

В.В. Ніценко, інженер служби релейного захисту
ВП ДП «НЕК «Укренерго» Дніпровська ЕС
Д.О. Кулагін, канд. техн. наук, проф., П.В. Махлін, канд. техн. наук, доц.,
Запорізький національний технічний університет,

РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ СЕЛЕКТИВНОСТІ ДІЇ ДИФЕРЕНЦІЙНО-ФАЗНОГО ЗАХИСТУ ЗБІРНИХ ШИН ПРИ НАСИЧЕННІ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ

Актуальною проблемою за напрямком розвитку та технічного вдосконалення функціональних властивостей пристроїв релейного захисту елементів електричних станцій та мереж залишається проблема, що полягає у забезпеченні селективної дії цих пристроїв в усталених та перехідних режимах коротких замикань та за інших умов, за яких можливе насичення магнітних систем вимірювальних трансформаторів струму, до вторинних кіл яких підключено релейний захист. У статті проаналізовані ймовірні режими насичення трансформаторів струму та досліджено функціонування диференційно-фазного захисту збірних шин розподільчих установок за виникнення цих режимів. За результатами досліджень авторами виявлена спільна ознака для вищевказаних режимів – наявність у вторинному струмі трансформатора струму безструмових пауз певної тривалості, яка визначається умовами та ступенем його насичення. Застосування даної особливості було покладено в основу створення функціонального алгоритму диференційно-фазного захисту шин, що підвищує селективність його дії за глибокого насичення трансформаторів струму одного або декількох приєднань. Приведена структурна схема та пояснення функціонування розробленого алгоритму, зроблені висновки щодо ефективності його застосування.

Ключові слова: релейний захист, диференційно-фазний захист шин, селективність, формувачі імпульсів, трансформатор струму, насичення, струм намагнічування.

Вступ.

Як відомо, однією з основних причин неселективних спрацювань пристроїв релейного захисту (РЗ) елементів електричних станцій та мереж в усталених та перехідних режимах зовнішніх коротких замикань (КЗ) є функціонування трансформаторів струму (ТС), від вторинних кіл яких отримують живлення зазначені пристрої, з підвищеними струмовими та кутовими похибками трансформації. Струмові похибки ТС обумовлюють відмінність між абсолютними величинами приведенного первинного та вторинного струмів ТС, здійснюючи при цьому негативний вплив на функціонування реагуючих органів пристроїв РЗ, виконаних на струмовому, дистанційному або на диференційному струмовому принципах, у той час як кутові похибки ТС, що обумовлюють відмінність між напрямками векторів протилежно направленою первинного та вторинного струмів ТС, негативно впливають на функціонування пристроїв РЗ, що за своїм принципом дії реагують лише на співвідношення між фазами струмів (диференційно-фазні захисти) або на різницю між абсолютними значеннями та напрямками векторів струмів (диференційні захисти). Допустимі значення струмових та кутових похибок ТС, що застосовуються для підключення кіл пристроїв РЗ, визначені державними нормами та стандартами [1,2]. За певних обставин та умов експлуатації похибки ТС можуть перевищувати встановлені для них допустимі значення. До цих обставин зокрема належить насичення магнітних систем ТС в усталених та перехідних режимах КЗ або ж за кидку струму намагнічування силових трансформаторів. За глибокого насичення ТС відбувається різке зростання їх струмових та кутових похибок [3,4,5], що може виявитись причиною виникнення неселективної дії РЗ. Причому, як було встановлено в [3], зростання струмових похибок ТС відбувається в значно більшому ступені, ніж їх кутових похибок, через що було зроблено висновок про доцільність застосування пристроїв РЗ, які за своїм принципом дії мають бути відлаштовані лише від максимальних значень кутових похибок ТС в усталених та перехідних режимах КЗ. До даного типу пристроїв РЗ належить диференційно-фазний захист, що за принципом дії реагує на співвідношення між фазами струмів, які протікають по кінцях зони, що захищається, обмеженої встановленими комплектами ТС, до яких підключено захист. Зокрема, у статті будуть запропоновані дієві алгоритмічні засоби з забезпечення високої селективності дії диференційно-фазного захисту збірних шин (ДФЗШ) розподільчих установок електричних станцій та мереж в умовах глибокого насичення ТС одного чи декількох приєднань при КЗ та за кидку струму намагнічування увімкненого під напругу силового трансформатора.

Актуальність роботи. Відповідно до [6], при виконанні аналізу впливу насичення ТС на поведінку пристроїв РЗ доцільно розглядати два можливі випадки. За першого з цих випадків насичення ТС обумовлено впливом аперіодичних складових, що містяться в аварійних струмах перехідного процесу КЗ або в однополярному кидку струму намагнічування, за другого – за відсутності аперіодичних складових, наприклад, за перевищення допустимого навантаження вторинного кола ТС або граничної кратності первинного струму КЗ. Обидва зазначені випадки є цілком реальними з практичної точки зору в умовах технічної експлуатації ТС, а саме тому потребують вирішення питань з забезпечення селективної дії пристроїв РЗ за виникнення зазначених режимів. Оскільки пристрій ДФЗШ, який запропоновано до застосування у якості комплексу основного швидкодіючого захисту ЗШ від всіх видів пошкоджень, відповідно до [7,8,9], не відлаштований за часом від перехідних процесів КЗ та від впливу підвищених кутових похибок ТС, що можуть перевищувати уставку кута блокування захисту [8,10], розробка засобів з підвищення селективності його дії в умовах насичення ТС при КЗ та за виникнення кидку струму намагнічування є актуальним завданням, вирішення якого потребує комплексного підходу до аналізу ustalених та перехідних процесів, що супроводжуються насиченням ТС, їх узагальнення та визначення особливостей їх протікання.

Мета роботи – розробка алгоритмічних засобів із забезпечення селективного функціонування диференційно-фазного захисту збірних шин розподільчих установок електричних станцій та мереж в ненормальних та аварійних режимах енергосистеми за умови функціонування ТС, до яких підключено захист, з підвищеними похибками, обумовленими їх насиченням.

Матеріали і результати досліджень. Для дослідження впливу насичення ТС в ustalених та перехідних режимах КЗ, а також за кидку струму намагнічування на функціонування реагуючого органу ДФЗШ проаналізуємо особливості перебігу кожного із зазначених режимів з урахуванням впливу чинників цих режимів на точність трансформації первинного струму у вторинну обмотку ТС, та, як наслідок, на спотворення форми їх вторинних струмів.

Згідно з [6], за наявності в первинних струмах КЗ аперіодичних складових у функціонуванні ТС можна виділити декілька послідовних стадій. У початковій стадії ТС за більшості випадків є ненасиченим, нормальна трансформація первинного струму у вторинне коло ТС не порушується, у вторинному струмі ТС містяться аперіодичні складові, а вищі гармоніки при цьому відсутні та, як наслідок, форма вторинного струму ТС близька до синусоїдальної.

Похибки трансформації ТС на цій стадії, як правило, не перевищують допустимих значень. Тривалість перебування ТС у ненасиченому стані за перехідного процесу КЗ визначається конкретними умовами їх функціонування та може коливатись від одного до декількох періодів струму промислової частоти. За найбільш несприятливих випадків, наприклад за наявності в магнітній системі ТС залишкової індукції, що за своїм напрямком співпадає з потоком намагнічування ТС, та за наявності в перехідному струмі КЗ значної за абсолютною величиною аперіодичної складової, як це показано на рис.1, насичення ТС може здійснюватись вже на першому періоді, що є вкрай негативним явищем з точки зору забезпечення селективного функціонування пристроїв РЗ.

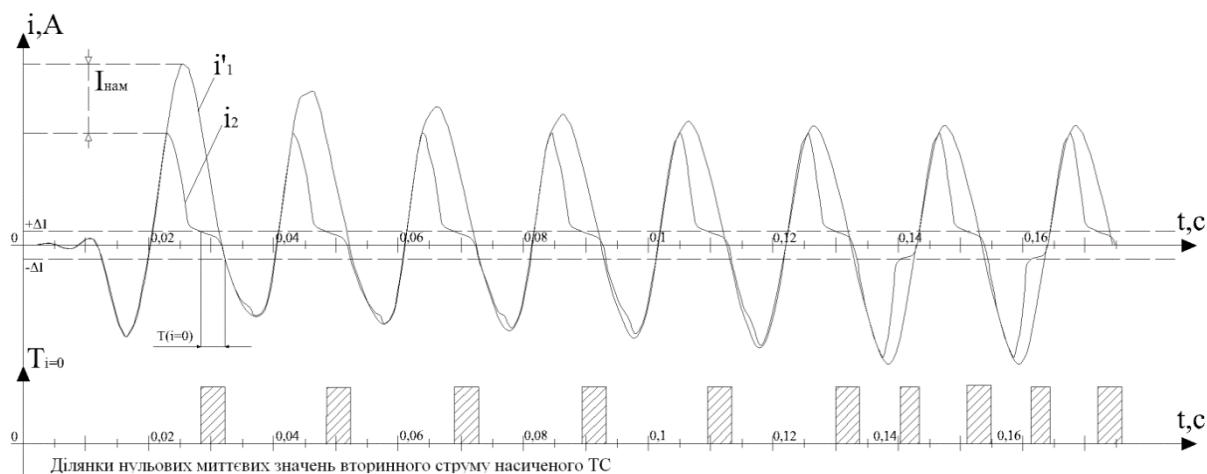


Рисунок 1 – Осцилограма процесу насичення ТС в перехідному режимі КЗ: i_1 – приведений первинний струм ТС, i_2 – вторинний струм ТС, $I_{\text{нам}}$ – величина струму намагнічування ТС, $T_{(i=0)}$ – ділянка нульових миттєвих значень вторинного струму, $\pm\Delta I$ – інтервал, на якому крива вторинного струму ТС наближається до осі нульових миттєвих значень струму.

При насиченні ТС вміст аперіодичної складової у його вторинному струмі різко знижується за рахунок збільшення струму намагнічування ТС, при цьому також у вторинному струмі з'являються парні та непарні гармоніки, переважно друга та третя, що призводять до значного спотворення синусоїдальної форми вторинного струму ТС, та, як наслідок, до суттєвого збільшення його струмових та кутових похибок. Вміст першої гармоніки у вторинному струмі ТС при цьому різко знижується, що може виявитись причиною відмови при внутрішніх КЗ пристроїв РЗ, що за принципом дії реагують на діючі чи амплітудні значення першої гармоніки струмів, або ж на їх фази. Характерною особливістю спотвореної форми вторинного струму насиченого ТС є наявність ділянок на яких за рахунок перемагнічування ТС миттєві значення його вторинного струму наближаються до нуля, як це показано на рис.1 (інтервал $\pm\Delta I$). Тривалість цих ділянок за різних умов виявляється неоднаковою та обумовлена впливом чинників, зазначених у [4]. Проте у більшості випадків їх тривалість становить близько чверті періоду струму промислової частоти (5 мс). На цих ділянках, як показано на рис.1, крива вторинного струму ТС наближається до осі нульових миттєвих значень струму, що дозволяє нам знехтувати цими значеннями та наближено вважати їх рівними нулю. **Застосування даної особливості може бути покладено в основу розробки алгоритмічних засобів з підвищення селективності функціонування пристрою ДФЗШ за глибокого насичення ТС одного або одночасно декількох присіднань.**

По мірі затухання перехідного процесу ТС виходить з режиму насичення, відновлюється його нормальне функціонування, при цьому похибки трансформації первинного струму зменшуються, вторинний струм ТС набуває форми близької до синусоїдальної.

Відповідно до [6,8], процес насичення ТС в усталених режимах КЗ за відсутності у первинному струмі КЗ аперіодичних складових та при кидку струму намагнічування має подібний характер процесу насичення ТС в перехідних режимах. На рис.2 наведено осцилограму процесу насичення ТС в усталеному режимі КЗ за умови перевищення допустимого навантаження його вторинного кола.

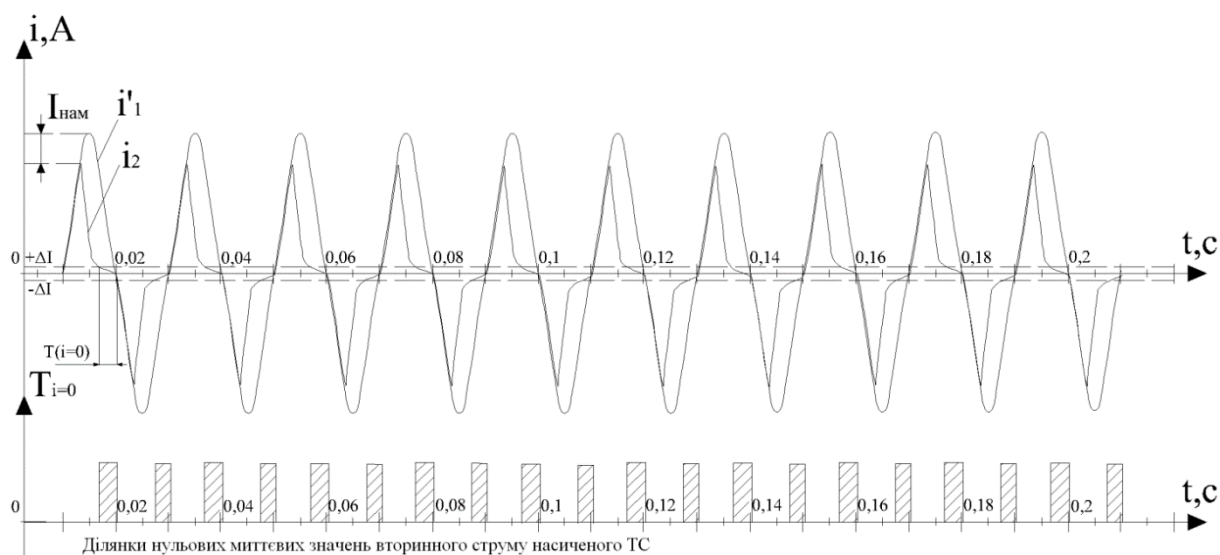


Рисунок 2 – Осцилограма процесу насичення ТС в усталеному режимі КЗ за умови перевищення допустимого навантаження його вторинного кола.

За даного режиму, як показано на рис.2, насичення ТС здійснюється, як правило, вже на першому періоді струму промислової частоти [4,6,8]. У спотворених вторинних струмах ТС з'являються лише непарні гармоніки, переважно третя та п'ята, що також спотворюють синусоїдальну форму струму та призводять до різкого збільшення струмових та кутових похибок ТС, які залишаються практично незмінними на протязі всього часу існування КЗ. Відсутність парних гармонік обумовлена відсутністю аперіодичної складової, що призводить до порушення симетрії кривої вторинного струму ТС відносно осі часу. Як показано на рис.2, подібно процесу насичення ТС за впливу аперіодичної складової, у даному випадку також існують ділянки, на яких миттєві значення вторинного струму ТС наближаються до нуля, причому тривалість цих ділянок аналогічна вищезгаданому випадку. Можемо також допустити, що на цих ділянках миттєві значення вторинного струму ТС рівні нулю.

На рис.3 наведена осцилограма процесу насичення ТС за умови кидку струму намагнічування при увімкненні в мережу силового трансформатора, що також містить подібні ділянки (безструмові паузи), на яких можемо вважати миттєві значення вторинного струму ТС рівними нулю.

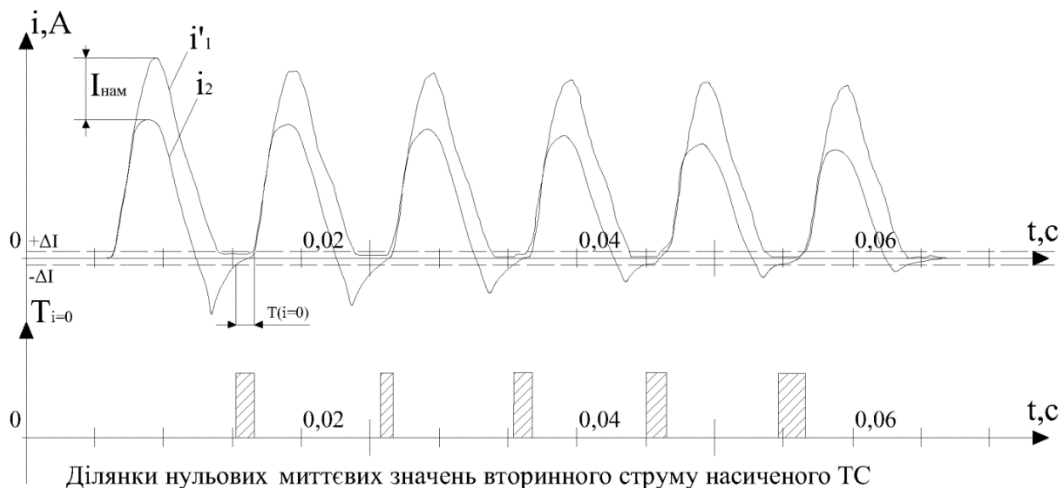
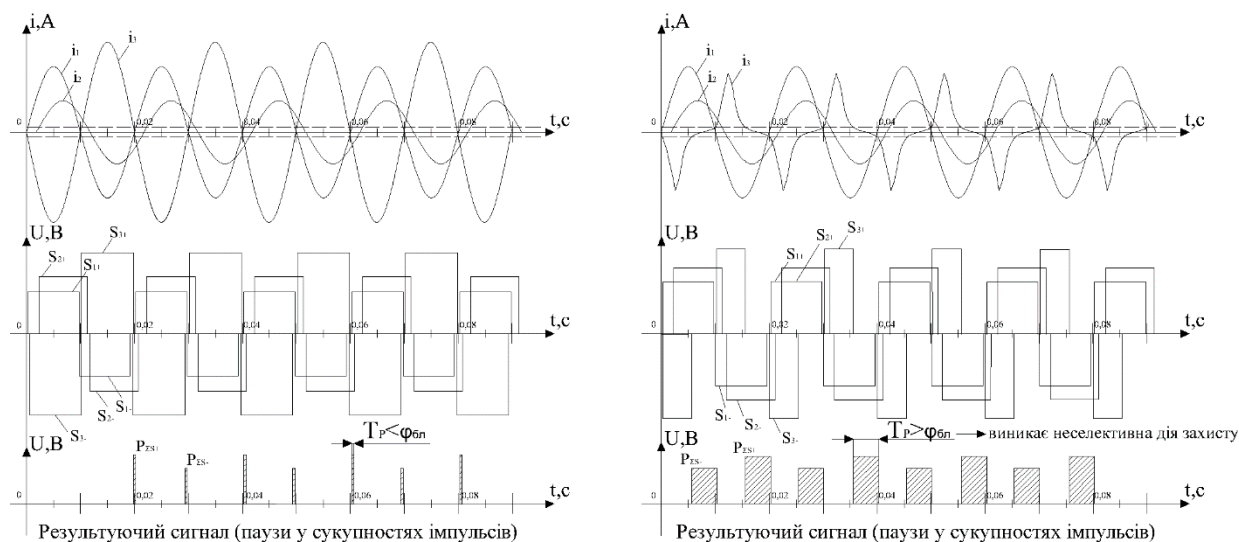


Рисунок 3 - Осцилограма процесу насичення ТС при кидку струму намагнічування силового трансформатора

Таким чином, криві вторинного струму ТС, за умови його насичення в усталених та перехідних режимах КЗ та за кидку струму намагнічування мають спільну ознаку – наявність безструмових пауз певної тривалості, яка визначається умовами та ступенем насичення ТС [4,6,8].

Наявність ділянок з нульовими миттєвими значеннями вторинних струмів ТС (при його насиченні) для одного з приєднань, підключених до спільної системи ЗШ, та відсутність цих ділянок для інших приєднань (з ненасиченими ТС) може призвести до виникнення неселективної дії пристрою ДФЗШ, алгоритм дії якого заснований на визначенні тривалості пауз у сукупностях різнополярних імпульсів, сформованих із напівхвиль вторинних струмів ТС [7,8], у разі, якщо тривалість безструмових пауз перевищуватиме уставку кута блокування захисту [7-10]. Реагуючим органом ДФЗШ безперервно здійснюється визначення співвідношень між фазами струмів приєднань шляхом формування прямокутних імпульсів напруги позитивної та негативної полярності з відповідних їм напівхвиль вторинних фазних струмів ТС у момент переходу синусоїди цих струмів через нуль, або через встановлене уставкою значення рівня формування імпульсів [8-10]. Більш детальніше механізм функціонування пристрою ДФЗШ та способи реалізації його логічних кіл розглянуті в [8]. На рис.4 проілюстровано функціонування пристрою ДФЗШ в режимі зовнішнього КЗ без насичення ТС пошкодженого приєднання (рис.4а) та за умови їх насичення (рис.4б).



а) Зовнішнє КЗ при ненасичених ТС пошкодженого приєднання

б) Зовнішнє КЗ при насичених ТС пошкодженого приєднання

Рисунок 4 – Функціонування ДФЗШ в режимі зовнішнього КЗ при ненасичених та насичених ТС пошкодженого приєднання: i_1-i_3 – вторинні фазні струми ТС приєднань, підключених до спільної системи ЗШ; $S_{1+}-S_{3+}$ – сформовані імпульси позитивної полярності; $S_{1-}-S_{3-}$ – сформовані імпульси негативної полярності; P_{2S+}, P_{2S-} – паузи у сукупностях позитивних та негативних імпульсів відповідно.

Як показано на рис.4а, при ненасиченому стані ТС пошкодженого приєднання селективне функціонування ДФЗШ при зовнішніх КЗ не порушується, тривалість пауз в сукупностях різнополярних імпульсів напруги T_p не перевищує уставки кута блокування захисту $\varphi_{\text{бл}}$, тобто виконується умова його неспрацювання $T_p < \varphi_{\text{бл}}$. При насиченні ТС пошкодженого приєднання, як це показано на рис.4б, селективність функціонування ДФЗШ порушується за рахунок того, що з безструмових пауз формування імпульсів напруги не здійснюється, натомість «провал», що виникає у результируючому сигналі, хибно сприймається захистом, як сигнал, що свідчить про синфазність струмів усіх приєднань, підключених до спільної системи ЗШ, а отже і про її пошкодження, що не відповідає дійсності. Тривалість пауз в сукупностях різнополярних імпульсів напруги перевищуватиме уставку кута блокування захисту, тобто виконуватиметься умова його спрацювання $T_p > \varphi_{\text{бл}}$, що призведе до його надлишкової дії.

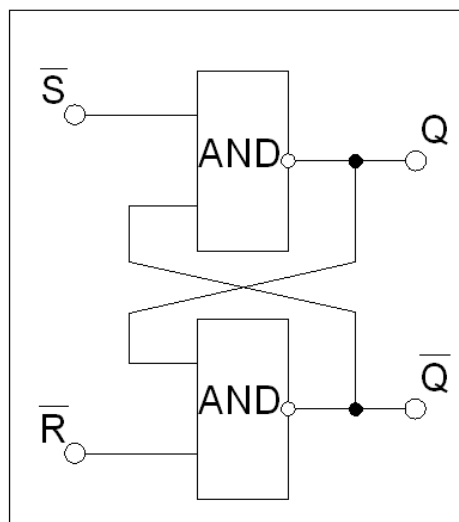
Для попередження можливої неселективної дії ДФЗШ за вищерозглянутих випадків авторами розроблено функціональний алгоритм, яким передбачається реалізація можливості подовження різнополярних імпульсів напруги, сформованих зі спотворених напівхвиль вторинних фазних струмів насичених ТС приєднань. Структурна схема розробленого алгоритму приведена на рис.5.



Рисунок 5 – Структурна схема алгоритму формування імпульсів у ДФЗШ

Структурна схема, що приведена на рис.5, містить наступні функціональні та логічні блоки:

- 1- блоки формування прямокутних імпульсів напруги позитивної та негативної полярності при переході вхідного сигналу вторинного фазного струму через рівень формування імпульсів $\pm i_y$;
- 2 – блоки елементів пам'яті (фіксації вхідних сигналів), у якості яких застосовані асинхронні RS-тригери, структурна схема яких приведена на рис.6;
- 3 – блоки інтегрування сигналів;
- 4 – блоки подовження імпульсів;
- 5, 6 – блоки порівняння миттєвих величин з заданими уставками T_1 та T_2 відповідно;
- блоки логічних операцій «АБО» (OR), «НЕ» (NOT), «І» (AND);
- вихідні блоки імпульсних сигналів позитивної S+ та негативної S- полярності.



RS-trigger

Рисунок 6 – Структурна схема асинхронного RS-триггера

Розроблений авторами алгоритм функціонує наступним чином. Формування різнополярних імпульсів напруги здійснюється із напівхвиль позитивної та негативної полярності вторинних фазних струмів ТС приєднань в момент переходу зазначених сигналів через встановлений рівень формування імпульсів $\pm i_y$ (блоки 1), що задається параметрами налаштування захисту, або через нуль за умови, якщо не передбачається встановлення уставки рівня формування, $\pm i_y = 0$. Сформовані імпульси напруги надходять до входу 1 тригерних блоків пам'яті (блоки 2), якими забезпечується фіксація (запам'ятовування) цих імпульсів на деякий час. Незалежно від тривалості вхідних імпульсів, підрич їхньої фіксації здійснюється кожного разу при зміні полярності вхідного імпульсу, тобто при надходженні до входу зняття фіксації (вхід 0) тригерного блоку імпульсу протилежної полярності або за умови визначення блоком 5 тривалості вихідного імпульсу такою, що перевищує значення параметру його налаштування ($T_1 = 20\text{мс}$), яким визначається відключений стан вимикача приєднання або існування однополярного сигналу, наприклад кидку струму намагнічування. Визначення тривалості вхідних та вихідних імпульсів забезпечується шляхом їх інтегрування у блоках 3. У разі визначення тривалості вхідного імпульсу, що перевищує значення параметру налаштування блоку 6 ($T_2 = 10\text{мс}$), здійснюється укорочення вихідного імпульсу, що забезпечується шляхом підричу його фіксації за входом 0 тригерного блоку, що необхідно для забезпечення селективної дії ДФЗШ у перехідних режимах. В обох контурах формування як позитивних, так і негативних імпульсів передбачається можливість подовження вхідних імпульсів незалежно від їх початкової тривалості на деякий час, що визначається параметром налаштування блоку 4 ($T_{\text{PULSE}} = 0\text{мс}$), що може виявитись необхідним для підвищення селективності захисту при зовнішніх КЗ за умови завищення уставки рівня формування імпульсів $\pm i_y$, що, як наслідок, призводить до зниження чутливості ДФЗШ, зокрема за наявності приєднань зі слабким живленням.

Розробленим алгоритмом виключається ймовірність виникнення «провалу» імпульсу у результуючому сигналі при зовнішніх КЗ за наявності у вторинному струмі ТС пошкодженого приєднання безструмових пауз, обумовлених його насиченням та, як наслідок, виникнення неселективної дії ДФЗШ. Під час безструмових пауз забезпечуватиметься подовження позитивних або (та) негативних імпульсів, що формуються зі спотворених напівхвиль вторинного струму насиченого ТС і, як наслідок, перекриття цих пауз. При зовнішніх КЗ за ненасичених ТС завжди здійснюватиметься підрич фіксації вхідних імпульсів у кожному разі за зміни їх полярності.

На рис.7, рис.8 проілюстровано функціонування розробленого авторами алгоритму для випадків усталеного та перехідного режимів КЗ з насиченням ТС.

Як показано на рис.7 та рис.8, вихідні позитивні та негативні імпульси є подовженими у порівнянні з вхідними імпульсами, що обумовлено дією тригерних блоків, причому між різнополярними вихідними імпульсами відсутні паузи, наявність яких може призводити до неселективної дії ДФЗШ, про що було зазначено.

На рис.9 проілюстровано функціонування пристрою ДФЗШ в режимі зовнішнього КЗ за умови насичення ТС пошкодженого приєднання, але вже при застосуванні розробленого алгоритму формування імпульсів. При цьому у результуючому сигналі, що аналізується реагуючим органом ДФЗШ відсутні паузи між сукупностями імпульсів позитивної та негативної полярності, тобто виконується нерівність $T_p = 0 < \varphi_{\text{дл}}$, що відповідає умові неспрацювання захисту, тим самим забезпечується його селективна дія.

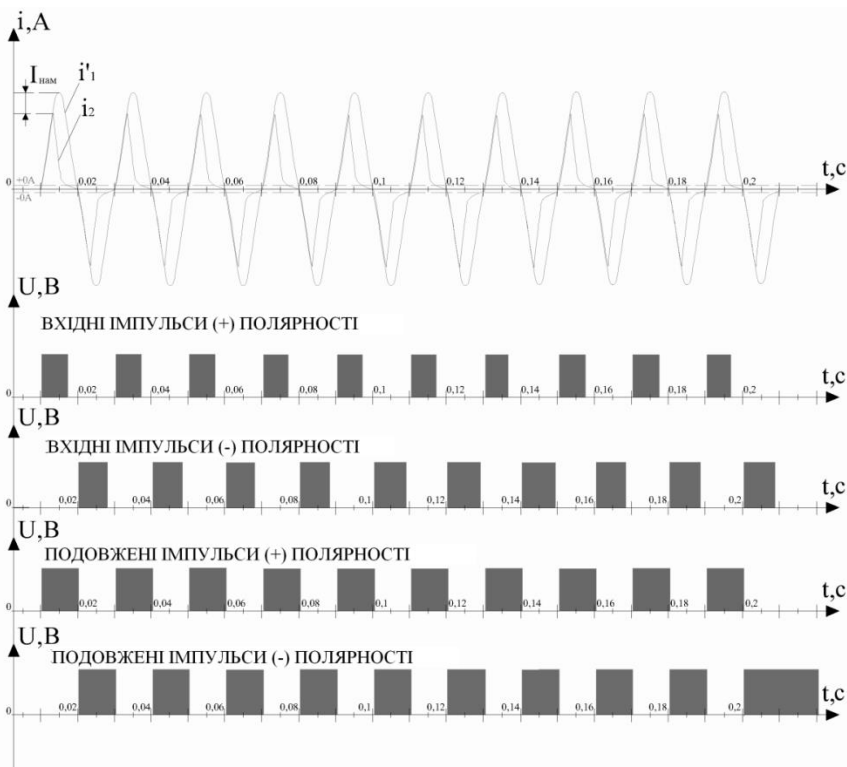


Рисунок 7 – Ілюстрація функціонування розробленого алгоритму в усталеному режимі КЗ

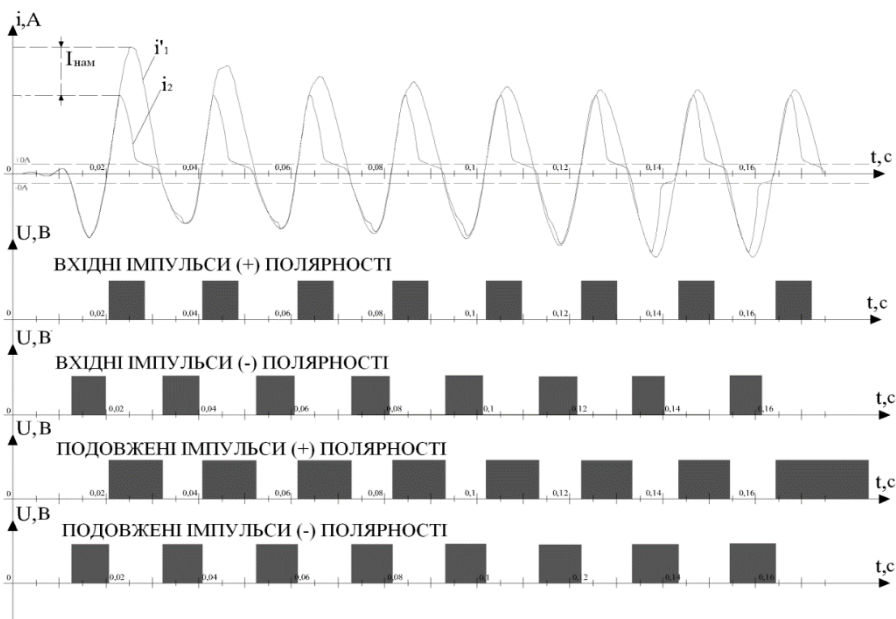


Рисунок 8 – Ілюстрація функціонування розробленого алгоритму в перехідному режимі КЗ

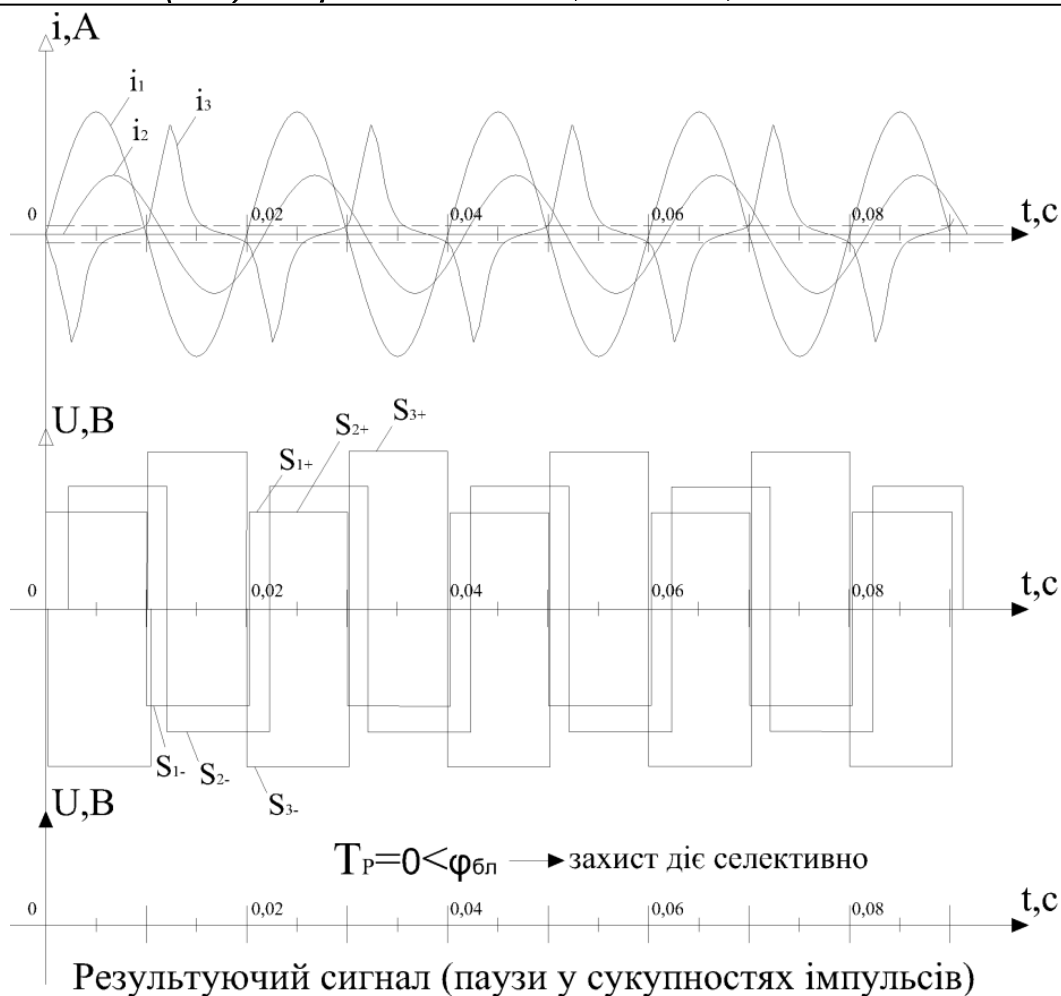


Рисунок 9 - Функціонування ДФЗШ при застосуванні розробленого алгоритму в режимі зовнішнього КЗ з насиченням ТС пошкодженого приєднання

Висновки.

У статті авторами було розроблено функціональний алгоритм формування імпульсів у ДФЗШ, що сприяє підвищенню селективності дії захисту в усталених та перехідних режимах КЗ та за кидку струму намагнічування при насиченні ТС одного або декількох приєднань, підключених до спільної системи ЗШ. За основу, при створенні даного алгоритму, була покладена виявлена спільна ознака протікання зазначених режимів – наявність безструмових пауз у вторинному струмі насичених ТС, тобто ділянок, що характеризуються близькими до нуля миттєвими значеннями вторинного струму. Шляхом застосування розробленого алгоритму здійснюється подовження сформованих із спотворених напівхвиль вторинних струмів імпульсів позитивної та негативної полярності, чим забезпечується перекриття виникаючих при цьому у вторинному струмі насиченого ТС безструмових пауз та попередження «провалу» імпульсу у результуючому сигналі, що аналізується реагуючим органом ДФЗШ. Як наслідок, умова спрацювання захисту $T_p > \varphi_{\text{бл}}$ при зовнішніх КЗ та при кидку струму намагнічування не виконується, на відміну від ймовірного виконання зазначеної умови без впровадження розробленого алгоритму, що свідчить про ефективність застосування даного алгоритму та досягнення поставленої у статті мети.

Список використаної літератури

1. Правила устройства электроустановок: Глава 3.2. Релейная защита / Минэнерго Украины. – 7-е изд., перераб. и доп. - X: Форт, 2009. – 704 с.
2. Трансформатори вимірювальні. Частина 1. Трансформатори струму (IEC 60044-1:2003, IDT) : ДСТУ IEC 60044-1:2008. — [Чинний від 2010-01-01]. — К. : Держспоживстандарт України, 2010. — 38 с. — (Національний стандарт України).

3. Ніценко В. В. Дослідження похибок трансформаторів струму у системах релейного захисту в усталених та перехідних режимах енергосистеми / В.В. Ніценко, Д.О. Кулагін, П.В. Махлін // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – Вип.2/2016. – С.32-45.
4. Афанасьев В. В. Трансформаторы тока / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В.М. Кибель, И. М. Сирота, Б.С. Стогний – Л: Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.
5. S. E. Zocholl (2012), “Current Transformer Concepts”, Journal of Reliable Power : Vol. 5, pp. 31-55 (Eng).
6. Романюк Ф.А. Влияние насыщения трансформаторов тока на работу токовых защит / Романюк Ф.А., Тишечкин А.А., Румянцев В.Ю., Новаш И.В., Бобко Н.Н., Глинский Е.В. // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ - Энергетика __: научно-технический и производственный журнал. – Минск: БНТУ, 2010. – Вип. 1/2010. – С. 5-9.
7. Ніценко В. В. Перспективы использования дифференциально-фазного принципа для защиты систем сборных шин распределительных устройств 110–750 кВ / Ніценко В. В., Кулагін Д. А. // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 3/2015 (31). – С. 158-166.
8. Кужеков С. Л. Защита шин электростанций и подстанций / С. Л. Кужеков, В. Я. Синельников. – М: Энергоатомиздат, 1983. – 184 с.
9. Бобин Д. Н. Исследование и разработка методов выполнения защит шин на перспективной микропроцессорной базе: дис. ... кандидата техн. наук : 05.14.02 / Бобин Дмитрий Николаевич. – М., 1999. – 211 с.
10. Ніценко В. В. Исследование основных расчетных параметров дифференциально-фазной защиты сборных шин энергообъектов и факторов электрической сети, оказывающих влияние на их выбор / В.В. Ніценко, Д.А. Кулагін, П.В. Махлін, А.Н. Клишко // Електротехніка та електроенергетика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – Вип.2/2015. – С.87-94. [http://journal.zntu.edu.ua/et/files/ET22015/ET\(2\)_2015.pdf](http://journal.zntu.edu.ua/et/files/ET22015/ET(2)_2015.pdf)

V. Nicenko, engineer of relay protection service

DP “NEC “Ukrenergo” Dniprovsk ES

D. Kulagin, PhD. Sc. Sciences, prof., **P. Makhlin**, PhD. Sc. Sciences, Assoc.

Zaporizhzhya national technical University

DEVELOPMENT OF THE MEANS TO IMPROVE A SELECTIVE OPERATION OF THE DIFFERENTIAL-PHASE BUSBAR PROTECTION IN CASE OF CURRENT TRANSFORMERS SATURATION

An important problem in the field of development and technical improvement of the functional features of relay protection devices used at the electric power stations and power grids is a problem concerning with providing selective operation of these devices in the steady and transient emergency conditions and other modes under which the possible a saturation of the magnetic systems of measuring current transformers, to which are connected relay protection.

The purpose of this paper is a development of the algorithmical means to increase selective operation of differential-phase busbar protection of switchgears of power stations and power grids in off-normal and emergency conditions in case of operation with saturation of current transformers.

The paper analyzes the possible current transformer saturation conditions, and the functioning of the differential-phase busbar protection of switchgears in these conditions. According to the results of investigations a common feature for the above conditions was identified by authors. It is a presence of no-current pauses in the secondary circuits of saturated current transformers having some duration which is determined by the conditions and the degree of its saturation.

The presence of no-current pauses at the secondary circuits of saturated current transformers for one of the bays that are connected to a common busbar and the lack of these pauses for other bays with unsaturated current transformers can lead to unselective operations of differential-phase busbar protection using the operational algorithm which is based in determining the duration of pauses in the impulse signals created from a half-waves of secondary currents.

This feature were taken as the basis for the development of a functional algorithm of operation of differential-phase busbar protection, the use of which increases the selectivity of the protection in case of a deep saturation of current transformers of one or more bays. The diagram and explanations of developed algorithm operation were given in the paper. In end of the paper were made conclusions about the effectiveness of its application.

Keywords: relay protection, differential-phase busbar protection, selectivity, impulse forming, current transformer saturation, magnetizing current.

References

1. Pravila ustroystva electroustanovok. Glava 3.2. Releynaya zachita [The rules of electrical. Head 3.2. Relays protections], (2009), Fort, Kharkov, Ukraine.
2. Transformatori vimiryuvalni. Chastina 1. Transformatori strumu (IEC 60044-1:2003, IDT) : DSTU IEC 60044-1:2008 [Instrumental transformers. Chapter 1. Current transformers (IEC 60044-1:2003, IDT) : DSTU IEC 60044-1:2008], (2010), Derzhspozhivstandart Ukraini, Kiiv, Ukraine.
3. Nicenko V. V. (2016), "Investigations of current transformer's errors in relay protection systems during steady and transient conditions of power grid", *Electrotekhnika i electroenergetika*: Vol. 1, pp.32-45. (UA).
4. Aphanasiev V. V., Adoniev V.M, Kibel I.M., Sirota I. M., Stogniy B. S. (1989), Transformatori toka [Current transformers], Energoatomizdat, Leningrad, USSR.
5. S. E. Zocholl (2012), "Current Transformer Concepts", *Journal of Reliable Power* : Vol. 5, pp. 31-55 (Eng).
6. Romanyuk F.A. (2010), "Influence of current transformer saturation to operation of current protection", *Izvestiya visshih uchebnykh zavedenii i energeticheskikh obedinenii SNG – Energetica: nauchno tekhnicheskii i proizvodstvennyi zhurnal*: Vol. 1, pp. 5-9. (Rus.).
7. Nicenko V. V. (2015), "Prospects differential-phase principle to protect busbar system switchgears 110-750 kV", *Electromekhanicheskie i energosberigaushie sistemi*: Vol. 3, pp. 158-166. (Rus.).
8. Kuzhekov S. L., Sinelnikov V. Y. (1983), *Zachita shin electrostantsiy i podstantsiy* [Busbar protection powerstation and substation], Energoatomizdat, Moscow, USSR. (Rus.).
9. Bobin D. N. (1999), "Research and development methods of performance busbar protection prospectively based microprocessor", dissertation of Cand. Sci. (Tech.), 05.14.02. (Rus.).
10. Nicenko V. V. (2015), "Investigations of main counted parametr of differential-phase busbars protection and factors of power grid, which influences for its setting", *Electrotekhnika i electroenergetika*: Vol. 2, pp. 87-94. (Rus.) [http://journal.zntu.edu.ua/et/files/ET22015/ET\(2\)_2015.pdf](http://journal.zntu.edu.ua/et/files/ET22015/ET(2)_2015.pdf).

В.В. Ниценко, инженер службы релейной защиты

ОП ГП «НЕК «Укренерго» Днепровская ЭС

Д.А. Кулагин, канд. техн. наук, проф., П.В. Махлин, канд. техн. наук, доц.,

Запорожский национальный технический университет,

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНОЙ ЗАЩИТЫ СБОРНЫХ ШИН ПРИ НАСЫЩЕНИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Актуальной проблемой в области развития и технического совершенствования функциональных свойств устройств релейной защиты элементов электрических станций и сетей остается проблема, которая заключается в обеспечении селективного действия указанных устройств в установившихся и переходных режимах коротких замыканий и при других условиях, при которых возможно насыщение магнитных систем измерительных трансформаторов тока, ко вторичным цепям которых подключена релейная защита. В статье проанализированы возможные режимы насыщения трансформаторов тока и исследовано функционирование дифференциально-фазной защиты сборных шин распределительных установок при возникновении этих режимов. По результатам исследований авторами выявлен общий признак для вышеупомянутых режимов - наличие во вторичном токе трансформатора тока бестоковых пауз определенной длительности, которая определяется условиями и степенью его насыщения. Применение этой особенности были взяты за основу при разработке функционального алгоритма действия дифференциально-фазной защиты шин, использование которого повышает селективность действия защиты по глубоком насыщении трансформаторов тока одного или нескольких присоединений. Приведена структурная схема и даны пояснения функционирования разработанного алгоритма, сделаны выводы об эффективности его применения.

Ключевые слова: релейная защита, дифференциально-фазная защита шин, селективность, формирователи импульсов, трансформатор тока, насыщение, ток намагничивания.

Надійшла 12.12.2016

Received 12.12.2016