкість переміщення фольги, $t_{\text{ВС}}$ - час проходження вимірювального сигналу через ВП.

Розглянуто шляхи захисту ВП від електромагнітних перешкод.

У четвертому розділі на підставі використання методів прямого перетворення для виміру складових імпедансу із застосуванням логометр. ного аналого - цифрового перетворювача (АЦП) двотактного інтегрування розроблено структурну схему кондуктометра з погрішністю виміру не більше 0.3% для вимірювання

ПЕЕ у комплексі з ЧКЧ з атестованою константою К (мал.10). Містить генератор вимірювальної напруги Г, диференціальні підсилювачі ДП1 і ДП2, формувач керуючих імпульсів Ф, синхронні детектори СД1 і СД2, інтегруючий АЦП, опірну провідність G_0 . ЧКЧ показано у вигляді послідовно включених провідностей об'ємів електроліту G_x - між ПЕ і Г - між ЕС та ПЕ. Вихідний код АЦП N, пропорційний ПЕЕ γ , дорівнює:

$$N = \gamma k_{ДП1} k_{СД1} / k_{ДП2} k_{СД2} G_0 K, \quad (11)$$

де - $k_{ДП1}$, $k_{ДП2}$, $k_{СД1}$, $k_{СД2}$ - коефіцієнти передачі ДП1, ДП2, СД1, СД2, відповідно.

На підставі методів прямого перетворення із застосуванням мікропроцесорного контролера (МПК) розроблено структурні схеми трьох приладів для виміру ПЕФ, які в комплексі з ВП ПЕФ реалізують запропоновані автором способи виміру із структурною і алгоритмічною корекцією адитивної погрішності. Їх призначено для неруйнівного контролю ПЕФ, яка застосовується у виробництві ЕК, безпосередньо в процесі БО АФ. Погрішність виміру ємності не перевищує 0,2%.

Структурна схема приладу для виміру ємності ОФ способом із структурною корекцією адитивної погрішності представлено на мал.11, де ГН - генератор вимірювальної напруги, ПСН - перетворювач струм-напруга, П - підсилювач, Ф - формувач керуючих імпульсів, СД - синхронний детектор, ІАЦП - інтегруючий АЦП, ПН1 і ПН2 - повторювачі напруги, ПР - перемикач режиму (вимір ПЕФ - калібровка, яка здійснюється при відсутності фольги в ВП змінюю індуктивності L_K до повної компенсації ємності ВЕ). Перемикач П1 підключає вхід ПСН до ВП або до нульової точки; П2 - вхід П до виходу ПСН або ГН або до нульової точки, П3 - керуючий вхід СД до виходів синфазної або квадратурної послідовності Ф. МПК умовно не показаний.

В процесі виміру визначаються коди, пропорційні відповідно синфазним і квадратурним складовим вимірювальної напруги (b_1 , b_2), вимірюваного струму (b_3 , b_4), напруги зміщення нуля П (b_5 , b_6) і ПСН (b_7 , b_8). Значення ємності ВП C_K визначається за виразом:

$$C_K = \frac{(b_2 - b_7)^2 + (b_4 - b_8)^2}{\omega k_{ПСН} [(b_1 - b_5)(b_4 - b_8) - (b_2 - b_6)(b_3 - b_7)]}, \quad (12)$$

де ω - частота вимірювального сигналу, $k_{ПСН}$ - коефіцієнт

передачі ПСН (перехідний опір).

Також розроблено структурну схему приладу з погрішністю виміру ємності менше ніж 0.2% для лабораторних досліджень зразків ОФ та НОФ, зокрема, високоємних фольг, одержаних методами вакуумного напилення.

У п'ятому розділі приведено практичну реалізацію наслідків роботи, описано розроблені і впроваджені засоби виміру ПЕЕ і ПЕФ.

ЧКЯ-1 - заглибна ЧКЧ у формі паралелепіпеду. Розрахункова константа 5 см^{-1} . Матеріал корпусу - листове оргскло. СОЛ завтовшки 5 мм, електродів - сталь 1Х18Н9Т. Ширина ПЕ - 2 мм, ЕС - 1 мм. Внутрішній переріз - квадрат із стороною 10 мм, відстань між центрами ПЕ - 50 мм, загальна довжина 100 мм.

Термокондуктометр ПК.ЖД-1. Призначений для виміру ПЕЕ у комплексі з ЧКЧ з атестованими константами і температури у комплексі з елементом термометричним мідним з характеристикою БСМ. Вимірює опір від 5 до $2 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, провідність від 0.2 до $5 \cdot 10^{-6} \text{ См}$ (частота вимірювального сигналу 1 кГц, 10 кГц), температуру від мінус 50 до $+150^\circ\text{C}$ з погрішністю не більше 0.3%.

Прилад ПИ.ФЛА-1. Призначений для лабораторних вимірювань ПЕФ (зразків). Діапазон виміру ємності від 10^{-3} до 10^4 мкФ з погрішністю не більше 0.2%. Містить ВП ПЕФ з розрахунковою константою $5 \cdot 10^{-3} \text{ дм}^2$. Діаметр ВЕ - 8 мм, ширина ОЕ - 5 мм, зазор - 0.5 мм, відстань між електродами і фольгою - 10 мм. Відносне збільшення константи від розрахункового значення приблизно 0.1%. Покриття електродів - чорний хром.

В додатках представлено акти впровадження.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

Основні результати дисертаційної роботи полягають у розробці засобів виміру ПЕФ і ПЕЕ безпосередньо в умовах Е АФ в процесі виробництва ЕК, які дозволяють проводити вимір цих параметрів з метою оптимального керування режимами ЕО фольги для стабілізації її питомої ємності і, в кінцевому результаті, зниження витрат матеріалів і енергетичних ресурсів, підвищення характеристик ЕК. Для чого:

1) Розроблено конструкції заглибних ЧКЧ циліндричної форми і у формі паралелепіпеду для виміру ПЕЕ в умовах виділення побічних продуктів ЕО АФ. Побудовано розрахункову модель, що відображає їх основні конструктивні особливості, на підставі дослідження якої визначено загальні конструктивні обмеження, що виключають вплив

приелектродних процесів на точність вимірів і дозволяють мінімізувати довжину чарунок, проаналізовано вплив неоднорідності поля, яка обумовлена як окремим, так і сукупним впливом ЕС і ПЕ, встановлено, що вплив ЕС веде до збільшення константи чарунок, а ПЕ - до зменшення, знайдено оптимальні співвідношення розмірів електродів, при яких відбувається взаємна компенсація їх впливу на константу;

2) Розроблено способи виміру ПЕФ, в яких підвищення точності виміру здійснюється структурною або алгоритмічною корекцією адитивної погрішності, спосіб захисту вимірювальних перетворювачів від побічних продуктів ЕО АФ і відповідні їм конструкції ВП. Встановлено, що вимір ПЕФ для порівняння результатів необхідно проводити при конкретних умовах виміру - складі і температурі електроліту та щільності струму (якщо фольга, що вимірюється, або ВЕ ВП не окисдовані). Розроблено модель електродної системи ВП для вивчення формування поля під час перебігу на електродах поляризаційних процесів, аналіз якої дозволив встановити оптимальну ширину ОЕ різних конструкцій ВП, яка виключає вплив як поляризації електродів, так і крайових ефектів на результат виміру. На підставі дослідження моделі електродної системи ВП з нескінченно протяжним ОЕ встановлено, що вплив зазора між ВЕ і ОЕ відбивається у збільшенні константи перетворювачів, знайдено залежність її відносного відхилення від розрахункового значення від ширини зазора, діаметра ділянки фольги, що вимірюється, і відстані між фольгою та електродами у вигляді графіка і емпіричної формули;

3) Розроблено вимірювальні прилади прямого перетворення - кондуктометр для виміру ПЕЕ у комплексі з ЧКЧ та сімейство приладів для виміру ПЕФ запропонованими автором способами в комплексі з ВП відповідних конструкцій. Прилади відповідають сучасним вимогам по точності, швидкодії, стійкості до перешкод, простоті конструкції і вартості, що пред'являють до технологічного обладнання;

4) Одержані висновки, співвідношення, аналітичні залежності і графіки дозволяють розробляти ВП ПЕЕ і ПЕФ із заданими константами;

5) Розроблено, виготовлено і впроваджено в експлуатацію заглибну ЧКЧ у формі паралелепіпеда, термокондуктометр та прилад для лабораторних вимірювань питомої ємності зразків фольги у комплексі з ВП.

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Попов В.Д. Влияние толщины потенциальных электродов на константу четырехэлектродной кондуктометрической ячейки// Техническая электродинамика. - 1994. - №2. - С. 66-70.

2. А.с. 1619182 А1 СССР. Датчик для измерения электрических параметров фольги/ В.Д.Попов. - Бюл. №1, 1991.

3. А.с. 1619197 А1 СССР. Способ измерения электрических параметров фольги/ В.Д.Попов. - Бюл. №1, 1991.

4. А.с. 1628014 А1 СССР. Устройство для измерения электрических параметров фольги/ В.Д.Попов. - Бюл. №6, 1991.

5. А.с. 1688172 А1 СССР. Датчик для измерения удельной емкости окисловыванных разветвленных металлических поверхностей/ В.Д.Попов. - Бюл. №10, 1991.

6. А.с. 1691780 А1 СССР. Способ определения удельной емкости фольги/ В.Д.Попов. - Бюл. №42, 1991.

7. А.с. 1691781 А1 СССР. Датчик для измерения удельной емкости фольги/ В.Д.Попов. - Бюл. №42, 1991.

8. А.с. 1798827 А1 СССР. Способ измерения электрических параметров фольги и датчик для его осуществления/ В.Д.Попов. - Бюл. №3, 1993.

9. А.с. 1834525 А1 СССР. Устройство для измерения удельной емкости фольги/ В.Д.Попов. - ДСП.

10. Попов В.Д. Датчик для измерения электрических параметров диэлектрических пленок, нанесенных на металлические основы// Пути развития конденсаторостроения: Тез. докл. науч. - практ. конф., 16 - 18 мая 1989 г. - Хмельницкий, 1989. - С. 58 - 59.

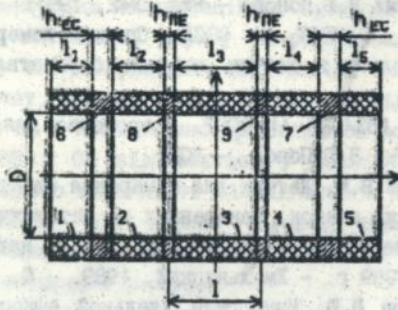
11. Попов В.Д. Измерение удельной емкости и тангенса угла диэлектрических потерь фольги методом контрольного конденсатора// Пути развития конденсаторостроения: Тез. докл. науч. - практ. конф., 16 - 18 мая 1989 г. - Хмельницкий, 1989. - С. 54 - 55.

12. Попов В.Д. Обзор и анализ опособов неразрушающего контроля параметров алюминиевой фольги для электролитических конденсаторов, влияющих на электрические характеристики конденсаторов// Пути развития конденсаторостроения: Тез. докл. науч. - практ. конф., 16 - 18 мая 1989 г. - Хмельницкий, 1989. - С. 59 - 60.

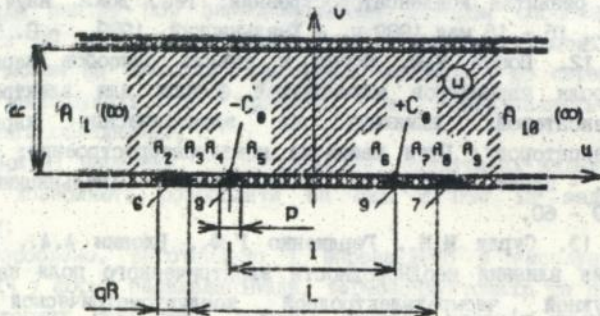
13. Сурду М.Н., Гордиенко Г.Ф., Вдовин А.А., Попов В.Д. Анализ влияния неоднородности электрического поля на константу погружной четырехэлектродной кондуктометрической ячейки// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах і

конверсії виробництва: Зб. матеріалів наук.-техн. конф., 23 - 25 травня 1995 р. - м. Хмельницький, 1995. - С. 99 - 201.

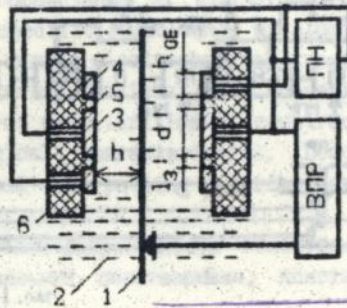
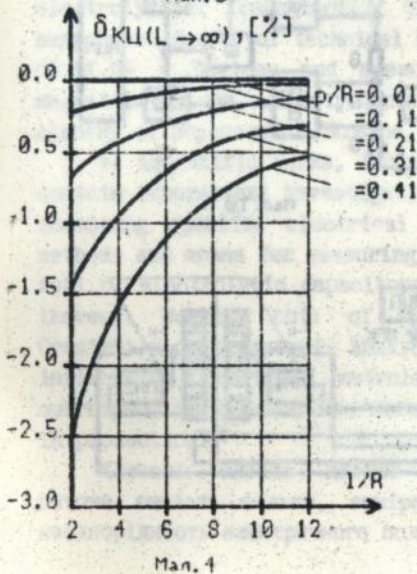
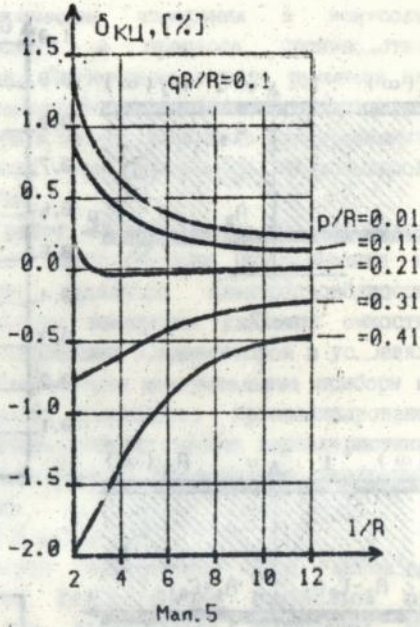
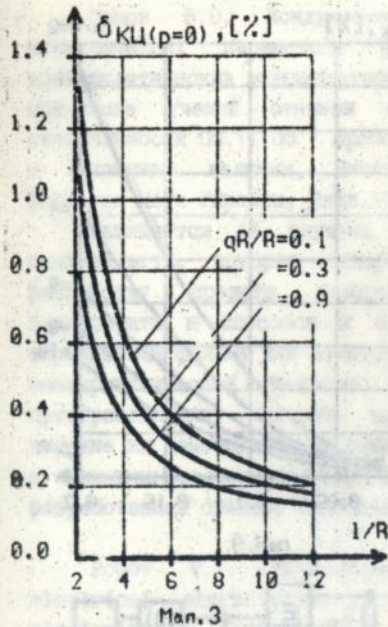
14. Попов В.Д. Изыскание способов и методики оперативного контроля параметров алюминиевой фольги. Способ и устройство для измерения удельной емкости и тангенса угла потерь фольги на агрегатах травления и формовки.: Отчет о НИР (заключительный)/ Предприятие п/я А-3062; Руководитель В.Д.Попов. - Отраслевой регистрационный №5004814; МТР У25282; Инв. №Г48717. - Хмельницкий, 1987. - 57 с.



Мал. 1



Мал. 2



ЛНБ ім. В. Стефаника
Мал. 6
АН України

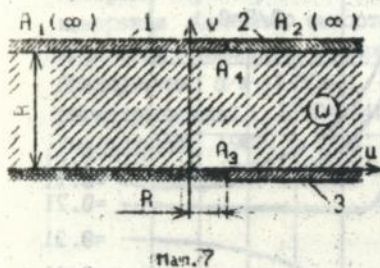


рис. 7

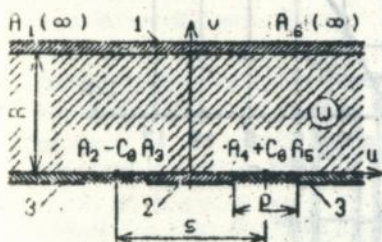


рис. 8

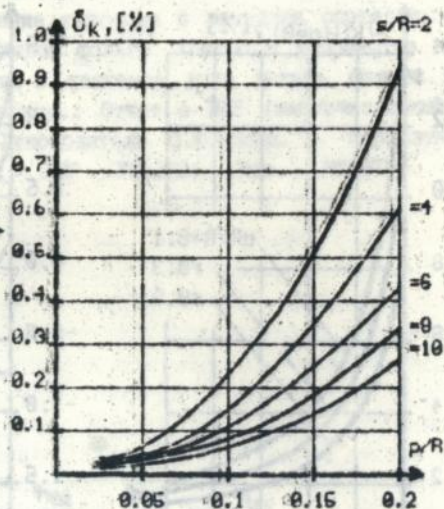


рис. 9

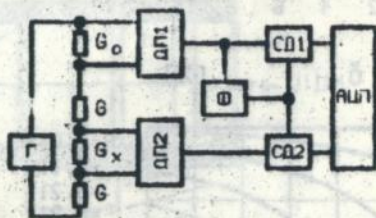


рис. 10

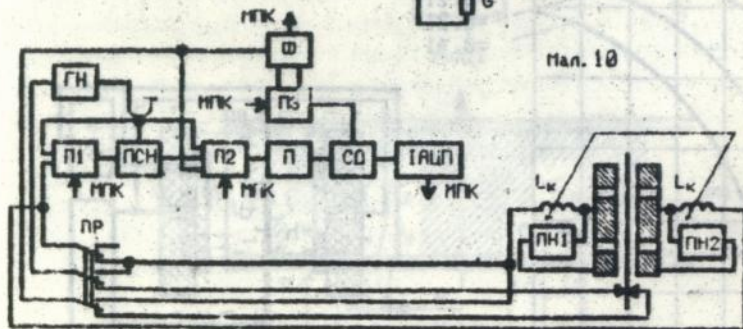


рис. 11

А Н Н О Т А Ц И Я

Попов В.Ю. Кондуктометрические измерения и контроль электрических параметров фольги в процессе производства электролитических конденсаторов. Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.05 Приборы и методы измерения электрических и магнитных величин, Институт электродинамики Национальной Академии Наук Украины, Киев, 1996.

Защищается 14 научных работ в т.ч. числе 8 авторских свидетельств, которые содержат теоретические исследования и разработку средств измерения удельной электропроводности электролита и способов и средств измерения удельной емкости алюминиевой фольги для электролитических конденсаторов в условиях электрохимической обработки. Разработаны измерительные приборы и преобразователи. Созданы модели последних, проанализировано влияние их конструкции на основные метрологические характеристики и выведены соответствующие зависимости. Осуществлено внедрение разработанных средств измерения.

A N N O T A T I O N

Popov V.Y. Conductometric measurement and checking electrical characteristics of foils during production of electrolytical capacitors. The dissertation manuscript on searchment degree of technical sciences candidate on specialities 05.11.05 - Devices and measuring methods of electrical and magnetic values, Electrodynamics Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 1996.

14 scientific works, including 8 patents are defended which contain theoretical investigations and the work out of means for measuring specific electrical conductance of electrolytes and methods and means for measuring specific capacitance of aluminium foil of electrolytic capacitors during electrochemical treatment thereof. Working out: of metering devices and converters. Created: models thereof. Analysed: peculiarities of construction influencing principal metrological characteristics. Deduced: corresponding dependences. Carried out: putting metering devices in production.

Ключові слова: питома електропровідність електроліту, питома ємність фольги, вимірювальний перетворювач, константа, неоднорідність електричного поля.

437007

АВ 35.046

Підписано до друку 16.05.96р. Формат 60x84/16

Папір офсетний. Умовн.-друк. аркуш. 1,0.

Об.-вид. аркуш 1,0. Тираж 100. Замовл. 203.

Поліграф.дільн. Інституту електродинаміки АН України,
252680, Київ-57, проспект Перемоги, 56