

ВІДГУК

офіційного опонента **ТУГАЯ Юрія Івановича** на дисертаційну роботу

СЕРЕДИ Олександра Григоровича

«Теоретичні основи розвитку цифрових технологій в системах автоматизації, діагностики, контролю та захисту електротехнічних комплексів»,
що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

Актуальність теми дисертації.

Принципи побудови, розвитку сучасних і перспективних електротехнічних комплексів та систем повинні відповідати рівню й темпу загального прогресу техніки і технологій. Особливої уваги заслуговує проблема підтримки прийняття рішень в системі оперативного керування розподілом електричної енергії, оскільки цей об'єкт за структурою та режимами роботи є не тільки неоднорідним, але і розподіленим. Забезпечення надійного та безперебійного електропостачання обумовлює впровадження відповідних пристроїв релейного захисту та протиаварійної автоматики (РЗА) в електричних системах.

Постійна зміна кількісного та якісного складу електроприймачів вимагає удосконалювання захисних характеристик апаратів РЗА, зокрема алгоритмів керування. У відповідності із цим здійснюється модернізація розподільних пристроїв шляхом заміни електромеханічних апаратів на інтелектуальні програмовані мікропроцесорні та мікроконтролерні системи з розширеними функціями діагностування й практично майже необмеженими можливостями інтеграції в електротехнічні комплекси. Тому дослідження автора в цьому напрямі є актуальними і мають теоретичне та практичне значення.

Актуальність поданої дисертаційної роботи підтверджується плановим завданням науково-дослідної роботи «Розробка методики та практики застосування для безконтактного контролю робочого стану проводів

повітряних ліній», що виконувалась на кафедрі «Передача електричної енергії» згідно договору №37479 від 11.06.2014 року, укладеного між Національним технічним університетом «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ») та Акціонерною компанією «Харківобленерго», а також господарчо-договірною тематикою кафедри «Електричні апарати» за договором №90 «Про творчу співпрацю» від 05.12.2016 року, та договором №1022 «Про партнерство» від 06.03.2017 року, укладених між НТУ «ХПІ» та Науково-виробничим товариством з обмеженою відповідальністю «ВІРА, ЛТД» (НВ ТОВ «ВІРА, ЛТД»).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій у дисертаційній роботі Середи Олександра Григоровича забезпечується:

- аналізом інформації великої кількості сучасних наукових джерел за темою дисертаційної роботи;
- коректною постановкою мети і завдань дослідження;
- використанням методів дослідження, які базуються на застосуванні сучасного математичного апарату та новітніх програмних продуктів;
- значним обсягом проведених обчислень і розрахунків;
- критичним аналізом отриманих теоретичних даних і зіставлення їх з експериментальними результатами;
- обґрунтованим формулюванням висновків за результатами досліджень.

Методи, які використовує автор для побудови систем керування РЗА є коректними, а їх використання відповідає складності поставлених в роботі завдань.

Основні нові наукові результати дисертації

Найбільш суттєвим науковим результатом поданої дисертаційної роботи Середи Олександра Григорійовича є подальший розвиток положень теорії цифрової обробки аналогових сигналів, що дозволило забезпечити

ефективність аналізу гармонійного спектру фазних струмів і струму в нейтральному провіднику за наявності нелінійних спотворень.

В дисертації отримані такі результати, що мають наукову новизну:

- вперше теоретично обґрунтована та доведена доцільність розкладання сигналів, що являють собою складні коливання, на гармонійні складові, шляхом їх дискретизації множенням на гратчасту дельта-функцію з частотою меншою за подвоєну частоту Найквіста. Це дало можливість розширити перелік діагностованих аварійних режимів роботи в розподільних електричних мережах напругою 0,4 кВ;

- запропоновано новий метод ковзного моніторингу величини середньоквадратичного значення фазних струмів та струму в нейтральному провіднику, який дозволив сформулювати критерії спрацювання апаратів захисту однофазних споживачів електроенергії від можливих перенапруг при обриві нейтрального провідника без залучення гармонійного аналізу спектру струмів несинусоїдальної форми й, тим самим, діагностувати цілісність нейтрального провідника в будь-якому місці розгалуженої мережі електропостачання з розподіленням вздовж лінії електропередачі навантаженням;

- вдосконалено метод захисту нейтрального провідника від струмів перевантаження та струмів однофазних коротких замикання за рахунок аналізу гармонійного спектру струму в нейтральному провіднику, що дозволило в мережах електропостачання з різною характеристикою навантаження вибирати необхідні частоти дискретизації вихідної аналогової залежності.

Достовірність основних результатів досліджень підтверджується коректною постановкою математичних задач, які використовують стандартні процедури математичного аналізу; застосуванням сучасних теоретичних та експериментальних методів отримання результатів; відповідністю математичних моделей фізичним процесам, які відбуваються під час виникнення електромагнітних перехідних процесів в електротехнічних комплексах і системах низької напруги при несиметричних режимах роботи

розподільних мереж електропостачання напругою 0,4 кВ; апробацією основних результатів роботи на науково-технічних симпозіумах та науково-практичних конференціях.

Значення отриманих результатів.

На базі розроблення нових та удосконалення існуючих математичних моделей перехідних електромагнітних процесів при несиметричних режимах роботи розподільних мереж електропостачання розроблені алгоритми:

- швидкої ідентифікації виду надструму, зокрема пускових струмів асинхронних електродвигунів, за час, що не перевищує одного періоду зміни фазної електрорушійної сили після виникнення збурення електричного кола. Це дозволяє знизити струмову уставку спрацьовування апаратів максимального струмового захисту до рівня струмів віддалених коротких замикань і забезпечити резервування відмов власних захистів віддалених приєднань;

- діагностування теплового стану асинхронних електродвигунів в режимі пуску шляхом безпосереднього контролю над температурою обмотки статора за зміною її активного опору при нагріванні, суть якого полягає в аналізі нерівномірності екстремальних значень миттєвої та квазімиттєвої потужностей, що споживаються в режимі виникнення пускового струму.

З використанням розробленого методу ковзного моніторингу спотвореної величини середньоквадратичних значень фазних струмів та струму в нейтральному провіднику розроблені алгоритми:

- функціонування мікроконтролерних розчіплювачів автоматичних вимикачів в аварійних режимах роботи нейтрального провідника, в яких за наявності нелінійних навантажень формування критерію спрацьовування захисту здійснюється шляхом врахування струмів вищих гармонійних складових, але без залучення складного аналізу гармонійного складу струмів несинусоїдальної форми;

- функціонування реле теплового захисту асинхронних електродвигунів з урахуванням вищих гармонійних складових у фазних струмах, які спричиняють додаткові втрати і нагрівання обмоток статора.

Результати роботи Середи Олександра Григоровича були використані під час створення дослідних і макетних зразків мікроконтролерних розчіплювачах РЕМ113СУХЛЗ, РЕМ124СУХЛЗ, РЕМ134СУХЛЗ, РЕМ136СУХЛЗ для низьковольтних автоматичних вимикачів серії А3700 виробництва НВ ТОВ «ВІРА, ЛТД», м. Харків.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Середи Олександра Григоровича складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, показаний її зв'язок із науковими планами та програмами, сформульована мета й задачі досліджень, визначені об'єкт, предмет та методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, подані відомості про апробацію та основні публікації за темою проведених досліджень.

У першому розділі виконано критичний аналіз існуючих підходів до вирішення проблем, пов'язаних з діагностуванням режимів, що порушують нормальне електропостачання: віддалені симетричні короткі замикання ліній електропередачі, обрив нейтрального N -провідника, перевантаження асинхронних трифазних електродвигунів та N -провідника вищими гармонійними складовими струму, однофазні короткі замикання на N -провідник.

По-перше, було з'ясовано, що знизити поріг чутливості апаратів струмового захисту до струмів віддалених коротких замикань і забезпечити резервування відмов власних захистів віддалених приєднань можуть заважати пускові струми асинхронних електродвигунів, які підключені на початку довгої лінії електропередачі.

По-друге, було з'ясовано, що забезпечити ефективне діагностування обриву N -провідника в будь-якому місці розгалуженої електричної мережі заважають нелінійні електричні навантаження, які призводять до нелінійних спотворень синусоїдальної форми фазних струмів і, як наслідок, до появи вищих гармонійних складових струму.

По-третє, було з'ясовано, що існуючі алгоритми захисту асинхронних електродвигунів від теплових впливів струмів перевантаження, особливо в повторно-короткочасному режимі роботи, мають недоліки, пов'язані з відсутністю достовірної інформації щодо температури обмоток статора.

В другому розділі розроблені методи захисту ліній електропередачі від теплових впливів струмів віддалених симетричних коротких замикань з метою забезпечення пов'язаного з цим резервування відмов власних апаратів струмового захисту відсікання віддалених приєднань.

В третьому розділі розроблені методи захисту однофазних споживачів електроенергії від перенапруг, спричинених обривом нейтрального провідника. Розроблений метод ковзного моніторингу величини середньоквадратичного значення струму шляхом застосування математичного апарату інтегрування квадратів миттєвих значень струму дозволив: діагностувати порушення цілісності нейтрального провідника в будь-якому місці розгалуженої мережі електропостачання з розподіленням вздовж лінії електропередачі як лінійним, так і нелінійним навантаженням без залучення гармонійного аналізу спектру фазних струмів та сформувати критерії спрацювання пристроїв захисту однофазних споживачів електроенергії від перенапруг спричинених обривом нейтрального провідника; вдосконалити алгоритм захисту нейтрального провідника від струмів перевантаження та струмів однофазних коротких замикання за рахунок врахування гармонійного спектру струму в нейтральному провіднику, що дозволило в мережах електропостачання з різною характеристикою навантаження враховувати третю гармонійну складову

струму вибірково шляхом вибору відповідної частоти дискретизації вихідної аналогової залежності.

В четвертому розділі удосконалені методи теплового захисту асинхронних електродвигунів. Розроблений метод визначення параметрів електричного кола при струмових перевантаженнях, зокрема температури обмоток статора асинхронних електродвигунів, що працюють в повторно-короткочасному режимі, шляхом контролю над зміною активного опору обмоток статора в режимі пуску полягає в аналізі нерівномірності екстремальних значень сумарної миттєвої потужності, що споживається в перехідному режимі виникнення струму збурення електричного кола, а саме пускового струму. Крім того, запропоновано нове технічне рішення, яке дозволяє в режимі ковзного моніторингу середньоквадратичних значень фазних струмів сформувати час спрацьовування автоматичних вимикачів або інших апаратів теплового захисту асинхронних електродвигунів при струмах перевантаження врахувати нелінійні спотворення синусоїдальної форми фазних струмів.

Висновки до розділів і за результатами роботи сформульовані достатньо чітко та відповідають меті, поставленим завданням дослідження та змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел з 166 найменувань охоплює як класичні роботи тематики, що розглядається, так і сучасні вітчизняні й зарубіжні публікації.

Структура дисертації, послідовність викладення матеріалу та його обсяг відповідають встановленим вимогам. Дисертація написана в зрозумілій, доступній формі. Стиль викладення матеріалу логічний, основні положення достатньо аргументовані, в тому числі посиленнями на літературні джерела. В цілому можна зробити висновок про завершеність даної дисертаційної роботи.

Зміст автореферату повністю відображає основний зміст дисертації та вказує на внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 44 друковані праці, з них 29 публікацій у наукових фахових виданнях України (3 – входять до наукометричних баз Scopus та Web of Science Core Collection), 4 – у іноземних фахових періодичних виданнях (3 – входять до наукометричної бази Scopus). Також отримано 11 патентів України на винахід.

Загалом рівень, кількість, повнота публікацій та апробацій матеріалів дисертації на наукових конференціях повністю відповідають вимогам МОН України щодо докторських дисертацій.

Щодо дисертаційної роботи можна зробити наступні зауваження

1. У вступі (стор. 14) автор стверджує, що «Наукова новизна технічних рішень підтверджена патентами на винахід.» Це помилковий висновок, оскільки патенти підтверджують новизну розробки, але це може новизна інженерного рішення, а не обов'язково наукова новизна.
2. На стор. 21 автор пише, що «необхідне максимально швидке спрацювання пристроїв максимального струмового захисту для обмеження руйнівної дії струму короткого замикання і збереження безперервності та стабільності подачі електроживлення». Не зрозуміло, як швидке відключення споживача може забезпечити безперервність його електроживлення?
3. При порівнянні принципових схем систем електропостачання (рис. 1.3) залишається незрозумілим, що автор має на увазі під терміном «змішана ЛЕП»?
4. Для кращого розуміння результатів порівняльного аналізу поточного стану питання, яке виконав автор в першому розділі при обґрунтуванні напрямку досліджень, було б доречно навести функціональні схеми відповідних алгоритмів максимального струмового захисту.
5. На стор. 39 автор пише «При протіканні струмів КЗ термічні навантаження від впливу інтеграла Джоуля...», що є некоректним,

оскільки термічне навантаження обумовлено не інтегралом, а струмом КЗ, який характеризується інтегралом Джоуля.

6. У другому розділі автор приділяє велику увагу опису перехідного процесу виникнення струму короткого замикання, проте ці відомості є загальновідомими, не несуть додаткової інформації, тому, на мою думку, не потребують такого детального розгляду в даній роботі.
 7. В дисертації автор часто використовує термін «ефективність». Бажано було б пояснити за якими критеріями і в якій мірі оцінюється ця ефективність. Це кількісний чи якісний показник? І він характеризує тільки алгоритми роботи пристроїв РЗА чи й інші їх параметри?
 8. Автор в тексті дисертації згадує, що достовірність результатів математичного моделювання підтверджується також і експериментальними даними. В той же час у роботі відсутні описи експериментів та відповідне порівняння результатів.
 9. У роботі автор розглядає принципи групового захисту однофазних споживачів електроенергії від можливих перенапруг (стор. 160), які можуть виникнути при обриві нейтрального провідника. Але на практиці можливим є альтернативний варіант: індивідуальний захист споживачів від внутрішніх перенапруг за допомогою реле напруги. Варто було б виконати порівняння цих варіантів.
 10. В тексті роботи в деяких реченнях не вистачає синтаксичних знаків, а в деяких вони є зайвими, наявні описки та окремі неточні вирази,. Так, на автор пише про «значущу величину аперіодичної складової», а краще було б вжити, в залежності від контексту, «значну» або «істотну», замість «процес дугогасіння» - «процес гасіння дуги» та інші.
- Зазначені зауваження не мають принципового характеру, не ставлять під сумнів наукову новизну або достовірність одержаних в дисертації результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Середи Олександра Григоровича «Теоретичні основи розвитку цифрових технологій в системах автоматизації, діагностики, контролю та захисту електротехнічних комплексів» є закінченою науковою працею, що виконана автором особисто. За отриманими науковими результатами та змістом дана дисертаційна робота повністю відповідає паспорту спеціальності 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи.

У дисертації автором розв'язана важлива наукова проблема з розвитку теорії електромагнітних перехідних процесів в електротехнічних комплексах і системах низької напруги при несиметричних режимах роботи розподільних мереж електропостачання напругою 0,4 кВ, а також створення наукових засад цифрової обробки відповідних аналогових сигналів.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п. п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо докторських дисертацій, а здобувач **Середа Олександр Григорович** заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи.

Офіційний опонент,
завідувач відділу оптимізації систем електропостачання
Інституту електродинаміки НАН України,
доктор технічних наук, ст. наук. співр.
21.04.2021

Ю.І.Тугай

