**Гребченко Микола Васильович. Розвиток методів захисту та діагностування вузлів електричних систем з двигунами : Дис... д-ра наук: 05.14.02 – 2007**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Гребченко М.В. Розвиток методів захисту та діагностування вузлів електричних систем з двигунами. – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. – Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2007.  Дисертація присвячена рішенню важливої науково-прикладної проблеми захисту і діагностування вузлів електричних систем із двигунами на основі розробки нових методів і створення інтегрованих систем керування, що дозволяє підвищити ефективність роботи вузлів електричних систем із двигунами.  У роботі розвинуто теорію, визначено основні принципи, розроблено і практично реалізовано методи, алгоритми і принципи зазначених систем. Вдосконалено математичну модель вузла електричної системи з навантаженням, отримані залежності параметрів робочих режимів від місця і стану дефектів елементів вузла. Запропоновано і впроваджено в експлуатацію вдосконалені захисти від замикань на землю, які здійснюють безперервне діагностування електрообладнання.  Основні наукові і практичні результати роботи упроваджені у виробництво і використовуються в навчальному процесі Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет». | |
| |  | | --- | | У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна проблема захисту і діагностування вузлів електричних систем із двигунами на основі розробки нових методів і створення інтегрованих систем керування, що дозволило підвищити ефективність роботи вузлів електричних систем із двигунами. При цьому отримані наступні основні результати.  1. Незважаючи на широке застосування сучасних мікропроцесорних засобів керування й захистів, у них продовжують використовуватися колишні принципи дії й принципи керування, а тому технічний рівень цих засобів й їхні функціональні задачі не відповідають сучасним вимогам. На електродвигунах практично не застосовується автоматичне діагностування в робочих режимах, чутливість і швидкодія експлуатованих захистів часто не забезпечують швидку локалізацію к.з. з мінімальним збитком. Аналіз режимів роботи й експлуатаційної надійності вузлів електричних систем із двигунами, а також принципів побудови захисту й автоматики, показав, що відбувається посилення впливу вузлів з електродвигунами на стійкість роботи енергосистем і безперервність технологічних процесів й у той же час залишається високою пошкоджуваність електродвигунів. У зв'язку із цим потрібне підвищення надійності й ефективності роботи ВЕСД.  Часто виявлення дефектів, що виникли на вимкненому електроустаткуванні, відбувається тільки після його увімкнення під робочу напругу або після увімкнення інших елементів. Внаслідок виникають важкі аварії, які супроводжуються збитком у вигляді перевитрати електроенергії, втрат палива, газу і т.д.  Обґрунтовано необхідність удосконалювання існуючих і розробки нових методів оцінювання поточного режиму й розпізнавання режимів, які передують аваріям, і аварійних режимів електрообладнання із застосуванням мікропроцесорних засобів. Найбільш доцільна їхня реалізація у вигляді централізованої автоматики вузла електричної системи.  Одержання реальних режимних параметрів при моделюванні на математичній моделі ВЕСД можливо при врахуванні в ній навантаження своїми дійсними параметрами, а для забезпечення можливості моделювання дефектів ізоляції, ізоляція повинна враховуватися її комплексною провідністю.  Удосконалювання режимів комутації робочого й резервного живлення дозволить знизити зношування електродвигунів.  2. Обґрунтовані й сформульовані основні теоретичні положення, розроблена методологія створення інтегрованих систем захисно-діагностуючої автоматики вузлів електричних систем із двигунами, що складаються із взаємозалежних підсистем і є основною частиною інформаційно-керуючих систем електричних об'єктів, дія яких забезпечує підвищення надійності й ефективності роботи ВЕСД.  Теоретичні положення містять:  - методологію створення інтегрованих систем ЗДА ВЕСД;  - удосконалений метод сполучення функцій захисту від ушкоджень і функцій автоматичного діагностування елементів ВЕСД у робочих режимах, що відрізняється використанням загальної інформації про режими, який забезпечує швидке розпізнавання поточних режимів ВЕСД;  - удосконалений метод виявлення міжфазних к.з., що забезпечує більш високу швидкодію у порівнянні з відомими за рахунок порівняння напрямку активної потужності одночасно у різних місцях ВЕСД і більш високу чутливість завдяки логічному розпізнаванню режимів на підставі контролю наявності операцій увімкнення або вимкнення вимикачів електрообладнання;  - для виявлення дефектів електроустаткування в робочих режимах запропоновані нові принципи й методи автоматичного аналізу поточних параметрів режиму елементів ВЕСД;  - методи виявлення дефектів тимчасово вимкненого електроустаткування;  - удосконалена математична модель ВЕСД;  - у загальному алгоритмі функціонування ЗДА крім захисту й діагностування реалізовані нові методи керування робочим і резервним живленням ЕД.  3. Математична модель вузла електричної системи із двигунами вдосконалена за рахунок врахування в ній комплексних провідностей ізоляції кожного елемента ВЕСД і комплексних поздовжніх провідностей навантаження кожного приєднання. Удосконалена модель, на відміну від відомих, дозволяє визначати струми й напруги робочих режимів при моделюванні дефектів ізоляції (розподілених або локальних на заданій віддаленості, у тому числі замикання на землю), а також при моделюванні міжфазних дефектів ізоляції.  4. Дефекти ізоляції електрообладнання супроводжуються зміною комплексної провідності ізоляції фаз відносно землі, особливо ліній, виконаних за допомогою кабелів. Тому в загальному випадку кінець вектора струму нульової послідовності при всіх можливих дефектах ізоляції на приєднанні утворює увігнуту поверхню.  Кут між вектором струму нульової послідовності й вектором лінійної напруги залежить від величини опору дефекту ізоляції, а також від способу з'єднання нейтралі мережі із землею й параметрів ланцюга цього з'єднання. При зміні опору дефекту ізоляції від мінімального до максимального значення величина кута змінюється в діапазоні, ширина якого становить 900. Дефектам ізоляції на кожній фазі відповідає певний діапазон кута , а кут зрушення між центрами цих діапазонів становить 1200.  5. Новий метод виявлення дефектів ізоляції й замикань на землю шляхом оперативного контролю комплексної провідності ізоляції фаз відносно землі елементів ВЕСД у робочих режимах електрообладнання, заснований на розв’язанні системи рівнянь поточного стану. Комплексні коефіцієнти рівнянь автоматично визначаються на підставі вимірів струмів фаз і напруг фаз відносно землі. У методі передбачено автоматичне врахування статичної й динамічної несиметрії навантаження. Завдяки цьому виключений вплив на результати розрахунку провідностей ізоляції режиму роботи навантаження, замикань витків і міжфазних дефектів ізоляції. Метод відрізняється від відомих тем, що він не вимагає відключення устаткування й створення штучної несиметрії провідності. Метод також дозволяє реалізувати функції захисту при виявленні граничних станів ізоляції, тобто виконувати алгоритм виявлення замикань на землю. Максимальна похибка методу, включаючи похибку алгоритму визначення векторів струмів і напруг, не перевищує 12 %.  6. Новий метод визначення провідності дефекту ізоляції й віддаленості цього дефекту від початку приєднання, заснований на порівнянні дійсного й розрахункового векторів струму нульової послідовності, які одержують при послідовному переборі можливих сполучень віддаленості й провідності передбачуваного дефекту на математичній моделі вузла. У використовуваній моделі ВЕСД автоматично враховуються зміни конфігурації вузла.  7. Метод оцінки стану ізоляції тимчасово вимкнених приєднань заснований на аналізі параметрів коливального перехідного процесу саморозряду ємностей фаз, що виникає після подачі на приєднання тестової постійної напруги і вимкнення цієї напруги. При наявності дефектів ізоляції приєднання двигун-кабель (трансформатор) у процесі саморозряду ємностей виникає між фазами змінна напруга. Ця ж напруга з урахуванням частини струму саморозряду ємностей використовується для визначення віддаленості до місця дефекту. Відмінною рисою й істотною перевагою методу є діагностування одночасно кабелю й двигуна, що дозволило його реалізувати у вигляді автоматичної операції.  8. У математичних моделях тимчасово вимкнених приєднань двигун-кабель (або інше індуктивне навантаження) для моделювання перехідних процесів при діагностуванні приєднання з розподіленими й локальними дефектами ізоляції параметри ізоляції обмотки статора електродвигуна не враховуються, а ізоляція кабелю представлена зосередженими параметрами. Адекватність математичної моделі підтверджена шляхом порівняння результатів розрахунків процесу саморозряду на математичній моделі з результатами експериментів на фізичній моделі. Максимальне відхилення частоти напруги в розрахунку від експериментальних даних склало близько 9%, міжфазної напруги - 7,7%.  9. Запропоновані принципи побудови систем ЗДА на підставі розроблених методів призначені для їхньої реалізації на сучасній цифровій елементній базі: на мікропроцесорах або на промислових комп'ютерах. Системи ЗДА, що використовують визначення параметрів ізоляції шляхом рішення системи рівнянь стану, дозволяють безупинно в робочих режимах визначати реальні значення комплексної провідності ізоляції кожної фази приєднання відносно землі й контролювати зміну параметрів ізоляції за часом. Система ЗДА забезпечує необхідну точність визначення провідностей ізоляції при 16-розрядному цифро-аналоговому перетворенні поточних значень струмів і напруг з часом перетворення не більше 2,5 мкс.  10. Запропонований принцип підвищення чутливості захистів від замикань на землю за рахунок використання в ТСНП додаткової м.р.с. промислової частоти (близької до промислової частоти) дозволяє реалізувати безперервне діагностування електрообладнання завдяки збільшенню потужності, що віддають у вторинні ланцюги стандартні ТСНП при малих струмах нульової послідовності. Принцип відрізняється від підмагнічування тим, що в ньому не виконується компенсація додаткового струму. Використання в ТСНП додаткової м.р.с., частота якої незначно відрізняється від промислової частоти, дозволяє виконувати безперервний аналіз параметрів вектора струму нульової послідовності (амплітуди й фази), а також реалізувати централізовану двоступінчасту систему автоматики, кожен ступінь якої виконаний спрямованим.  11. У розробленій математичній моделі ТСНП із додатковою первинною обмоткою враховуються параметри вторинної обмотки, навантаження, додаткової обмотки й параметри магнітопроводу. При прийнятих припущеннях модель дозволяє виконувати розрахунки діючих значень вторинного струму в сталих режимах. При цьому в моделі враховуються втрати в магнітопроводі і характер вторинного навантаження ТСНП. Вплив відхилення частоти струму в додатковій обмотці в математичній моделі враховується шляхом розрахунку індукції при дійсному значенні частоти струму у вторинній обмотці й зміни кута втрат у магнітопроводі пропорційно відхиленню частоти.  12. Новий амплітудно-фазовий принцип забезпечення спрямованості дії двох ступенів захисту заснований на фіксації в часі моменту перевищення заданого значення сумою струму нульової послідовності й додаткового струму, частота якого відрізняється від частоти мережі. Цей же принцип дозволяє виявляти фазу приєднання, у якій виник дефект ізоляції або замикання на землю. Запропонований принцип забезпечення спрямованості дії вигідно відрізняється від відомих тим, що в ньому використовується вектор лінійної напруги, величина якого не змінюється при виникненні дефектів ізоляції або замикань на землю, а також те, що фазочутливий орган виконується загальним для всіх приєднань секції споживачів незалежно від кількості приєднань.  13. Спрямований централізований двоступінчастий захист від замикань на землю одночасно контролює всі приєднання секції, виявляє виникнення дефектів і замикань на землю, а також - їхнє місце: приєднання, фазу приєднання й віддаленість місця дефекту від початку приєднання. Ненаправлений ЦДЗЗ на приєднаннях з малою власною ємністю забезпечує необхідну чутливість при будь-якому ступені дефектів ізоляції. На приєднаннях з великою власною ємністю, що становить 20% і більше від сумарної ємності мережі, необхідно використовувати тільки спрямований варіант ЦДЗЗ.  14. Запропоновано шляхи вдосконалювання виконуваних системою захисно-діагностуючої автоматики режимів комутації робочого й резервного живлення електродвигунів, які спрямовані на зниження негативних впливів перехідних процесів на електроустаткування цих вузлів, і в першу чергу на зниження термічного й механічного впливів на їхню електричну ізоляцію, що забезпечує рівномірну витрату ресурсу електроустаткування. Зниження негативних впливів досягається при реалізації запропонованих принципів в основному за рахунок зниження величини струмів, які протікають у режимах пуску й самозапуску ЕД і повного виключення в режимах АВР протікання неприпустимих для електродвигунів струмів. Способи АПВ і АВР, засновані на синхронізації синхронних й асинхронних двигунів, дозволяють не тільки скоротити час перерви живлення, але й забезпечити необхідну якість перехідного процесу при відновленні робочого або після подачі резервного живлення.  Запропоновано спосіб запобігання несинхронної подачі живлення на ЕД через виникнення великої похибки по куту шляхом випереджального вимкнення вимикачів двигунів, що не допускають несинхронне увімкнення.  Алгоритм почергового АПВ електродвигунів при втраті робочого живлення не тільки дозволяє забезпечити успішний самозапуск всіх двигунів, що втратили живлення, але й знизити негативні впливи на ЕД.  Запропонований принцип виконання резервного захисту блоків генератор-трансформатор, заснований на використанні диференціального принципу реле з малим струмом спрацьовування й із блокуванням мінімальної напруги, дозволяє скоротити час протікання аварійних струмів в обмотках ЕД власних потреб ТЕС при відмові їхніх основних захистів.  Плавний пуск ЕД за рахунок увімкнення струмообмежуючого опору, величина якого прийнята рівній величині пускового опору ЕД, знижує струми й механічні моменти, що впливають на всі частини агрегату двигун-механізм.  Результати дисертаційної роботи впроваджені на ряді ТЕС у вигляді окремих пристроїв і методик, а також використовуються в навчальному процесі Донецького національного технічного університету.  У цілому результати дисертаційної роботи дозволяють забезпечити нову якість у рішенні проблеми автоматизації й керування вузлами електричних систем із двигунами, як у нормальних, так й в аварійних режимах. | |