

В.В. ГРАБКО

М.П. БОЦУЛА

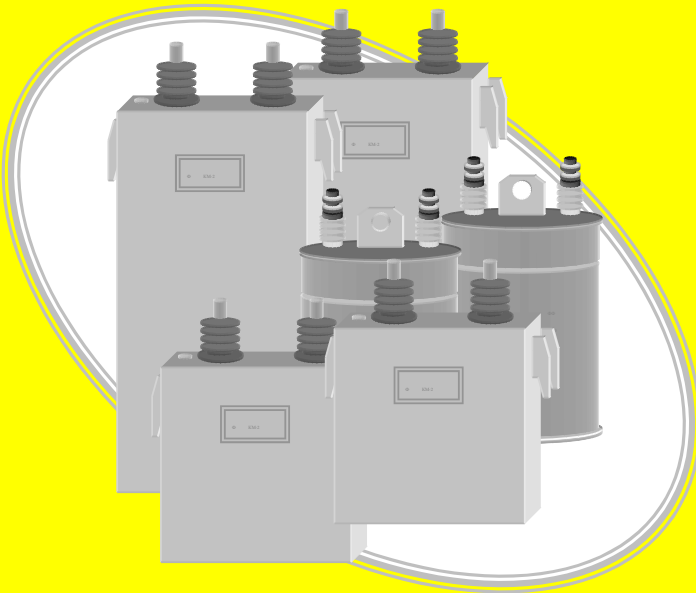
---

---

**МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-  
ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ТЕХНІЧНОЇ  
ДІАГНОСТИКИ СИЛОВИХ КОСИНУСНИХ  
КОНДЕНСАТОРІВ**

---

---



Вінниця – 2003

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

В.В. Грабко, М.П. Боцула

**МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-  
ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ТЕХНІЧНОЇ  
ДІАГНОСТИКИ  
СИЛОВИХ КОСИНУСНИХ  
КОНДЕНСАТОРІВ**

УНІВЕРСУМ-Вінниця

2003

УДК 621.319.4.001.57

Г 75

*Рецензенти:*

доктор технічних наук, професор **Р. Н. Квстний**

доктор технічних наук, професор **П. М. Сопрунюк**

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №6 від 30.01.2003 р.)

**Гرابко В.В., Боцула М.П.**

Г 75 **Методи та інформаційно-вимірвальні системи для технічної діагностики силових косинусних конденсаторів.** Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. — 144 с.

**ISBN 966-641-069-9**

В монографії наведений огляд та аналіз сучасних методів та засобів діагностування силових косинусних конденсаторів з паперово-масляною ізоляцією, що використовуються в електромережах 6÷10 кВ для компенсації реактивної потужності. Описані розроблені авторами нові методи та побудовані на їх основі інформаційно-вимірвальні системи для діагностики конденсаторів.

Книга розрахована на інженерно-технічних працівників електротехнічної промисловості та електроенергетики, що займаються експлуатацією енергетичних мереж, а також може бути корисною студентам та аспірантам вузів.

**УДК 621.319.4.001.57**

**ISBN 966-641-069-9**

© В.В. Грабко, М.П. Боцула, 2003

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СИЛОВИХ КОНДЕНСАТОРІВ .....	9
1.1. Аналіз силових конденсаторів як об'єкта діагностування.....	9
1.2. Задача технічної діагностики силових конденсаторів .....	11
1.3. Методи і засоби контролю технічного стану силових конденсаторів .....	15
1.3.1. Методи ідентифікації електричного старіння ізоляції.....	15
1.3.2. Методи ідентифікації теплового старіння ізоляції.....	23
1.3.3. Методи технічної діагностики силових конденсаторів .....	28
1.3.3.1. Методи фізико-хімічної діагностики.....	28
1.3.3.2. Методи контролю конденсаторів шляхом вимірювання $\text{tg } \delta$ і ємності ізоляції.....	29
1.3.3.3. Методи виявлення часткових розрядів в ізоляції.....	34
1.3.3.4. Метод вимірювання температури .....	37
1.3.4. Засоби технічної діагностики силових конденсаторів .....	37
1.4. Класифікація методів та засобів технічної діагностики силових конденсаторів .....	44

РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ	
СИЛОВИХ КОСИНУСНИХ КОНДЕНСАТОРІВ .....	48
2.1. Математична модель теплового старіння ізоляції	
силового конденсатора при його роботі під	
несинусоїдальною напругою .....	49
2.2. Математична модель електричного старіння ізоляції	
силового конденсатора .....	57
РОЗДІЛ 3 СИНТЕЗ СТРУКТУР ІНФОРМАЦІЙНО-	
ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ	
ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ СИЛОВИХ	
КОСИНУСНИХ КОНДЕНСАТОРІВ.....	66
3.1. Обґрунтування вибору математичного апарата для	
синтезу ІВС .....	66
3.2. Синтез структури ІВС для діагностики стану силових	
конденсаторів при їх роботі під несинусоїдальною	
напругою .....	68
3.3. Синтез структури ІВС для діагностики стану силових	
косинусних конденсаторів за узагальненим рівнянням	
електричного старіння ізоляції.....	84
РОЗДІЛ 4 РЕАЛІЗАЦІЯ ІВС ДІАГНОСТИКИ СИЛОВИХ	
КОСИНУСНИХ КОНДЕНСАТОРІВ В	
ЦИФРОВОМУ ПРИСТРОЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ	
ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ.....	87
4.1. Розробка структури і алгоритму функціонування	
інформаційно-виміральної системи .....	87
4.2. Визначення метрологічних характеристик і аналіз	
похибок виміральної системи .....	91
4.2.1. Вибір сенсора температури навколишнього	
середовища та його похибка.....	94

4.2.2. Вибір сенсорів струму та напруги і їх похибки.....	96
4.2.3. Вибір і аналіз похибок нормуючих перетворювачів та порогових пристроїв .....	100
4.2.4. Оцінювання похибки квантування АЦП.....	101
4.2.5. Похибка вимірювання зсуву фаз.....	104
4.2.6. Застосування алгоритму швидкого перетворення Фур'є та його похибка.....	105
4.2.7. Метрологічні характеристики вимірювальних каналів ІВС.....	109
4.2.8. Оцінювання загальних похибок вимірювальних каналів ІВС .....	112
4.3. Оцінювання вірогідності контролю стану конденсаторів за помилками першого і другого роду .....	119
4.4. Технічна реалізація інформаційно-вимірювальної системи для діагностики силових конденсаторів.....	124
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	128
ДОДАТКИ.....	142

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АБ	арифметичний блок
АЦП	аналого-цифровий перетворювач
БЗР	блок задання ресурсу
БП	блок пам'яті
БУН	блок установки нуля
ДПФ	дискретне перетворення Фур'є
ЗЕНП	зовнішня енергонезалежна пам'ять
ІВС	інформаційно-вимірювальна система
Кл	клавіатура
КП	компенсуючий пристрій
НП	нормуючий перетворювач
ОВ	об'єкт вимірювань
ОЗП	оперативний запам'ятовуючий пристрій
ПВЗ	пристрій вибірки зберігання
ПП	пороговий пристрій
ППП	пакет прикладних програм
ППР	планово-попереджувальний ремонт
ПФ	перетворювач Фур'є
СК	сенсор комутації
СКВ	середньоквадратичне відхилення
СН	сенсор напруги
СС	сенсор струму
СТ	сенсор температури
ТН	трансформатор напруги
ТС	трансформатор струму
ФБ	функціональний блок
ЦТ	цифрове табло
ч.р.	часткові розряди
ШПФ	швидке перетворення Фур'є

## ВСТУП

Сучасний стан електроенергетики неможливий без компенсуючих пристроїв. Компенсуючі пристрої необхідні для покращання коефіцієнта потужності, підтримки стійкості роботи електричних систем. Важливу і незамінну роль у забезпеченні якості електроенергії і стійкості роботи електричних мереж відіграють силові конденсатори для компенсації реактивної потужності, які називаються в існуючому стандарті конденсаторами для підвищення коефіцієнта потужності і в літературі мають назву статичних, косинусних, шунтових або силових конденсаторів.

У масових кількостях конденсатори почали випускатись з 60-х років, коли на промислових підприємствах розпочався рух за економію електроенергії і зниження її втрат. Строк служби силових конденсаторів, як правило, знаходиться у межах 10 – 20 років. Тому нині спостерігається масовий вихід з ладу конденсаторів, що були масово введені в експлуатацію 20 років тому. Ремонт силових конденсаторів є складною трудомісткою операцією з утриманням підвищених вимог до забезпечення герметичності конденсаторного бака і високого ступеня просушування ізоляції. Такий ремонт має велику вартість і невідгідний порівняно з вартістю конденсатора. Тому на підприємствах конденсатори експлуатуються до тих пір, поки не виникне потреба в їх заміні.

В сучасних економічних умовах неможливе повне зняття з експлуатації і заміна конденсаторів, які відпрацювали свій нормативний строк служби. Подальша їх експлуатація часто призводить до непередбаченого виходу з ладу, при якому можливі вибух конденсаторного баку та пожежа через горіння ізоляційного масла. Це призводить до значних збитків. Тому на промислових підприємствах намагаються використовувати силові конденсатори тільки при необхідності. Такі дії погіршують режими роботи електричних мереж.

Існуючі методи і засоби діагностики стану силових конденсаторів базуються на методах, що сформульовані 30 - 40 років тому. Ці методи малоефективні і не дозволяють визначити момент вичерпання робочого ресурсу конденсаторів. Розробка систем технічної діагнос-



тики, що орієнтовані на визначення залишкового ресурсу, створює можливість переходу до більш економічної і ефективної стратегії технічного обслуговування електрообладнання за його станом. Такі системи дозволили б вирішити проблему безпеки експлуатації конденсаторів і забезпечити ефективність заходів з компенсації реактивної потужності на промислових підприємствах.

Ця монографія присвячена методам визначення залишкового ресурсу силових конденсаторів за допомогою ІВС для попередження їх непередбаченого виходу з ладу і запобігання аварійної ситуації на енергетичних та промислових підприємствах.

# РОЗДІЛ 1

## СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СИЛОВИХ КОНДЕНСАТОРІВ

### 1.1. Аналіз силових конденсаторів як об'єкта діагностування

Силові конденсатори широко використовуються в пристроях повздовжньої компенсації реактивності ліній електропередач, в силових перетворювачах та потужних фільтрах частот. Це найбільш розповсюджений засіб компенсації реактивної потужності в електричних мережах до 500 кВ і на промислових підприємствах [1,2]. В порівнянні з іншими існуючими в промисловості засобами компенсації конденсатори мають такі переваги: малі питомі втрати активної потужності; відсутність частин, що обертаються; простота монтажу й експлуатації, порівняно невеликими капіталовкладеннями; можливість гнучкого підбору будь-якої необхідної потужності пристрою компенсації; відсутність значних шумів під час роботи та інше.

В промислових електромережах [3, 4] використовуються як окремі компенсуючі пристрої, що складаються з батареї конденсаторів та автоматичного регулятора, так і комплектні компенсуючі пристрої з автоматичним регулюванням реактивної потужності типів ККУ-0,38, ККУ-0,38-Н, КУ, КУН. У вітчизняних компенсуючих пристроях використовуються конденсатори таких типів: КМ, КМ2, КМА, КМ2А, КС, КС2, КСА, КС2А, КСО, КСК, КСК2, КСЭ, КЭЖ і КЭФ [5, 6, 7].

Силові косинусні конденсатори складаються з пакетів секцій розміщених у герметичному корпусі, який заповнений просочувальною сумішшю. Секція являє собою спіральню намотаний рулон зі стрічок діелектрика й алюмінієвої фольги [8], що виконує роль електродів. Конструкція корпусу, розміри і компонування секції залежать від умов охолодження [9, 10]. Для активного діелектрика використовується конденсаторний папір сортів КОН, КОН-2, СКОН, МКОН, ЭМКОН, АНКОН [11, 12, 13]. Використання конденсаторного паперу в декілька шарів забезпечує надійне перекриття наскрізних отворів і

провідникових включень. Для просочення паперу застосовуються нафтові, касторові масла, трихлордифеніл [12, 14, 15]. Також використовують і інші синтетичні рідини, які мають кращі за традиційні речовини показники. Основні фізико-хімічні показники просочувальних діелектриків наведені в таблиці А1 (додаток А). Але в зв'язку з порівняно складною технологією утилізації для силових конденсаторів [16] поширене використання просочення нафтовим маслом та трихлордифенілом.

Трифазні конденсатори з'єднуються в батареях паралельно [2, 3, 4] незалежно від схеми їх внутрішніх з'єднань. Переважна більшість пристроїв з однофазними конденсаторами зроблені за схемою з'єднання фаз батареї трикутником з паралельним з'єднанням конденсаторів в кожній фазі. З'єднання фаз батареї зіркою при паралельному з'єднанні однофазних конденсаторів у кожній фазі використовується у нас дуже рідко, а саме тоді, коли номінальна напруга конденсаторів з якоїсь причини дорівнює не лінійній, а фазній напрузі мережі або близька до останньої.

Однофазні конденсаторні батареї розповсюджені мало. Однією з галузей їх використання є компенсація однофазних індуктивних споживачів значної потужності, наприклад деяких видів електричних печей. Однофазні батареї малої потужності також зустрічаються в сільських електричних мережах.

З наведеного аналізу випливає, що в даний час в Україні, а також в країнах СНГ найбільше розповсюдження мають силові косинусні конденсатори з просоченням нафтовим маслом або трихлордифенілом, найчастіше зустрічається з'єднання фаз батареї конденсаторів за схемою "трикутник", тому в цій роботі розглядаються тільки силові конденсатори з вказаним видом ізоляції і класом напруги до 500 кВ.

Слід додати, що ремонт силових конденсаторів, як герметичного обладнання, можливий тільки в спеціальних умовах, тому, як правило, конденсатори експлуатуються до повного виходу з ладу.

З метою спрощення запису в подальшому під словом конденсатор будемо розуміти силовий косинусний конденсатор з просоченням нафтовим маслом або трихлордифенілом. Такі конденсатори призначені для роботи при температурі навколишнього середовища від  $-40^{\circ}\text{C}$  ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) до  $+55^{\circ}\text{C}$ , відносній вологості повітря 80% при температурі

20°C. Конденсатори виготовляються в корпусах трьох габаритів: нульового, першого і другого. За якістю виконання конденсатори діляться на п'ять серій, що наведено в табл. А2 (додаток А) разом зі значенням гамма-відсоткового ресурсу конденсатора (табл. А3).

## **1.2. Задача технічної діагностики силових конденсаторів**

Діагностування – це процес визначення технічного стану об'єкта або системи з визначеною точністю, який може включати вирішення задач визначення працездатності, пошуку дефектів і прогнозування зміни стану об'єкта діагностування [17, 18, 19].

Аварія в будь-якому елементі енергосистеми може призвести до припинення подачі електроенергії споживачам, роботи промислових і сільськогосподарських підприємств, транспорту та інше. Тому всі елементи енергосистеми повинні бути достатньо надійними. Виникає необхідність в діагностуванні обладнання енергосистеми, в тому числі і компенсуючих пристроїв, які забезпечують якість електроенергії, підтримують економічність та стійкість роботи електричних мереж [20].

Надійність функціонування конденсаторів залежить від точності визначення їх ресурсу працездатності, строку служби, що залежить від умов експлуатації конденсаторів: величини і якості прикладеної напруги, умов охолодження та інших факторів [21].

Метою діагностування є забезпечення найбільш економічної експлуатації електрообладнання при заданому рівні надійності, скорочення до мінімуму витрат на технічне обслуговування і ремонт через оцінку його ресурсу працездатності і максимально можливого уникнення аварійного виходу обладнання з ладу [22, 23]. Головними методами в досягненні цієї мети є: визначення поточного технічного стану електрообладнання і встановлення безперервного контролю для потенційно ненадійного обладнання, експлуатація якого ще можлива невідзначено тривалий термін [24, 25].

Завдання діагностування конденсаторів полягає у встановленні:  
1) необхідності виведення обладнання з експлуатації; 2) необхідності

ремонтних дій; 3) причин можливих відмов електрообладнання; 4) якості проведення ремонтних робіт.

В роботі [26] перераховуються методи і засоби діагностування для проведення планового контролю, технічного обслуговування і поточних ремонтів електрообладнання (рис.1.1). В енергосистемах традиційно використовується система планово-попереджувальних ремонтів (ППР) [27], яка передбачає періодичне проведення технічного обслуговування і ремонтів конденсаторів через наперед визначені або встановлені строки. Недоліком системи ППР є порівняно велика трудомісткість технічного обслуговування і ремонтів силових конденсаторів, оскільки більшість робіт є регламентованими. Наприклад, ремонт конденсатора [28] потребує таку сукупність робіт: виявлення і усунення пошкоджень в конденсаторі (власне ремонт); вакуумної обробки конденсаторів і заливки їх попередньо підготовленим маслом; випробувань конденсаторів після ремонту. При цьому виконання робіт потребує по можливості три окремих приміщення, до яких існують підвищені вимоги щодо чистоти, пожежної безпеки, вентиляції і опалення.

У відповідності з положеннями ППР пропорційно зростанню кількості об'єктів обслуговування збільшується і загальна трудомісткість їх експлуатації, що потребує підвищення кількості обслуговуючого персоналу.

Оскільки більшу частину конденсаторів встановлюють на підстанціях, що не мають постійного чергового персоналу, а також оскільки проведення періодичних оглядів і випробувань згідно ППР порівняно рідке, то виявлення небезпечних змін стану конденсаторів не завжди виконується своєчасно.

Таким чином, існуюча система технічного обслуговування і ремонтів електрообладнання за ППР не завжди є оптимальним заходом. Відключення для профілактики і планових ремонтів справного електрообладнання приводить до невиправданих витрат. У проміжку між ППР не завжди виявляються приховані дефекти, які продовжують розвиватись після завершення ППР, а це, в свою чергу, приводить до необхідності проведення більш дорогих і тривалих



Рис. 1.1. Схема використання методів та засобів діагностування електрообладнання

аварійних ремонтів. Хоча вважається, що при належному виконанні ППР аварій не повинно бути.

Більш раціональною є система обслуговування за технічним станом електрообладнання [29]. Це — плановий вид ремонту, термін і необхідний обсяг робіт якого визначаються виявленими дефектами. Для організації такого обслуговування необхідні засоби, що дозволяють оцінити стан об'єкта на даний момент, простежити його зміну за останній час і спрогнозувати можливість функціонування на найближче майбутнє.

Перехід до такого обслуговування пов'язаний з використанням нових діагностичних параметрів, сучасних методик їх отримання і подальшого аналізу (рис.1.2) і має декілька шляхів. Апаратний шлях полягає у введенні нових або додаткових систем керування, у встановленні сенсорів і апаратури для збору інформації, контролю, сигналізації і керування. За техніко-економічним розумінням цей шлях ефективний на невеликих підприємствах, що не мають розвинутих автоматичних систем управління.

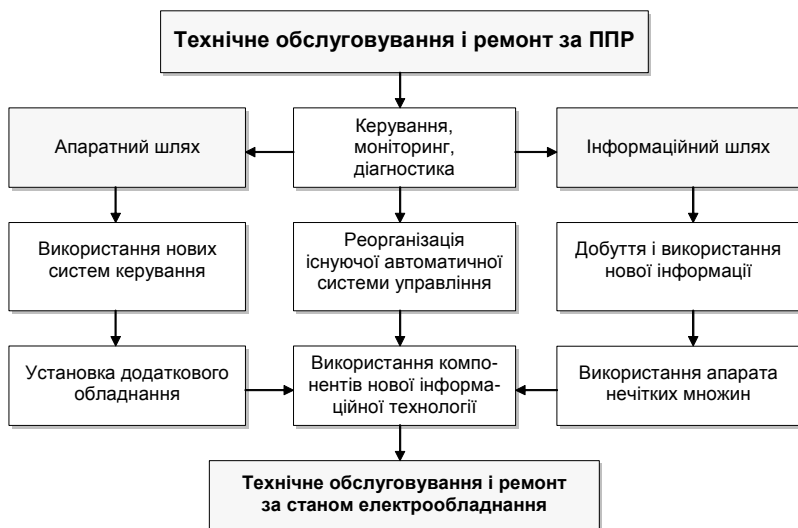


Рис.1.2. Ілюстрація переходу від ППР до системи обслуговування за технічним станом електрообладнання

Суть інформаційного шляху – використання інформаційних методів теорії нечітких множин у зв'язку з нечіткістю, багатозв'язковістю і невизначеністю інформації, що надходить для обробки. Автоматизація вироблення керуючих рішень перекладається на експертні системи. Існуючі на підприємствах автоматичні системи управління здобувають додаткові функції системи On-line Monitoring і більш повної діагностики електрообладнання.

Ще один підхід до здійснення організації ремонту електрообладнання за його станом пов'язаний з "виробленням і споживанням ремонтної послуги" [30]. Суть його в тому, що по мірі зношення електрообладнання виникає необхідність заміни його деталей новими. Це є попитом обладнання на "ремонтну послугу". Якщо цей попит не задовольнити, зношена деталь зруйнується, припиниться функціонування обладнання і виникне вже аварійний попит на ремонтну послугу. Критеріями оптимізації задач вироблення і споживання ремонтної послуги є: точність прогнозування моментів появи попиту на неї; можливість її пропозиції в розмірі попиту для кожного моменту часу; забез-

печення її високої якості; максимальне зниження вартості простою електрообладнання в ремонті.

Таким чином, існує необхідність вдосконалення системи ППР конденсаторів шляхом розробки і використання її нових форм. Для вирішення задач діагностування і автоматизації цього процесу вигідним є застосування сучасних високонадійних засобів обчислювальної техніки, зокрема мікропроцесорної техніки. В останній час, завдяки вдосконаленню технології виробництва, засоби мікропроцесорної техніки мають не тільки високу надійність, але й низьку вартість. На цій основі можливе створення автоматизованої системи діагностування силових конденсаторів.

### **1.3. Методи і засоби контролю технічного стану силових конденсаторів**

Старіння конденсаторів головним чином визначається старінням ізоляції [31, 32], тому при розробці методів діагностування стану силових конденсаторів слід акцентувати увагу на цьому факторі. На цей час в електротехнічній галузі проведено багато досліджень ізоляції і її режимів роботи, реалізовано і запропоновано до використання безліч методів і засобів визначення стану конденсаторної ізоляції. З точки зору технічної діагностики не всі методи придатні до практичної реалізації. Тому зробимо короткий огляд існуючих розробок і виконаємо впорядкування класифікації методів і засобів визначення стану конденсаторів з точки зору технічної діагностики.

#### **1.3.1. Методи ідентифікації електричного старіння ізоляції**

В процесі експлуатації на внутрішню ізоляцію конденсатора діють електричні навантаження, вони викликають в ізоляції складні іонізаційні, хімічні процеси, наслідком яких є поступове погіршення властивостей діелектрика, яке іменується електричним старінням. Як правило, ці зміни властивостей ізоляції незворотні і завершуються її пробоем.

Зі збільшенням напруги, прикладеної до ізоляції будь-якого типу, темпи електричного старіння збільшуються. Для області відносно малих середніх строків служби (до  $10^3$ - $10^4$  год.) експериментально



встановлена залежність строку служби  $\tau$  від значення напруги  $U$  [33] вигляду

$$\tau = \frac{A}{U^n}, \quad (1.1)$$

де  $A$  – стала, значення якої залежить від властивостей ізоляції;  $n$  – показник ступеня, який залежить від конструктивних особливостей ізоляції і різновиду напруги, що впливає на діелектрик. Для паперово-масляної ізоляції з різко неоднорідним електричним полем (конденсаторного типу) при напрузі промислової частоти  $n = 4 \div 8$ . Графік залежності  $\tau = f(U)$ , що відповідає формулі (1.1), побудований у подвійному логарифмічному масштабі (рис 1.3, крива 1).

Для області великих строків служби (більше  $10^4$  год.) кількість експериментальних даних порівняно невелика через велику вартість і тривалість експериментів. Тому хід залежності  $\tau = f(U)$  в цій області визначений з меншою достовірністю. Але встановлено, що по мірі зниження напруги  $U$  строки служби в цій області збільшуються швидше, ніж впливає з (1.1), а нижче деякої напруги стають необмежено довгими (рис.1.3, крива 2). Такому ходу залежності  $\tau = f(U)$  якісно відповідає вираз

$$\tau = \frac{A_1}{(U - U_{ч.р.})^{n_1}}, \quad (1.2)$$

де  $U_{ч.р.}$  – напруга появи в ізоляції часткових розрядів, які являються основною причиною електричного старіння внутрішньої ізоляції.

В конденсаторах, що просочені нафтовим маслом, електричне старіння полягає в розкладанні просочувальної речовини під дією ч.р., що супроводжується газовиділенням і утворенням осаду. В утворених газових включеннях виникають ч.р. значно більшої інтенсивності (критичні ч.р.), які призводять до подальшого зростання газових включень, зниженню напруженості критичних ч.р., руйнуванню клітковини і пробою діелектрика. Підвищення газостійкості нафтового масла помітно збільшує стійкість ізоляції до дії ч.р. [34, 35].

Виділення газу під впливом ч.р. внаслідок розкладу вологи, що залишилась у папері проявляється в ізоляції, яка недостатньо добре оброблена термовакuumним способом, і суттєво зменшується з покращанням процесу сушіння та просочення.

Напруженість електричного поля визначає область розвитку ч.р. Характерні залежності строку служби від напруженості електричного поля при змінній напрузі 50 Гц та постійної напрузі для паперово-масляної конденсаторної ізоляції наведені на рис.1.4. Вони добре відображаються формулою залежності пробивної напруги  $U_{пр}$  від часу витримки  $\tau$  в певному інтервалі часу, в якій

$$U_{пр} = A \cdot \tau^{-1/a}, \quad (1.3)$$

де показник степеня  $1/a$  залежить від роду напруги, значення напруженості, товщини діелектрика, виду ізоляції, технології виготовлення [35] (для змінної напруги промислової частоти  $a = 5 \div 8$ ).

Інтенсивність електричного старіння залежить від наявності твердих провідникових включень, що збільшують локальне значення напруженості електричного поля. Тому при наявності твердих частинок строк служби конденсаторів скорочується.

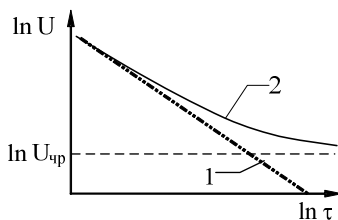


Рис.1.3. Залежність середнього строку служби  $\tau$  внутрішньої ізоляції від діючої напруги

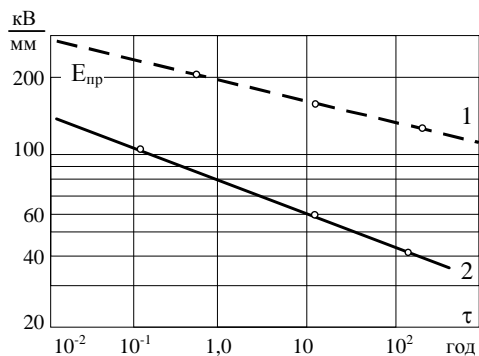


Рис.1.4. Залежність пробивної напруги конденсаторної ізоляції від часу витримки при змінній напрузі 50 Гц (1) і при постійній напрузі (2),  $d_c=80$  мкм

Зменшення щільності паперу приводить до зменшення короткочасної електричної міцності ізоляції, але веде до збільшення напруги виникнення ч.р. На рис.1.5 подана залежність середнього строку служби паперово-масляних секцій від щільності паперу [36]. Зменшення товщини діелектрика секції приводить до збільшення напруженості ч.р. і уповільнення процесів старіння при заданих напруженостях (рис.1.6) [36].

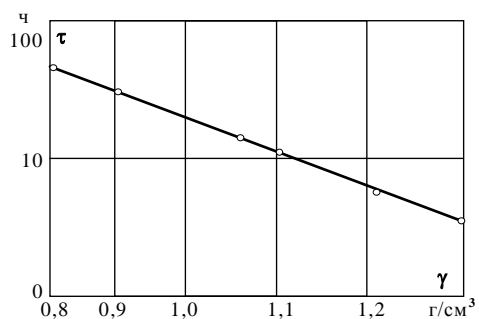


Рис.1.5. Вплив щільності конденсаторного паперу на середній строк служби паперово-масляних секцій  $d_c=6 \times 12$  мкм,  $E=50$  кВ/мм

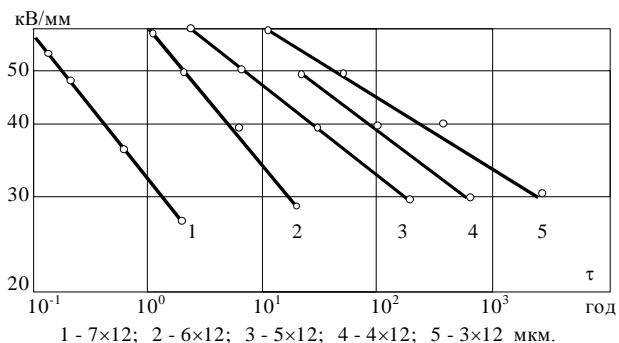


Рис.1.6. Вплив напруженості електричного поля на середній строк служби секцій з різною товщиною діелектрика між обкладками

В [37] запропонована формула, яка зв'язує строк служби конденсаторів  $\tau_{сл}$  з напруженістю електричного поля  $E$  (кВ/мм), температурою  $\theta$  ( $^{\circ}C$ ), частотою прикладеної напруги  $f$  (Гц), товщиною діелектрика  $d_c$  (мкм), щільністю паперу  $\gamma_6$  (г/см<sup>3</sup>), питомим газоутворенням нафтового масла  $B_r$  (см<sup>3</sup>/Дж), початковим газовміщенням просочувальної речовини  $K$  (% по об'єму)

$$\tau_{сл} = \frac{C \cdot 10^{(g-b\theta)}}{E^a f^1 d_c^m B_r^a \gamma_6^k K^p}, \quad (1.4)$$

де  $C$  – постійна, що залежить від умов випробування;  $l=0,8$ ;  $k=5\div 6$ ;  $p=0,7$ ;  $a=11,6 - 0,0856 \cdot d_c$ ;  $m=10 - 0,1 \cdot E$ ;  $g=10$ ;  $b=0,1 \cdot K^{-1}$

В ізоляції секції конденсатора можна виділити дві характерні області виникнення часткових розрядів: перша область сильно неоднорідного поля, яка виникає біля краю фольги і зберігається на відстані від краю обкладки на порядок більший, ніж товщина діелектрика; друга область – плоскопаралельного поля, що має місце під обкладками на великих відстанях від краю фольги, де напруженість електричного поля в кожному із шарів залишається незмінною. В більшості випадків напруженість часткових розрядів (ч.р.) виражається середньою розрахунковою напруженістю електричного поля

$$E_{\text{ч.р.}} = \frac{U_{\text{ч.р.}}}{d_c}, \quad (1.5)$$

де  $U_{\text{ч.р.}}$  – напруга, що прикладена до обкладок секції конденсатора і яка призводить до виникнення ч.р. визначеної інтенсивності;  $d_c$  – товщина твердої фази діелектрика секції [10, 38, 39].

В конденсаторній ізоляції ч.р. при змінній напрузі виникають найчастіше на краю електрода, де є підвищена напруженість електричного поля. Враховуючи, що з ростом напруги кількість областей, де виникають ч.р., збільшується, то залежність потужності  $P_n$  початкових ч.р. від напруги  $U$

$$P_n = q_n n_{\text{ч.р.}} U = A \cdot U^a, \quad (1.6)$$

де  $q_n$ ,  $n_{\text{ч.р.}}$ ,  $P_{n0}$  – заряд, кількість і потужність ч.р. при напрузі початкових ч.р., нижче якої імовірність виникнення початкових ч.р. достатньо мала (не перевищує  $3 \cdot 10^{-5}$ ),  $a$  – коливається від 4 до 8,  $A$  – ваговий коефіцієнт [35].

Одночасно з утворенням газоподібних продуктів відбувається безперервне поглинання газів як за рахунок розчинення їх у діелектрику, так і за рахунок хімічного зв'язування газу (у більшості водню). Коли інтенсивність газовиділення перевищує інтенсивність поглинання газів, виникають умови для створення газових бульбашок. Внаслідок пробіїв бульбашок на 2-3 порядки зростає інтенсивність ч.р. (виникають критичні ч.р.), що призводить до подальшого росту цих бульбашок і суттєвому зниженню напруги виникнення ч.р. [35].

Кількість газу, поглиненого та виділеного в одиницю часу, може бути визначена з співвідношень

$$h_\tau = \frac{dH_\tau}{d\tau} = \beta(H_0 - H_\tau), \quad (1.7)$$

$$h_{\text{ч.р.}} = V_\tau P_{\text{ч.р.}}, \quad (1.8)$$

де  $H_0 = C_\tau V_p$  – максимальна кількість газів, яка може бути поглинута даним об'ємом рідкого діелектрика;  $H_\tau$  – кількість газів вже поглину-

тих на момент часу  $\tau$ ;  $\beta$  - коефіцієнт, який характеризує швидкість газопоглинання;  $V_r$  – питома кількість газів, яка виділяється при розкладі рідкого діелектрика ч.р. з енергією в 1 Дж.

Коефіцієнт газовиділення залежить від хімічного складу рідини і від температури. Залежність  $V_r$  від температури  $\theta$  досить добре апроксимується формулою

$$V_r = V_{r0} \cdot \left( \frac{\theta}{\theta_0} \right)^n, \quad (1.9)$$

де  $V_{r0}$  – коефіцієнт газовиділення в  $\text{см}^3/\text{Дж}$  при температурі  $\theta_0$  і  $n=0,8$ . При  $\theta_0=20^\circ\text{C}$  для товарного конденсаторного масла  $V_{r0}=4 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{Дж}$  [40].

Процеси старіння при напруженостях, близьких до робочих (крім процесів окислення), визначаються початковими ч.р. Як було показано в [40], можна припустити, що строк служби ізоляції є обернено-пропорційним до  $P_{\text{ч.р.}}$ , у відповідності з рівнянням

$$\tau_{\text{сл}} = \frac{R}{B \cdot P_{\text{ч.р.}}}, \quad (1.10)$$

де  $R$  – робочий ресурс ізоляції;  $B$  – коефіцієнт, що визначає кількість зруйнованого діелектрика (витрати ресурсу) за рахунок ч.р. з енергією 1 Дж.

Строк служби визначається часом, який необхідний для утворення критичної концентрації газових бульбашок, після появи яких напруга ч.р. сильно знижується, з'являються критичні ч.р., різко зростає інтенсивність ч.р. і відбувається швидке руйнування ізоляції [35]

$$\tau = \frac{\beta H_0 - h_{\text{ч.р.}}}{\beta h_{\text{ч.р.}}}.$$

Враховуючи, що  $h_{\text{ч.р.}} \ll \beta H_0$  і вираз (1.8), отримуємо

$$\tau_{\text{сл}} \approx \frac{H_0}{h_{\text{ч.р.}}} = \frac{C_r V_p}{(V_r P_{\text{ч.р.}})}. \quad (1.11)$$

Залежність  $P_{ч.р.}$  від напруги для змінної напруги виражається (1.6). Тоді

$$\tau_{сл} = \frac{C_r V_p}{(B_r A_2 U^a)} = AU^{-a}, \quad (1.12)$$

де для змінної напруги промислової частоти  $a=5\div 7$ .

Формула (1.12) досить добре відповідає експериментально отриманій залежності (1.3).

При роботі конденсаторів під несинусоїдальною напругою виникає питання залежності характеристик ч.р. від частоти прикладеної напруги. Підвищення частоти напруги призводить до збільшення інтенсивності ч.р., це пояснюється збільшенням числа півперіодів, тобто числа  $n_{ч.р.}$  розрядів в секунду. Збільшення  $n_{ч.р.}$  та  $P_{ч.р.}$  з ростом частоти відбувається майже прямо пропорційно частоті (рис.1.7). На основі експериментальних даних була встановлена [35] залежність

$$P_{ч.р.} = A_4 f^{0,62}. \quad (1.13)$$

За [35] при достатньо великих частотах напруга критичних ч.р. прямує до значення початкових ч.р. за залежністю

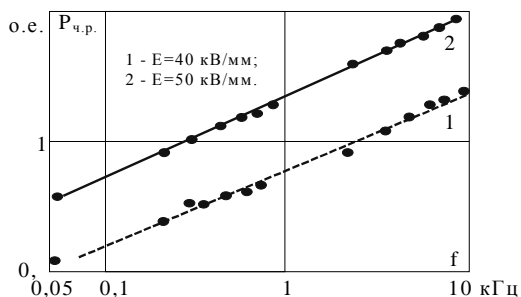


Рис.1.7. Залежність потужності ч.р. від частоти прикладеної напруги,  $d=30$  мкм

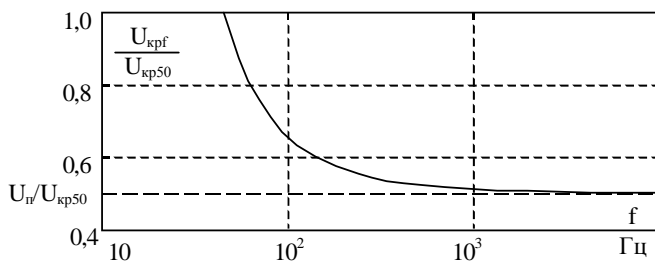


Рис.1.8. Залежність напруги критичних ч.р. від частоти прикладеної напруги для паперової ізоляції

$$U_{\text{кр}f} = \frac{50}{f}(U_{\text{кр}} - U_{\text{п}}) + U_{\text{п}}, \quad (1.14)$$

Розрахункова залежність, обчислена за (1.14) для ізоляції товщиною 80 мкм з конденсаторного паперу, просоченого нафтовим маслом, співпадає з аналогічною дослідною залежністю, і вона представлена на рис.1.8. Як видно з рисунку, при  $f > 1 \text{кГц}$  напруга критичних ч.р. практично не відрізняється від напруги початкових ч.р.

Також слід зазначити, що для паперово-масляної ізоляції відсутня помітна залежність характеристик ч.р. при зміні температури від  $-40$  до  $+80^\circ\text{C}$ . Має місце дуже слабка тенденція до росту напруженості ч.р. з ростом температури.

### 1.3.2. Методи ідентифікації теплового старіння ізоляції

При робочих температурах ( $60\text{-}130^\circ\text{C}$ ) в діелектричних матеріалах, що використовуються у виготовленні внутрішньої ізоляції конденсаторів, виникають або різко прискорюються хімічні реакції, суть яких залежить від хімічного складу матеріалів, вологовмісту, доступу кисню з навколишнього повітря і ряду інших факторів. Також температура діелектрика залежить як від конструкції конденсатора та умов його експлуатації (умови охолодження, температури навколишнього середовища та ін.), так і від напруженості електричного поля, що визначає тепловиділення в одиниці об'єму. Результат таких процесів –



погіршення властивостей всієї ізоляції в цілому, яке називають тепловим старінням.

У рідких діелектриках в результаті теплового старіння утворюється газоподібні, рідкі і тверді продукти хімічних реакцій. По мірі накопичення цих продуктів, які забруднюють ізоляцію, провідність і діелектричні втрати зростають, а електрична міцність знижується. В комбінованій ізоляції, що містить рідкі і тверді матеріали, теплове старіння тягне за собою як зниження механічної міцності відповідних елементів, так і погіршення електричних характеристик всієї ізоляції.

Темпи теплового старіння внутрішньої ізоляції визначаються швидкостями хімічних реакцій [35], що залежать від температури у відповідності з рівнянням Арреніуса

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (1.15)$$

де  $k$  – постійна швидкості хімічних реакцій, тобто кількість речовин, що вступають в реакцію в одиницю часу;  $E_a$  – енергія активації для реакції, що розглядаються;  $R$  – універсальна газова постійна;  $T$  – абсолютна температура;  $A$  – постійний коефіцієнт.

У виразі (1.15) постійна швидкості реакції  $k$  являє собою величину, що визначає відносне число ефективних зіткнень часток, які завершуються хімічною взаємодією. Використання рівняння Арреніуса з метою встановлення часу, за який ізоляція досягає свого критичного стану, дає вираз для строку служби ізоляції

$$\ln \tau = \frac{E_a}{RT} - G, \quad (1.16)$$

де  $G = \ln A - \ln \left( \ln \frac{C_0}{C} \right)$ ;  $C_0$  - початкова концентрація молекул, що не прореагували;  $C$  - концентрація молекул, які не прореагували за момент часу спостереження. Для ізоляційних матеріалів класу А нагрівостійкості ізоляції усередненні значення постійних  $E_a=7,90$  (Дж/моль);  $G = 15,3$ ;  $E_a/R = 0,95 \cdot 10^{-4}$  (°C) [40].

Якщо відомий строк служби ізоляції  $\tau_1$  при температурі  $T_1$ , то строк служби  $\tau_2$  при температурі  $T_2$  можливо визначити за формулою

$$\tau_2 = \tau_1 \cdot e^{\frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)}. \quad (1.17)$$

Вважають, що строк служби при тепловому старінні обернено пропорційний швидкості хімічних реакцій [35]. Тоді за рівнянням Арреніуса можна отримати такий вираз для відношення строків служби ізоляції при різних температурах  $T_1, T_2$ .

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = 2^{\frac{-(T_1 - T_2)}{\Delta T}}, \quad (1.18)$$

де  $\tau_1$  і  $\tau_2$  – строки служби відповідно при температурах  $T_1, T_2$ ;  $\Delta T$  – підвищення температури, що викликає скорочення строку служби ізоляції при тепловому старінні в 2 рази.

Значення  $\Delta T$  для різних видів внутрішньої ізоляції знаходиться в межах від 8 до 12°C, для ізоляційних матеріалів класу А  $\Delta T = 8^\circ\text{C}$ . Вираз (1.18) досить добре узгоджується з дослідними даними, що отримані для різних видів внутрішньої ізоляції. Цей вираз ще називають правилом "восьми градусів" [26].

Однією з високо інформативних характеристик стану електричної ізоляції, яка визначає втрати на нагрів ізоляції, що є основною причиною її теплового старіння, є тангенс кута діелектричних втрат ( $\text{tg}\delta$ ). За [33]

$$\text{tg}\delta = \frac{\gamma + \omega \epsilon_0 \epsilon_r''}{\omega \epsilon_0 \epsilon_r'}, \quad (1.19)$$

де  $\gamma$  – питома провідність речовини;  $\epsilon_0$  – електрична постійна;  $\epsilon_r', \epsilon_r''$  – відповідно дійсна і уявна відносні діелектричні проникності;  $\omega$  – кутова частота. Як видно,  $\text{tg}\delta$  містить інформацію про процеси провідності та поляризації.

За [33] залежність  $\text{tg}\delta$  від температури має вигляд

$$\text{tg}\delta = \text{tg}\delta_0 \exp[a(T - T_0)], \quad (1.20)$$

де  $\text{tg}\delta_0$  – тангенс кута діелектричних втрат при температурі  $T=T_0$ .

Існує зв'язок між  $\text{tg}\delta$  і концентрацією хлористого водню і вуглецю в ізоляції. Концентрація продуктів розкладу залежить від енергії ч.р., що втрачається в ізоляції. Тому значення  $\text{tg}\delta$  залежить від енергії ч.р., що виділяється в ізоляції за певний час [38]. За проведеними дослідженнями [34] у конденсаторів з просоченням нафтовим маслом після зняття напруги  $\text{tg}\delta$  знижується практично до початкового значення, а у конденсаторів з просоченням синтетичними рідинами – збільшується. Зниження  $\text{tg}\delta$  з моменту відключення конденсатора від напруги можна пояснити процесом деіонізації. У конденсаторів з плівково-паперовим діелектриком і просоченням нафтовим маслом за [34]  $\text{tg}\delta$  зменшується вдвоє приблизно за 6 годин.

Слід додати, що використання газостійких синтетичних просочувальних рідин (фенілкселілетан, ізопропілдіфеніл та інше) забезпечило зниження електричного старіння плівково-просоченої ізоляції за рахунок зменшення ролі часткових розрядів. В цих умовах руйнування ізоляційної конструкції відбувається в більшій мірі за рахунок теплового старіння [41]. На інтенсивність теплового старіння суттєво впливають процеси взаємодії полімерної плівки і просочувального діелектрика [42].

Одним з найважчих за перегрівом режимів роботи конденсаторів є режим роботи під несинусоїдальною напругою [43, 44]. Для надійної експлуатації в такому режимі необхідно, щоб нагрів конденсаторів не перевищував допустимого значення, тобто  $T_k \leq T_{\text{доп}}$ . В [45, 46] показано, що проблема розрахунку теплового режиму конденсатора при дії на нього несинусоїдальної напруги може бути вирішена при комплексному використанні експериментально знятих температурно-частотних залежностей тангенса кута втрат конкретних конденсаторів  $\text{tg}\delta(\omega, T)$  та аналітичних методів розрахунку потужності втрат і теплового режиму конденсатора.

Для визначення перегріву конденсатора несинусоїдальну криву прикладеної до нього напруги розкладають в ряд Фур'є і визначають теплові втрати за відомим виразом

$$\Delta P = \sum_{v=1}^n U_v^2 v \omega_0 C \operatorname{tg} \delta_v. \quad (1.21)$$

В роботі [47] запропоновано спрощений метод розрахунку потужності втрат  $\Delta P$  в косинусних конденсаторах на основі дослідження впливу вищих гармонік напруги  $v$ . Отримана формула має вигляд

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ном}} \left( \sum_{v=1}^{v=20} U_{*v}^2 v + 1,5 \sum_{v=21}^{v=60} U_{*v}^2 v \right). \quad (1.22)$$

Однак за цією методикою  $\operatorname{tg} \delta$  конденсатора знаходяться за спрощеним математичним виразом (у відповідності з [48] в діапазоні частот до 1000 Гц значення  $\operatorname{tg}_v \delta$  практично можна прийняти рівним номінальному, а в діапазоні частот 1000 - 3000 Гц воно зростає приблизно в 1,5 рази), а ємність конденсатора  $C$  як функції від частоти приймається незмінною (у відповідності з [49] в області частот при  $v \leq 60$   $C_v \approx C_{\text{ном}} = \text{const}$ ).

В [50] показано, що при розрахунку теплового режиму конденсатора немає необхідності вимірювати частотні характеристики  $\operatorname{tg} \delta(\omega)$  кожного типоміналу конденсатора. Достатньо мати частотну характеристику  $\operatorname{tg} \delta(\omega)$  (або параметрами релаксаторів) діелектрика і значення  $\operatorname{tg} \delta$  на фіксованій частоті. При цьому є можливість розрахунковим шляхом відтворити частотну залежність  $\operatorname{tg} \delta(\omega)$  конденсатора. Однак цей метод не достатньо розроблений для використання його на практиці, частотні характеристики  $\operatorname{tg} \delta(\omega)$  отримані не для всіх діелектриків, які застосовуються в силових конденсаторах.

### **1.3.3. Методи технічної діагностики силових конденсаторів**

#### ***1.3.3.1. Методи фізико-хімічної діагностики***

Ідеологічною основою фізико-хімічної діагностики є зміна початкового хімічного складу ізоляційної рідини, тобто утворення нових речовин і зменшення кількості спеціально введених компонентів [51]. Кількісна оцінка концентрації цих компонентів і швидкості зміни концентрацій в мінеральному маслі лежить в основі визначення стану ізоляції і глибини впливу енергетичних дій на неї. Головними з них в теперішній час є: визначення легких газоподібних компонентів ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_3\dots$ ,  $C_4\dots$  і, можливо,  $C_5\dots$ ); визначення води; визначення фуранових з'єднань; визначення антиоксиданту.

За аналізом хімічного складу ізоляційної рідини можна визначити вид дефекту і причини його появи. Процес визначення розвитку дефекту спирається на попередньо отримані знання з фізико-хімічної поведінки матеріалів ізоляції під дією тих чи інших факторів впливу. Аналіз хімічного складу речовин виконується за допомогою хроматографічних методів аналізу [52, 53].

Переваги методів фізико-хімічного діагностування – незалежність фізико-хімічних визначень від передачі електроенергії і, відповідно, від належних цьому завод. Але при цьому самі методи фізичної хімії не вільні від похибок і використовуються в межах досягнутої на цей час точності. Серед недоліків - можливість втрат "діагностичних" речовин за рахунок нових хімічних реакцій, за рахунок дифузії у навколишнє середовище і за рахунок абсорбції, або, навпаки, їх утворення по випадковим і незв'язаними з експлуатаційними впливами причинами. Також методика виявлення газів суттєво впливає на точність визначення концентрації газів, які контролюються, і потребує для використання лабораторних умов.

Існує спосіб визначення властивостей ізоляції електроустановки [54] за яким визначають таку частоту, при якій величина активного опору починає дорівнювати величині омичного опору. При цій або більшій частоті вимірюють тангенс кута повних втрат і ємність ізоляції. По розробленим фізико-хімічним залежностям визначають активний

опір струму абсорбції, абсорбційну ємність, тангенс кута абсорбції, тангенс кутів діелектричних і омичних втрат. За отриманими величинами визначають властивості низькочастотних поляризацій, діелектричні властивості, властивості провідності. Цей метод орієнтований на лабораторні умови діагностування і не може бути використаний для поточного діагностування конденсаторів під час їх експлуатації.

### ***1.3.3.2. Методи контролю конденсаторів шляхом вимірювання $\text{tg}\delta$ і ємності ізоляції***

Величина  $\text{tg}\delta$  є узагальненою характеристикою стану ізоляції, оскільки активна складова струму, яка викликається діелектричними втратами у місцевому дефекті, при вимірюванні відноситься до загального ємнісного струму конденсатора. Як правило, вимірювання  $\text{tg}\delta$  дозволяє виявити загальне погіршення ізоляції. Місцеві дефекти, а також зосереджені дефекти погано виявляються вимірюванням  $\text{tg}\delta$ . При вимірюваннях  $\text{tg}\delta$  оцінка стану конденсаторів повинна проводитися за його абсолютним значенням з врахуванням характеру зміни  $\text{tg}\delta$  і ємності порівняно до значень, що отримані при попередніх вимірюваннях або значень нормованих для температури 20°C з виконанням температурного перерахунку [9].

Вимірювання ємності ізоляції крім інформації про зміну структури ізоляції, що викликає зміну процесів поляризації, дозволяє виявити і місцеві грубі дефекти (пошкодження частини ізоляції). Степінь вияву дефектів також залежить від співвідношення між об'ємами ушкодженої і неушкодженої частин ізоляції.

**Мостовий метод.** Заводами-виробниками рекомендовано для вимірювання  $\text{tg}\delta$  і ємності використовувати схему моста Шерінга (рис.1.9) [9, 55]. В схемі, крім ізоляції з ємністю  $C_x$ , що випробується, також міститься зразковий конденсатор (ємність  $C_0$ ) з дуже малими діелектричними втратами (газова ізоляція). При регулюванні опору  $R_2$  і ємності конденсатора  $C_1$  вдається отримати рівновагу моста. При цьому

$$\text{tg}\delta = \omega \cdot C_1 R_1, \quad C_x = C_0 \cdot R_1 / R_2. \quad (1.23)$$

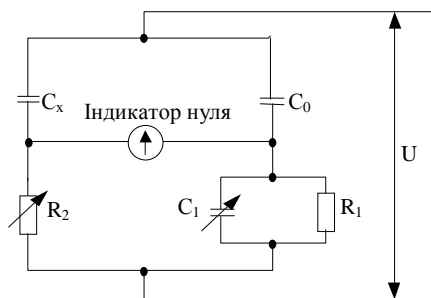


Рис.1.9. Схема моста Шерінга для вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат і ємності ізоляції

Вимірювальний міст Шерінга - мало розповсюджене обладнання, яке розраховане на порівняно велику ємність об'єкту вимірювання. Поряд з цим він потребує використання випробувального трансформатора потужністю в декілька десятків кВА. Тому рекомендація заводу виробника про вимірюванні  $\operatorname{tg}\delta$  може бути виконана тільки на дуже невеликій кількості установок. Так, наприклад, міст для вимірювання ємності і тангенсу кута втрат конденсаторів [56] і міст для виміру параметрів конденсаторів [57] можна використовувати тільки при відключенні конденсатора від мережі і в лабораторних умовах.

**Неврівноважено-компенсаційний метод.** Цей метод можна застосовувати у батареях, що складаються з трифазних конденсаторів, які мають з'єднання зірка [58], він дозволяє визначити зміни  $\operatorname{tg}\delta$  і ємності ізоляції.

При дефекті ізоляції струм несиметрії обумовлений провідностями  $Y$  конденсаторів 1-3 (рис.1.10) збільшиться на величину  $\Delta I$  і складе

$$\dot{I}'_{nc} = \dot{I}_{nc} + \Delta \dot{I}. \quad (1.24)$$

В покази також включається струм впливу обумовлений провідностями  $Y_v$ , які еквівалентні частковим ємностям 4-6 цих об'єктів відносно ошиновці, сусідніх апаратів, а також елементів розподільчих пристроїв

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 1282-88. Конденсаторы для повышения коэффициента мощности. Общие технические условия. - Взамен ГОСТ 1282-79; Введ. 01.01.89. - М.: Изд-во стандартов, 1988. - 17 с.
2. Поляков Б.А. Конденсаторные установки для повышения коэффициента мощности. -Л.: Госэнергоиздат, 1962. - 232 с.
3. Константинов Б.А., Зайцев Г.З. Компенсация реактивной мощности. - Л.: Энергия, 1976.- 104 с.
4. Красник В.В. Автоматические устройства по компенсации реактивных нагрузок в электросетях предприятий. - М.: "Энергия", 1975. – 112 с.
5. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник / В.П. Берзан и др.; под общ. ред. Г.С.Кучинского. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 656 с.
6. Горячева Г.А., Добромислов Е.Р. Конденсаторы: Справочник. - М.: Радио и связь, 1984. - 88 с.
7. Дэммер Дж.В.А., Нордерберг Г.М. Конденсаторы постоянной и переменной емкости / Под ред. В.Т.Ренне: Пер. с англ. - М.: Госэнергоиздат, 1963. - 313 с.
8. ГОСТ 618-73. Фольга алюминиевая, рулонная для технических целей.Технические условия. - Взамен ГОСТ 618.62; Введ. 01.01.75. - М.: Изд-во стандартов, 1973. - 11 с.
9. Техника высоких напряжений. Учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических специальностей вузов. Под общей ред. Д.В.Разеви́га. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: "Энергия", 1976. - 488 с.
10. Ренне В.Т., Багалей Ю.В., Фридберг И.Д. Расчет и конструирование конденсаторов. - К.: "Техніка", 1966. - 328 с.
11. Справочник по электротехническим материалам: В 3 т. Т.1 / Под ред. Ю.В. Корицкого и др. – 3-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 368 с.
12. Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения: Учебник для вузов; Под общ. ред. Г.С.Кучинского. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.



13. ГОСТ 1908-97. Бумага конденсаторная. Общие технические условия. - Взамен ГОСТ 1908-88Е; Введ. 01.01.98. - М.: Изд-во стандартов, 1987. - 32 с.
14. ГОСТ 18102-95. Масло касторовое медицинское. Технические условия. - Взамен ГОСТ 18102-72; Введ. 01.01.74. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 5 с.
15. ГОСТ 6757-96. Масло касторовое техническое. Технические условия. - Взамен ГОСТ 6757-73; Введ. 01.01.97. - М.: Изд-во стандартов, 1996. - 5 с.
16. Клушин Н.Д., Помялов Л.А., Малахов Н.Д. Отдельные вопросы утилизации и переработки силовых конденсаторов, отслуживших срок службы у потребителя // Энергетика - 1992 - №3 - с.55-60.
17. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. - Взамен ГОСТ 20911-75; Введ. 01.01.91. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 13 с.
18. Мозгалеvский А.В., Койда А. Н. Вопросы проектирования систем диагностирования. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. - 112 с.
19. Мозгалеvский А.В., Гаскаров Д. В. Техническая диагностика (непрерывные объекты). Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. школа, 1975. - 207 с.
20. Сафронов С.В., Прохода О.К., Медеров В.А., Никитин А.В. Техническое диагностирование устройств промышленной энергетики после длительной эксплуатации. // Промышленная энергетика - 1992 - №10 - С.33-36.
21. Назаров Н.И., Соколов В.П. Надежность силовых конденсаторов // Электротехническая промышленность. Аппараты высокого напряжения, трансформаторы, силовые конденсаторы. - вып.1.(21) - 1973. - С.34-35.
22. Сердаков А. С. Автоматический контроль и техническая диагностика. - К.: Техніка, 1985. - 184 с.
23. Доценко Б. И. Диагностирование динамических систем. - К.: Техніка, 1983. - 158 с.
24. Белый О. В., Гофман В. И. Распознавание состояний контролируемого объекта // Сборник трудов II Всесоюзного совещания по

- технической диагностике. Часть II. Непрерывные объекты, прогнозирование и технические средства диагноза. – Л. – 1972. – 216 с.
25. Основы технической диагностики. В 2-х книгах / Под ред. Пархоменко П.П. – М.: Энергия, 1976. – 123 с.
  26. Таран В. П. Диагностирование электрооборудования. – К.: Техніка, 1983. – 200 с.
  27. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 648 с.
  28. Аракелян В. Г., Дарьян Л. А., Лоханин Л. А. Хроматографический метод диагностики импульсных конденсаторов при их производстве. // Электричество. - 1992. - №1. - С.54-57.
  29. Сазыкин В.Г. Организационные аспекты эксплуатации изношенного электрооборудования. // Промышленная энергетика - 2000 - №4 - С.28-35.
  30. Макарецев А.И. Новый подход к организации ремонта оборудования и энергосетей промышленного предприятия с максимальной эффективностью. // Промышленная энергетика - 1996 - №2 - С.25-32.
  31. Вайда Д. Исследование повреждений изоляции. Пер. с венг. под ред. Д.В.Разевига. - М.: Энергия, 1968. - 400 с.
  32. Справочник по расчету режимов работы электрических конденсаторов / О.Л. Мезенин, М.Н. Гураевский, В.В. Конотоп, Б.Г. Набоба / Под ред. О.Л.Мезенина. - К.: Техніка, 1987. - 168 с.
  33. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов/ В.В.Базуткин, В.П.Ларионов, Ю.С.Пинталь; Под общ. ред. В.П.Ларионова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
  34. Преселенцев М.Ф., Гинзбург Е.Л., Ступин Ю.И. Пропитывающие диэлектрики для силовых конденсаторов// Электротехника – 1989 - №5 – С.47-51.
  35. Кучинский Г. С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1979. – 244 с.
  36. Варшавский Д. С. Пути повышения качества силовых конденсаторов. - М.: ЦИНТИ ЭП, 1963. - 216 с.

37. Варшавский Д. С. Ускоренные испытания конденсаторов переменного тока на срок службы. // Изв. вузов. Энергетика. - 1969. - №12.-С. 98-102.
38. Силовые электрические конденсаторы / Г. С. Кучинский, Н. И. Назаров, Г. Т. Назарова, И. Ф. Переселенцев. - М.: Энергия, 1975. - 247 с.
39. Г.Назаров, Ю.И.Ступин. Частичные разряды в пленочной конденсаторной изоляции, пропитанной различными жидкостями.// Электротехника – 1989 - №12 – С.43-44.
40. Кучинский Г.С. Высоковольтные импульсные конденсаторы. - Л.: Энергия, 1973. - 175 с.
41. Кучинский Г. С. Основные закономерности старения изоляции высоковольтного оборудования // Состояние и перспективы развития электрической изоляции. - 1987. - С. 3-4.
42. Андреев, Н. М. Журавлева, Н. П. Александрова, Л. Н. Галахова. Измерение эксплуатационных характеристик пленочно-пропитанной изоляции силовых конденсаторов вследствие взаимодействия ее компонентов. // Электротехника – 1991 - №3 – С. 69-71.
43. Расчет эксплуатационных характеристик и применение электрических конденсаторов / Б.П.Беленький, П.Н.Бондаренко, М.Э.Борисова и др. - М.: Радио и связь, 1988. - 240 с.
44. Дульнев Г.Н., Семьяшкин Э.М. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. - М.; Л.: Энергия, 1968. - 359 с.
45. Ануфриев Ю. Ф., Гусев В. Н., Смирнов В. Ф. Эксплуатационные характеристики и надежность электрических конденсаторов. - М.: Энергия, 1976.
46. Койков С. В., Мезенин О. Л., Михайлов В. А. Расчет тепловых характеристик конденсаторов при несинусоидальных напряжениях с учетом температурно-частотной зависимости тангенса угла потерь // Электричество. - 1990. - №1 – С.75-79.
47. Гидалевич Е. Д., Гашимова А. Р., Ахмедова Т. А. Упрощенный расчет мощности потерь в косинусных конденсаторах при несинусоидальном напряжении // Промышленная энергетика. - 1990. - №7. - С.27.

48. Ренне В.Т. Электрические конденсаторы. - Л. - М.: Энергия, 1969. - 226 с.
49. Эпштейн С.Л. Измерения характеристик конденсаторов. - М. - Л.: Энергия, 1971. - 147 с.
50. Мезенин О.Л., Михайлов В.А., Зуева С.В., Глинских Ю.С. Расчет температурно-частотных зависимостей тангенса угла потерь конденсатора на основе характеристик его диэлектрической структуры // Электротехника - 1992. - №10/11 – С.65-68
51. Аракелян В. Г., Дарьян Л. А. Идеологическая и приборно-аналитическая база физико- химического диагностического контроля высоковольтного маслонаполненного оборудования. // Электротехника. – 1997. - №12. – С.2-12.
52. Recent developments in LC detector technology. P.R.Fielden. “Journal of Chromatographic Science”, 1992, 30, 45-52.
53. INTERKAMA'92: Prozeßanalytik für Gase und Flüssigkeiten. Jaenicke D., Lauer C. “tm”, 1993, 60, №4, 162-171
54. Способ определения свойств изоляции электроустановки: А.с. 1476406 СССР, МКИ G 01 R 31/00 / А.Г. Машкин (СССР). - № 4228885/24-21; Заявлено 13.04.87; Оpubл. 30.12.89, Бюл. №16. - 4 с.
55. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
56. Мост для измерения емкости и тангенса угла потерь конденсаторов: А.с. 1318920 СССР, МКИ G 01 R 17/10 / Р.Г. Файнгольд (СССР). - №4000337/24-21; Заявлено 02.01.86; Оpubл. 23.06.87, Бюл. №23. – 3 с.
57. Мост с индуктивно связанными плечами для измерения параметров конденсаторов: А.с. 371522 СССР, МКИ G 01 R 17/12 / А.В.Чеботарев, Ю.В.Визир (СССР). - № 1683635/18-10; Заявлено 19.07.71; Оpubл. 22.11.73, Бюл. №12. - 5с.
58. Сви П. М. Контроль изоляции оборудования высокого напряжения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 128 с.
59. Шевченко В. В., Буре И. Г., Данцер Г. Е. Расчетно-экспериментальная методика определения тепловых потерь и пе-

- регрева силовых конденсаторов при несинусоидальном напряжении // Промышленная энергетика. - 1995. - №9. – С.8-9.
60. Пат. 9577А Україна, МКИ G01R31/00, G01R31/02, G01R31/12. Спосіб контролю ізоляції електроустаткування / І.Б.Гуляєва (Україна). - №96010205; Заявл. 17.01.96; Опубл. 30.09.96, Бюл. №3. - 5 с. іл.
61. The acoustic bubble capacitor: a new method for sizing gas bubbles in liquids. Hardwick A.J., Walton A.J. “ Measurement Science Technology ”, 1995, 6, №2, p. 202-205
62. Surface acoustic wave vapor sensors based on resonator devices. Grate J.W., Klusty M. “Analytic Chemical”, 1991, 63, №17, 1719-1727
63. Способ градуировки аппаратуры для измерения частичных разрядов: А.с. 446850 СССР, МКИ G 01 R 31/10 / О.В. Баромыкин, П.М. Сви (СССР). - №1775201/24-7; Заявлено 19.04.72; Опубл. 15.10.74, Бюл. №38. – 1 с.
64. A critique of present calibration procedures for partial discharge measurements, Zaenhl W.S. “IEEE Transaction Electrical Insulation”, 1993, 28, №6, 1043-1049
65. Пат. 2346248 ФРГ, МКИ G 01 R 31/00. Verfahren zum Ermitteln von Kondensatoren mit Fehiern, die nach Lander Zeit zu Ausfallen fuhren Konnen: Пат. 2346248 ФРГ, МКИ G 01 R 31/00 / Siemens AG. – Заявл. 13.09.73; Опубл. 02.03.78, Бюл. №9. – 3 с.
66. Пат. 12392А Україна, МКИ G01K7/02. Спосіб вимірювання температури термopарою і пристрій для його здійснення / Ю.О.Скрипник, В.О.Дубровний, В.Ю.Санніков, С.І.Кондрашов (Україна). – №94117758; Заявл. 30.11.94; Опубл. 28.02.97, Бюл. №1. - 9 с.
67. Пат. 9774 Україна, МКИ G01K7/04. Спосіб визначення температури / П.І.Бардило, Г.Г.Трищ, О.І. Лах (Україна). – №94311443; Заявл. 29.07.93; Опубл. 30.09.96, Бюл. №3. - 4 с.
68. Пат. 3258 Україна, МКИ G01K7/02. Цифровий вимірювач температури / В.Б.Здеб, Р.М.Огірко, В.О.Яцук, В.М.Світник, А.Є.Карабелеш, І.С.Лучанін, М.М.Гулька (Україна). - №93311101; Заявл. 03.06.93; Опубл. 26.12.94, Бюл. №5-1. - 7 с.

69. Пат. 6522 Україна, МКИ G01R31/00. Пристрій для вимірювання часткових розрядів в електроапаратах з ізоляцією конденсаторного типу / В.П.Маяков (Україна). - №94260755; Заявл. 06.04.94; Опубл. 29.12.94, Бюл. №8-1. - 5 с.
70. Устройство для измерения емкости и тангенса угла потерь электрических конденсаторов: А.с. 1448291 СССР, МКИ G 01 R 17/12, 27/02 / Л.А.Зафранский (СССР). - № 4223226/24-21; Заявлено 07.04.87; Опубл. 30.12.88, Бюл. №48. - 4 с.
71. Устройство для автоматического измерения емкости и тангенса угла потерь конденсаторов: А.с. 293212 СССР, МКИ G 01 R 11/52 / И.Л.Шайн (СССР). - №1242765/26-9; Заявлено 27.05.68; Опубл. 15.01.71, Бюл. №5. - 2 с.
72. Устройство контроля допусков конденсаторов: А.с. 659965 СССР, МКИ G 01 R 17/12 / В.В. Коржевский, Г.Т.Мальшев, А.С.Коган (СССР). - №2438235/18-21; Заявлено 04.01.77; Опубл. 30.04.79, Бюл. №12. - 5с.
73. Устройство для измерения частичных разрядов: А.с. 1751696 СССР, МКИ G 01 R 31/00 / С.И. Волосников (СССР). - №466454/21; Заявлено 20.03.89; Опубл. 30.07.92, Бюл. №28. - 4 с.
74. Способ неразрушающего контроля качества изоляции электрических изделий: А.с. 1698841 СССР, МКИ G 01 R 31/00, 31/12 / П.Н. Бондаренко, В.В.Сенчуков (СССР). - №474838/21; Заявлено 06.07.89; Опубл.15.12.91, Бюл. №46. - 4 с.
75. Ренне В. Т. Пленочные конденсаторы с органическим синтетическим диэлектриком. - М.: Энергия, 1971. - 144 с.
76. Фрейманис У.А. К тепловому расчету бумагомасляного конденсатора // Ученые записки Рижск. политехн. ин-та. - 1965. - Т.14, вып. 5. - С. 269-276.
77. Чатинян Ю.С. Определение перегревов силовых конденсаторов // Изв. вузов. Энергетика. - 1976. - №9. - С. 37-41.
78. Жежеленко И. В., Рабинович М. Л., Божко В. М. Качество электроэнергетики на промышленных предприятиях. - К.: Техніка, 1981. - 160 с.
79. Способ определения износа изоляции и устройство для его осуществления: А.с. 1012159 СССР, МКИ G 01 R 31/02 / В.С.Король, В.Н.Подгорный, В.М.Лагутин (СССР). - №3283591/24-21; Заяв-

лено 29.04.81; Опубл. 15.04.83, Бюл. №14. - 4 с.

80. Грабко В.В., Боцула М.П. Спосіб діагностування силових електричних конденсаторів // Праці 4-ої Всеукраїнської міжнар. конф. “Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів” (УкрОБРАЗ’98). – Київ : Видання Української асоціації з оброблення інформації та розпізнавання образів – 1998. – С.117-118.
81. Грабко В.В., Боцула М.П. Модель для оцінки стану косинусних конденсаторів // Вісник ВПІ. – 1999. - №2. – С.53-56.
82. Mokin V.I., Grabko V.V., Botsula M.P. Diagnostic method for power statics capacitor // Proc. of the 4-th Unconventional Electromechanical and Electrical Systems. - Szczecin(Poland). - 1999. - P.893-898.
83. Куртенков Г.Е. Расчет вводов высокого напряжения и силовых конденсаторов: Учеб. пособие к курсовому проектированию. - Томск: ТПИ им. С.М.Кирова, 1987. - 76 с.
84. Турчак Л. И. Основы численных методов: Учеб. пособие. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.,- 1987. - 320 с.
85. Очков В.Ф. Mathcad 7.0 Pro для студентов и инженеров. - М.: КмпьютерПресс, 1998. - 384 с.
86. Грабко В.В., Боцула М.П. Математична модель старіння ізоляції силового статичного конденсатора // Теоретична електротехніка. Вып. 55 - Львів: Львівський національний університет ім. Івана Франка, 2000. - С.90-94.
87. Грабко В.В., Боцула М.П. Спосіб моніторингу ресурсу силового конденсатора і пристрій для його реалізації // Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини, випуск 6. –Київ: “ФАДА, ЛТД”. – 1999. – С.478-481.
88. Грабко В.В., Боцула М.П. Математична модель старіння ізоляції силового статичного конденсатора // Теоретична електротехніка. Вып. 55 - Львів: Львівський національний університет ім. Івана Франка, 2000. - С.90-94.
89. Ильин В.А. Телеуправление и телеизмерение: Учеб. пособие для вузов.-3-е изд.,перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат, 1982.- 560 с.

90. Тугевич Н.В. Телемеханика.- 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. шк., 1985.- 423 с.
91. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: Учеб. Пособие для вузов. - М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1989. - 432 с.
92. Григорьев В.С., Закревский А.Д., Перчук В.Л. Секвенциальные дискретные автоматы.- Тезисы докладов II Всесоюзного совещания по теории релейных устройств и конечных автоматов. Рига, 1971
93. Захаров В.Н. Автоматы с распределенной памятью.- М.: Энергия, 1975.- 136 с.
94. Захаров В.Н., Поспелов Д.А., Хазацкий В.Е. Системы управления- Задание. Проектирование. Реализация. 2-е изд., перераб. и доп., М.: Энергия, 1977.- 424 с.
95. Поспелов Д.А. Логические методы анализа и синтез схем.- М.: Энергия.- 1974.- 368 с.
96. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник.- М.: Радио и связь, 1987.- 352 с.
97. Грабко В.В., Боцула М.П. Синтез структуры інформаційно-виміральної системи для діагностики стану статичних конденсаторів // Проблеми создания новых машин и технологий. Научные труды КГПИ. Вып. 1/2000 (8) - Кременчуг: КГПИ, 2000. - С.172-176.
98. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник/ С. В. Якубовский, Л.И. Ниссельсон, В.И. Кулешова и др.; Под ред. С.В. Якубовского.- М.: Радио и связь, 1990.- 496 с.
99. Щербаков В.И., Грездов Т.И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник.- К.: Техника, 1983.- 213 с.
100. Диоды: Справочник/ О.П. Григорьев, В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев и др.- М.: Радио и связь, 1990.- 336 с.
101. Грабко В.В., Боцула М.П. Математична модель моніторингу робочого ресурсу силового конденсатора. // Збірка праць IV – ої Міжнар. наукової конф. “Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств” (PQ 2000). – Маріуполь. – 2000. – С.331.



102. Грабко В.В., Боцула М.П. Метод электротеплової аналогії в математичній моделі діагностування стану силового конденсатора. // Вестник Херсонского государственного технического университета. Вып.2(8). - Херсон: ХГТУ, 2000. - С.83-85.
103. Пат. 34246 А Україна, МКІ G 01 R 17/12. Пристрій для вимірювання спрацювання силових статичних конденсаторів / Мокін Б.І., Грабко В.В., Боцула М.П. (Україна). - № 99063408; Заявлено 18.06.99; Опубл. 15.02.2001 Бюл. №1. – 5с.
104. Сташин В.В., Урусов А.В., Мологонцева О.Ф. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 224 с.
105. Однокристалльные микроЭВМ. Семейство МК48. Семейство МК51. / Липовецкий Г.П., Литвинский Г.В., Оксинь О.Н. и др. - М.: МП"Бином", 1992. - 344с.
106. Казанский С.В., Пономарев А.И. Микропроцессорная система автоматического контроля состояния электроэнергетического оборудования // Электрические станции. - 1994. - С. 44-45.
107. Синельников В.Я., Казанский С.В. Микропроцессорная диагностика ресурса энергетического оборудования // Опыт применения средств технической диагностики и контроля за состоянием электроэнергетического оборудования. - Иваново, 1986. - С. 66.
108. Синельников В.Я., Казанский С.В. Микропроцессорная диагностика теплового старения изоляции электроустановок // Энергетика и электрификация. - 1987.- №3. - С. 28-29.
109. Синельников В.Я., Казанский С.В. Микропроцессорные системы диагностики состояния электроустановок. Обзорная информация. - М.: Информэнерго, 1989. - 32 с., ил.
110. Синельников В.Я., Казанский С.В. Разработка микропроцессорных информационно- диагностических систем контроля энергетического оборудования и прогнозирование остаточного ресурса // Применение микропроцессорной техники при автоматизации технологических процессов производства и в системах автоматического регулирования. Тез. докл. II Всесоюз. научно-техн. конф. - М., 1987.- С. 101-102.

111. Мокін Б.І., Грабко В.В., Боцула М.П. Метод та інформаційно-вимірювальна система для діагностування батарей статичних конденсаторів // Розвідка і розробка нафтових і газових середовищ. Методи і засоби технічної діагностики. – Івано-Франківськ: ІФДТУНГ "Факел". - №36 (том 8). – 1999. – С.195-201.
112. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. отд-ние, 1985. – 248 с.
113. Виглеб Г. Датчики: Пер. с нем. - М.: Мир, 1989. - 196 с.
114. П.Вовк. Температурные датчики Dallas Semiconductor // CHIP NEWS. – 2001. - №4. – С.23 – 25.
115. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-вычислительной техники. Учеб. пособие для вузов. - Киев: Вища школа, 1976. - 432 с.
116. Барзилович В.М. Высоковольтные трансформаторы тока. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962.
117. Афанасьев В. В., Адоньев Н. М., Кибель В. М., Сирота И. М., Стогний Б. С. Трансформаторы тока. Л.: Энергоатомиздат, 1989. 416 с.
118. ГОСТ 7746-89. Трансформаторы тока. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 7746-78; Введ. 27.03.89. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 42 с.
119. ГОСТ 1983-89. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 1983-77; Введ. 27.03.89. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 40 с.
120. К вопросу о погрешностях измерительных трансформаторов тока / В.А.Любинова, Г.А.Вендерович // Современные проблемы преобразовательной техники – К.: Наукова думка – 1980 – С.91 - 94.
121. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Физматгиз, 1962.
122. Фрумкин В.Д., Рубичев Н.А., Котляр А.Б. Достоверность контроля средств радиоизмерений и контрольные допуски. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 88 с.

123. Фрумкин В.Д., Рубичев Н.А. Теория вероятностей и статистика в метрологии и измерительной технике. – М.: Машиностроение, 1987. – 168 с.
124. Гитис Э.И., Пискунов Е.А. Аналого-цифровые преобразователи: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.
125. Моисеев В.С. Системное проектирование преобразователей информации. – Л.: Машиностроение, 1982. – 255 с.
126. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
127. Высокопроизводительные преобразователи формы информации / А.И. Кондалев, В.А. Багацкий, В.А. Романов, В.А. Фабричев. – К.: Наук. думка, 1987. – 280 с.
128. Интегральные микросхемы: Микросхемы для аналого-цифрового преобразования и средств мультимедиа. Выпуск №2. – М.: ДОДЭКА, 1996. – 384 с.
129. Вавин В. И. Трансформаторы напряжения и их вторичные цепи. М.: Энергия, 1967.
130. Стационарные датчики измерения тока. – М.: НИИЭМ "Вектор", 1999.
131. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1985. – 284 с.
132. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
133. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 496 с.
134. P.D.Welch: A fixed-point fast Fourier transform errors analysis. IEEE Trans., 1969, AU-17, 151-157 p.
135. T.K.Kaneko, B.Liu: Accumulation of round-off errors in fast Fourier transforms. J.Assoc.Comput., 1970, Mach.17, 637-654 p.
136. C.J.Weinstein: Roundoff noise in floating point fast Fourier transform computation. IEEE Trans., 1969, AU-17, 209-215 p.
137. B.Gold, C.M.Rader. Digital Processing of Signals. – New York, McGraw-Hill, 1969.

138. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Начальний посібник. - Вінниця: ВДГУ, 2001. - 219 с.
139. Теория вероятностей (Основные понятия. Предельные теоремы. Случайные процессы.) / Ю.В. Прохоров, Ю.А. Розанов. - М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва "Наука", 1973.
140. Румшицкий Л.З. Элементы теории вероятностей. - М.: Гос. издат. физико-математической литературы, 1960. - 155 с.
141. Боцула М.П. Оцінка похибок вимірювальних каналів ІВС для діагностування силових конденсаторів // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. №4. - Хмельницький: ХДТУ, 2001. - С.66 - 69.
142. Биргер И. А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
143. Кузьмин И. В., Кедрус В. А. Основы теории информации и кодирования. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 238 с.
144. Мокин Б.И. Методические указания по изучению курса "Специальные вопросы энергосистем". - Винница: ВПИ, 1982. - 60с.
145. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. - М.: Наука, 1971. - 576 с.
146. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. - М.: Наука, 1968. - 288 с.
147. Мокин Б.И., Грабко В.В., Динь Тхань Вьет Математические модели и информационно-измерительные системы для технической диагностики трансформаторных вводов. - Винница, издательство ВГТУ "Універсум-Вінниця", 1997. - 130 с.
148. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы обработки данных. Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. - 616с.
149. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. Под ред. В.С.Королюка. – К.: Наукова думка, 1978. – 584 с.

150. Левин Б.Р. Теория надежности радиотехнических систем: Математические основы. Учеб. пособие для вузов. - М.: Советское радио, 1978. - 264 с.
151. Бачурин Н.И. Трансформаторы тока. Л.: Энергия, 1964.
152. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения /Н.М.Адоньев, В.В.Афанасьев, И.М.Бортник и др. / Под. ред. В.В.Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 544 с.
153. Дымков А. М. Трансформаторы напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1975.
154. Гребнев В.В. Однокристалльные микро-ЭВМ семейства AT89 фирмы Atmel.- Санкт-Петербург: ЭФО.-1998.- 76 с.