**Кутін Василь Михайлович. Комбінована система діагностування систем електропостачання змінного та постійного струму (теорія, дослідження та розробка): Дис... д-ра техн. наук: 05.09.03 / Вінницький держ. технічний ун-т. - Вінниця, 2002. - 336арк. + дод. - Дві кн. одиниці. - Бібліогр.: арк. 312-337**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Кутін В.М. Комбінована система діагностування систем електропостачання змінного та постійного струму (теорія, дослідження та розробка) – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – “Електротехнічні комплекси та системи”. – Національний гірничий університет. Дніпропетровськ, 2002.  Дисертаційна робота присвячена розвитку теорії побудови комбінованої системи діагностування як засобу динамічного керування гарантованою надійністю СЕП в процесі її експлуатації.  Методологія її побудови ґрунтується на основі узгодження причинно-наслідкового детермінованого підходу з його стохастичним розвитком. Сформульовані принципи визначення працездатності і вибрані критерії її оцінки у відповідності з специфікою діагностованого об’єкту. Розроблені діагностичні моделі елементів СЕП, проведено їх аналіз та оцінка. Запропоновано методи визначення контрольованих параметрів, які враховують специфіку проявлення дефекту та характер його впливу на роботоздатність СЕП. Розроблені методи алгоритмізації пошуку дефекту і способи оптимізації алгоритму пошуку, які відповідають вимогам діагностування системи в конкретних умовах. Запропонована методика оцінки ефективності комбінованої системи діагностування з позицій її інформаційних властивостей. Приведено результати розробок комбінованої системи діагностування. | |
| |  | | --- | | У дисертаційній роботі вирішена науково-прикладна проблема розвитку теорії побудови комбінованих методів діагностування з метою створення діагностичного забезпечення динамічної системи керування індивідуальною надійністю систем електропостачання під час їх експлуатації, розробки і впровадження автоматизованого комплексу для його реалізації. Розвиток теорії полягає у встановленні закономірностей побудови комбінованої системи діагностування систем електропостачання промисловості і агропромислового комплексу під час їх експлуатації. Впровадження діагностичного забезпечення етапів експлуатації і ремонту збільшить період безвідмовної роботи, зменшить енергетичні і ресурсні витрати, пов’язані з цими етапами.  **Основні висновки, наукові та практичні результати роботи полягають у такому:**  1. Існує система технічного обслуговування та ремонту шляхом діагностування та відновлення систем електропостачання на етапі експлуатації з метою підтримання встановленого рівня надійності, забезпечення всіх вимог безпеки та високої ефективності використання систем електропостачання за призначенням. Через комбіновану систему діагностування забезпечується динамічне керування технічним станом системи електропостачання для підвищення надійності і безпеки її експлуатації. Комбінована система діагностування створена за новим принципом перевірок, коли передбачається процедура оцінки технічного стану системи електропостачання за сигналом неперервного контролю узагальнюючого діагностичного параметру, перевірки діагнозу більш точними методами періодичного контролю, пошуку місця несправності автоматизованими методами, перевірки попередньо визначених для даного циклу діагностування елементів СЕП за критерієм мінімуму витрат на експлуатацію і вибору стратегії ремонтно-обслуговуючих дій за результатами контролю параметрів технічного стану, наробітком на відмову та відмовами.  2. Керування технічним станом відображено моделлю у вигляді структурного інформаційного графа системи з стохастичними зворотними зв’язками. Побудову структурного інформаційного графа здійснено на основі узгодження взаємопов’язаних детермінованого та стохастичних аналізів, коли основним є детермінований підхід, а стохастичний - його розвитком. В основу детермінованого підходу покладено уявлення про інформаційну зміну сигналів системи керування, що визначають вихідний ефект функціонування СЕП. Стохастичний підхід будує модель зв’язку СЕП з ланцюгами керування. Ефективність системи оцінюється ймовірністю випадкового вихідного потоку СЕП – коефіцієнтом готовності. Запропоновано метод визначення коефіцієнта готовності СЕП для комбінованої системи діагностування.  3. Вперше запропоновано в якості узагальнюючого діагностичного параметра використовувати динамічну характеристику активного опору ізоляції СЕП відносно землі з метою виявлення несправностей ізоляції окремих її елементів неруйнуючими методами. Діагностична модель працездатності ізоляції СЕП побудована на основі комбінованого опису, коли одночасно використовується як непараметричне так і параметричне відтворення моделі СЕП. Спочатку визначалась перехідна характеристика – струм витікання через шунтувальний зв’язок і напруга дотику до корпусу заземленого обладнання. В якості обмежень вихідних характеристик використовувались параметри безпеки. Кількість станів обмежено випадками симетрії ізоляції окремих фаз і граничного стану несиметрії виходячи з умов електробезпеки. Умови працездатності і запас працездатності визначені у вигляді залежності гранично допустимого активного опору ізоляції мережі від її величини до моменту утворення шунтувального зв’язку при заданих величинах напруги та ємності мережі. Вибрана сукупність контрольованих показників, розроблені алгоритм, програмне забезпечення та отримані кількісні характеристики умов працездатності ізоляції мережі для СЕП 0.4, 6.0, 10, 20, 35 кВ.  4. Вперше побудована діагностична модель працездатності для двопровідних мереж постійного струму промислових підприємств у вигляді перехідної характеристики струму через шунтувальний зв’язок, величина та час існування якого обмежено гранично допустимим рівнем, що визначає стандарт. Визначено оптимальну характеристику спрацювання пристрою захисного вимикання по критерію мінімуму невиправданих вимикань.  5. Розвинута теорія та практика формування локальних критеріїв та методів оцінки працездатності окремих елементів. Побудовані діагностичні моделі таких деградуючих елементів ПЛ як провідники мережі, опори, заземлюючі комплекси; виконано аналіз методів перевірки ізоляторів, охоронної зони, що дозволило обґрунтувати умови працездатності цих елементів та вибрати сукупність контрольованих показників. Доведено, що потенціальними носіями погіршення технічного стану цих елементів є як конструктивні, так і неконструктивні параметри. У більшості випадків параметри технічного стану мають кількісну оцінку у вигляді номінальної, проміжної та граничної величини. Проміжна величина параметру і якість елементу в експлуатації мають у більшості випадків визначений зв’язок, аналіз якого можна проводити на рівні параметрів – опір ізолятора, обмоток трансформатора, системи заземлення або на рівні узагальнюючих параметрів – стріла провисання дроту, кута нахилу опори, напруги пробою ізолятора, функціонування комутаційних апаратів, трансформатора. Стрибкоподібна зміна параметрів елементів СЕП має малу ймовірність. Цьому передує квазімонотонне накопичення пошкоджень, яке призводить до зміни механічних, електричних і фізико-хімічних властивостей матеріалу конструктивного елементу. Значна частина елементів механічних вузлів підлягає знакозмінним навантаженням, що призводить до монотонного накопичення утомних пошкоджень в елементах з наступним їх руйнуванням. Утомні пошкодження є причиною раптових відмов. Відмова конкретного елементу, викликає різні наслідки в залежності від його функціонального призначення в СЕП.  Вперше побудована діагностична модель для визначення умов працездатності заземлюючого комплексу нерудних та рудних кар’єрів з урахуванням впливу опору самозаземлення робочих машин. Доведено, що можна відмовитись від облаштування місцевого заземлення за умови неперервного контролю зв’язку корпуса пересувної машини з виносним центральним заземлювачем. Запропоновано метод неперервного контролю заземлюючої мережі. Для автоматизації процесу перевірки груп з’єднань силових трансформаторів вперше запропоновано метод, математичну модель та алгоритм її реалізації, що зменшує кількість досліджень при діагностуванні до одного і дозволяє безпосередньо отримати кінцевий результат.  6. Процес визначення технічного стану СЕП повинен передбачати комбінацію різних методів, в тому числі об’єктивних і суб’єктивних. Вперше побудована діагностична модель, яка описує процес визначення технічного стану СЕП суб’єктивними методами. За цілим рядом параметрів і ознак, що характеризують зовнішній вигляд, санітарний стан і т.п. оцінити технічний стан елементу або вузла взагалі може тільки оператор. В пошуку ряду дефектів, виявленні корозії, тріщин, забруднення, деформації, підгоряння і т.п. оператор значно переважає по швидкості і гнучкості дій технічні засоби діагностування. При цьому суб’єктивні методи потребують значно менших початкових витрат, ніж контроль з використанням технічних засобів. Разом з тим тільки технічні засоби діагностування можуть фіксувати процеси, які протікають з великою швидкістю, вимірювати параметри стану з високою точністю, розпізнавати явища, що рідко виникають, в тому числі по непрямих ознаках, багаторазово із високою стабільністю фіксувати значення параметру стану. Тому необхідно поєднувати можливості оператора і технічних засобів на основі чіткого техніко-економічного обґрунтування.  7. Вперше запропоновано метод неперервного контролю динамічної характеристики активного опору ізоляції мережі відносно землі, що ґрунтується на комбінованому принципі накладення на контрольовану мережу джерела постійного струму та використання струму перехідного процесу в колі попередньо зарядженого конденсатора. Оперативний сигнал формується за допомогою Т-подібного чотириполюсника, утвореного двома активними опорами та ємністю. Вхід його вмикається до джерела постійного струму, а вихід - паралельно ємнісному фільтру, що ввімкнений між первинною обмоткою трансформатора напруги і землею. В разі зміни активного опору ізоляції струми в активних опорах чотириполюсника однакові і пропорційні загальному активному опору мережі відносно землі. Стрибкоподібна зміна опору ізоляції викликає розряд ємності чотириполюсника, максимальна величина струму якого пропорційна величині опору в місці замикання. Шунтування оперативного сигналу через первинну обмотку трансформаторів напруги усунуто шляхом вмикання між нейтральною точкою трансформатора та землею ємнісного фільтра. Доведено, що ємність мережі та фільтрів практично не впливає на максимальну та усталену величину струмів, що контролюються. Вплив змінної складової струму компенсується за рахунок вибору параметрів чотириполюсника і ємнісного фільтру приєднання. Для перевірки діагнозу неперервного контролю ізоляції запропоновано метод періодичного контролю ізоляції кожної фази. Метод ґрунтується на штучному зміщенні нейтралі фазних напруг мережі на середину лінійної напруги при випробуванні однієї з фаз. Це дає можливість виділити струм, що протікає через ізоляцію випробуваної фази, а параметри ізоляції кожної фази обчислювати за результатами вимірювання напруги на досліджуваній фазі, струму та кута зсуву між ними, тобто за класичним алгоритмом. Похибка від неспівпадання режимів випробування окремих фаз усувається, оскільки режим випробування третьої фази є дублюючим.  8. Під час перевірки технічного стану опору ізоляції полюса двопровідної мережі під робочою напругою похибку можна зменшити шляхом використання перехідного процесу заряду конденсатора в разі вмикання його між полюсом мережі та землею. Доведено, що похибка методу буде залежати лише від точності вимірювальних систем максимальної величини струму заряду конденсатора та напруги мережі.  Вперше запропоновано метод захисного вимикання, що дозволяє безпосередньо контролювати величину струму через місце замикання. Застосовано комбінований метод, що використовує максимальну величину струму перезаряду додатково введених конденсаторів при замиканні та активну складову струму в сталому режимі від джерела змінного струму до моменту виникнення замикання та після нього.  9. Програма пошуку несправностей чи відмов в СЕП, які мають деревоподібну структуру, неоднорідні питомі параметри ділянок і секціонованих неавтоматичними комутаційними апаратами, що забезпечує вибір оптимальної стратегії пошуку за критерієм мінімума недовідпуску електроенергії чи часу пошуку при різних видах пошкодження і умовах експлуатації, повинна будуватись на основі сумісного використання динамічних та статистичних характеристик СЕП, а процедура перевірок і прийняття рішень є автоматизованою і багатокроковою, коли спочатку за допомогою неточних, але таких, що мають високий рівень автоматизації – дистанційних методів визначають відстань до місця несправності, в разі негативного результату продовжують пошук пошкодженої ділянки методом послідовного ділення мережі за умовним оптимізованим алгоритмом, який попередньо розраховується на ЕОМ і дає точні результати. Місце пошкодження на виділеній ділянці визначають топографічним методом.  10. Дистанційні методи ґрунтуються на фіксації параметрів доаварійного та аварійних режимів на кожному приєднанні і оптимізації структури даної вимірювальної системи. При визначенні відстані до місця к.з. точність підвищується за рахунок того, що вимірюється струм навантаження тільки пошкодженої лінії, коли визначається відстань до ОЗЗ, вплив струму навантаження взагалі виключається шляхом штучного створення режимів подвійного замикання на землю. Математичні логічні операції та індикацію результату вимірювання здійснюється за допомогою централізованої системи. Одна така система може обслуговувати всі підстанції підприємства. Оптимальна послідовність перевірок по критерію DW min чи t min визначена на основі комбінованого опису та аналізу діагностичної моделі, коли спочатку РМ відображається логічною моделлю, за якою складається таблиця покриття, визначається ціна перевірки та враховуються середні умови експлуатації за математичною моделлю у вигляді діаграми послідовності операцій, застосовується метод “віток та границь” для визначення оптимального покриття, що дозволяє спростити процес обчислень та зменшити його об’єм в порівнянні з відомими методами оптимізації послідовності перевірок. Для обчислень на ЕОМ розроблена спеціальна програма “Find Opt”.  11. Автоматизація процесу пошуку пошкодження в РМПС здійснено за рахунок використання параметрів струму перезаряду ємностей при виникненні пошкодження полюса мережі. В пошкодженому каналі РМПС струм перезаряду по амплітуді значно більший, ніж в непошкодженому каналі, а напрямок струмів завжди протилежний. Для підсилення та стабілізації цих ознак поряд із джерелом живлення вмикають додаткові конденсатори, ємність яких значно перевищує ємність РМПС. На відміну від відомих методів місце пошкодження визначається шляхом накладання на РМПС амплітудно-модульованого сигналу з подальшою його демодуляцією для накладання на контрольовану мережу низькочастотного сигналу 1-2 Гц симетричної трикутної форми та контролю реакції на цей сигнал за допомогою приймача. Амплітудно-модульований сигнал дозволяє підвищити потужність сигналу, що накладається, а тому і чутливість системи пошуку.  12. Для комбінованої системи діагностування найефективнішим є змішаний спосіб побудови, коли на підстанції розташовують засоби автоматичного контролю ізоляції, фіксатори параметрів аварійного режиму для визначення відстані до місця пошкодження, які групуються в окремі блоки, центральна частина комбінованої системи діагностування є автономною. Інформація про технічний стан передається каналами телемеханіки та радіозв’язку на диспетчерський пункт, де приймається рішення про подальше використання СЕП. В процесі діагностування між технічними засобами та оператором розподіляються функції, виконання яких визначено програмою. Основними режимами роботи є робочий режим, режим перевірки СЕП та пошуку несправностей або пошкодження і перевірки системи діагностування.  13. Результати лабораторних і промислових випробувань показали, що розроблена підсистема контролю параметрів ізоляції СЕП змінного струму під робочою напругою забезпечує контроль динамічної характеристики активного опору мережі відносно землі і активного опору ізоляції кожної фази та ємності мережі з точністю не нижче ніж 20%, коли 0,1 tgд 2,71. Підсистема контролю опору ізоляції в двопровідних мережах постійного струму під робочою напругою забезпечує вимірювання опору ізоляції полюса з точністю менше 4% при симетрії ізоляції, а при максимальній несиметрії (К = 10) менше ніж 8,7%. Пристрій захисного вимикання в двопровідних мережах постійного струму має захисну характеристику, яка перевищує оптимальну не більше ніж на 20% на всьому можливому діапазоні зміни омічного опору ізоляції полюсів. Підсистема дистанційного визначення відстані до місця міжфазного к.з. та ОЗЗ в граничному випадку при вибраній елементній базі забезпечує похибку при вимірюванні не нижче ніж 7,5% від загальної довжини повітряних ліній.  14. Впровадження КСД СЕП дозволяє підвищити коефіцієнт готовності, технічного використання і оперативної готовності СЕП на 0,5-1,5%, знизити коефіцієнт простою на 10-20%. Використання оптимізованого умовного алгоритму пошуку пошкоджень в повітряних РМ-6-10 кВ дозволяє зменшити недовідпуск електроенергії на 7-86% та час пошуку ОЗЗ, що не вимикається РЗ в 1,15-1,51 рази. Економічний ефект від використання дистанційних підсистем визначення відстані до місця пошкодження в повітряних лінях змінного струму складає Ер= 7169 грн. в рік на одну підстанцію, в розподільних мережах постійного струму - Ер= 3145 грн. в рік на одну систему. Впровадження засобів КСД підтверджено актами на загальну суму 507 тис. крб. (в цінах до 1991 року). Результати досліджень впроваджені в навчальний процес: в курсі “Діагностика електрообладнання”, в створенні навчальної лабораторії, навчального посібника, виконанні дипломних проектів та робіт. | |