

ОТНОСНО ИЗБОРА НА РЕЛЕЙНА ЗАЩИТА ОТ ЕДНОФАЗНО ЗЕМНО СЪЕДИНЕНИЕ В ОТКРИТИ РУДНИЦИ

Кирил Джустров

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ София

ON THE SELECTION OF RELAY PROTECTION OF A SINGLE- PHASE EARTH FAULT IN OPEN-PIT MINES

Kiril Dzhustrov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”

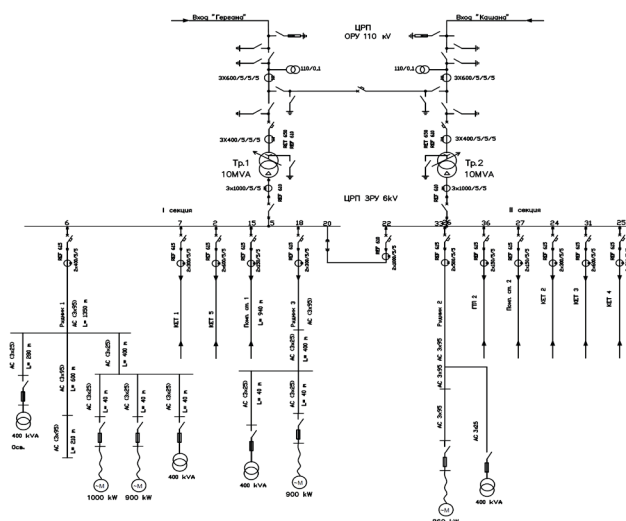
Abstract

To determine the settings of relay protections of single-phase earth faults, an experiment was conducted in which the current of a metal earth fault was recorded in an open-pit mine. The transient starting processes of transformers with significant zero-sequence currents during the transient process due to asymmetry in their magnetic system are analyzed with regard to the optimal setting of earth fault protections. The possibility of selecting relay protections from single-phase earth faults is evaluated.

Keywords: Relay protections of single-phase earth faults, Zero-sequence currents.

ВЪВЕДЕНИЕ

В открития рудник „Елаците“ е изследван токът на земно съединение на изводи “Рудник 1” и “Рудник 2”, като са направени съответно 5 и 3 записа на отделните изводи.



Фиг. 1. Еднолинейна схема на ГПП

На фиг. 1 е показана опростена еднолинейна схема на главната понизителна подстанция (ГПП) на предприятието. Предприятието се захранва с два трансформатора 110kV/6kV, всеки с мощност по 10MVA. Режимът на работа на страна средно напрежение е с изолиран звезден център. Общата дължина на кабелните линии е 25700m, а тази на въздушните електропроводи е 7600m. На територията на предприятието са изградени още пет разпределителни подстанции на средно напрежение 6 kV. Монтираните защиты на изводите на ГПП са REF615, като изключение прави извод “Рудник 2”, на който все още са в експлоатация електромеханични релета.

Измерванията бяха извършени, като при изключен извод от ГПП се правеше изкуствено земно съединение между фазен проводник и заземителната уредба на преключателни пунктове на багерите.

Записите се правеха при включване на извода и действие на защитата от микропроцесорната защита за извод “Рудник 1”, и с трифазен мрежов анализатор FLUKE 437 за извод “Рудник 2”. Подобен вид измервания са уникални от гледна точка на изследването на реални обекти и оптимално използване на защитната апаратура, но е рядкост и не се прави от електроенергийните оператори и предприятията [9].

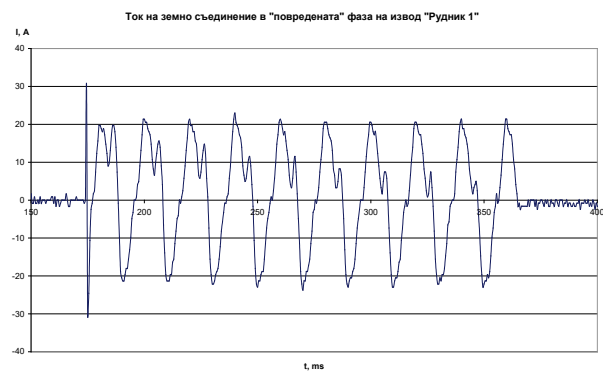
За анализа са използвани избрани представителни измервания. Във връзка с оптималната настройка на защитите от земни съединения са използвани измервания на преходните пускови процеси на трансформатори, имащи значителни токове с нулева последователност по време на преходния процес поради несиметрия в магнитната им система. Подобни токове се появяват и при включване на асинхронни двигатели [4, 5, 7, 10]. Тези токове в много случаи биха могли да предизвикат лъжливи сработвания на релейната защита.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Както е известно, токът на земно съединение (з.с.) в мрежи с изолиран звезден център на трансформатора зависи най-вече от капацитетът (респективно дължината, сечението, вида на изолацията) на кабелната мрежа и в значително по-малка степен от конфигурацията и изпълнението на въздушната мрежа [1, 2, 3]. Това предполага и приблизително еднакви токове на земно съединение във всички въздушни изводи на предприятието, поради незначителната разлика в капацитета на отделните въздушни линии. Последното се потвърждава и от записа на тока в “повредената” фаза на извод “Рудник 1” (фиг. 2) и на извод “Рудник 2” (фиг. 3). От записите се вижда, че в установения режим амплитудните стойности на тока на земно съединение са равни – 21,32 А. Наблюдава се разлика във времето на сработване на защитите – съответно около 190 ms при извод “Рудник 1” и около 700 ms за “Рудник

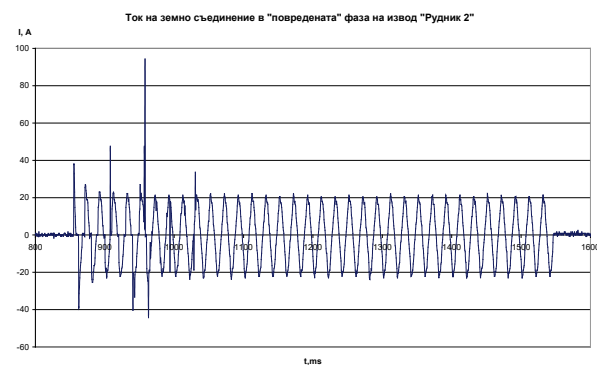
2”. Това се обяснява с качествата и възможностите на монтираните защиты и прекъсвачи. Прави впечатление и ударните амплитуди на двата записа.

На фиг. 2 ударният ток на з.с. е 30,1А, докато на фиг. 2 има регистрирана стойност от 94,3 А. Тези стойности са единични, с малка продължителност и не оказват практически никакво значение в работата на защитните устройства.



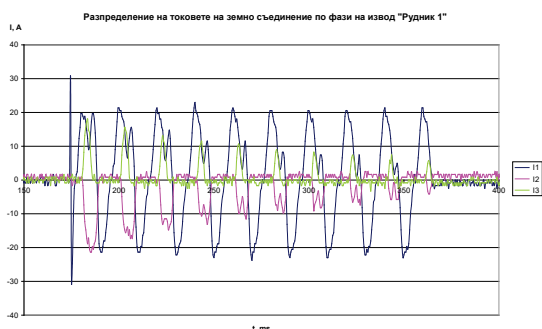
Фиг. 2. Ток на земно съединение в „повредена“ фаза, извод Рудник 1

Трябва да се отбележи, че порядъкът на ударния ток е еднакъв и при други измервания на съответните изводи [6].



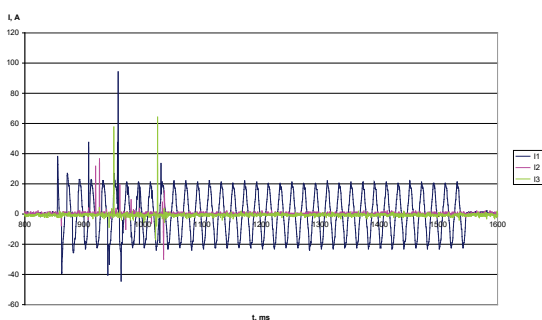
Фиг. 3. Ток на земно съединение в „повредена“ фаза, извод Рудник 2

Обяснението за разликата е, че по време на измерването към извод “Рудник 1” е имало включен трансформатор, за разлика от извод “Рудник 2” към който не е прикачено нищо.



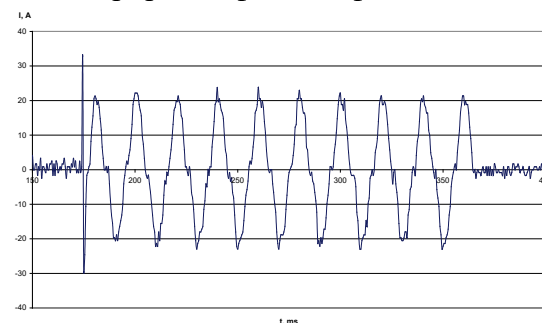
Фиг. 4. Разпределение на токовете на земно съединение на извод Рудник 1

При случая с трансформатор (или каквато и да било друга машина в близост до мястото на з.с. пренапреженията са значително по-малки, а от там и време-константата на зареждане на капацитета на мрежата.



Фиг. 5. Разпределение на токовете на земно съединение на извод Рудник 2

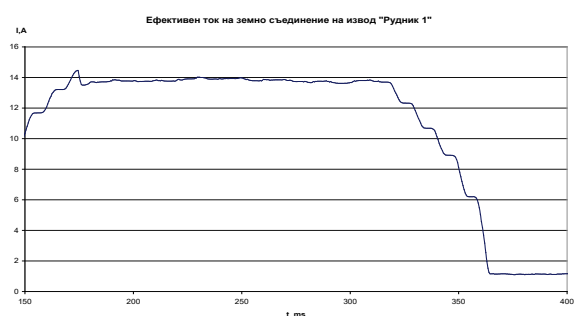
От осцилограмата на фиг. 2 се вижда, че положителния полупериод се формира от сумирането на основния с още един апериодичен ток, обусловен от запасената енергия на прикачения към извода трансформатор (или двигател). Това се илюстрира и с фиг. 4 и фиг. 5.



Фиг. 6. Сумарен ток на земно съединение на извод Рудник 1

В зависимост от метода на измерване на токът на з.с. (сума на токове при три-трансформаторно измерване или сума на магнитни потоци при тороидален трансформатор), защитата ще сработва с различна грешка (тя е по-голяма при три-трансформаторното измерване).

При сумиране на токовете от фиг. 4 се вижда, че формата на резултантния ток (респективно магнитен поток) добива вида на фиг. 3. Резултантният ток (токът на който реагира защитата) е показан на фиг. 6, а ефективната му стойност – на фиг.7.



Фиг. 7. Ефективен ток на земно съединение на извод Рудник 1

От последната фигура се вижда, че токът на з.с. има стойност около 14А. Въведената настройка на защитите на изводите за рудника са с две степени:

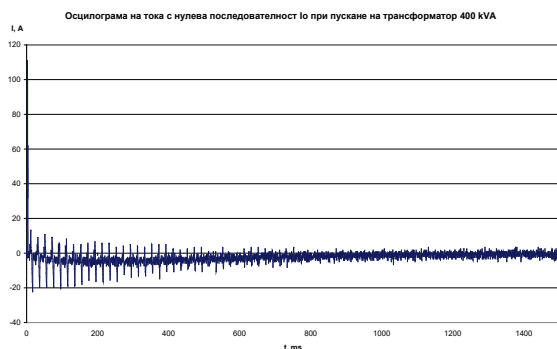
$$IE_{>>} = 10A, t = 0,1s$$

$$IE_{>} = 2,5A, t = 3s$$

При така въведените настройки коефициентът на сигурност за степента $IE_{>>}$ е:

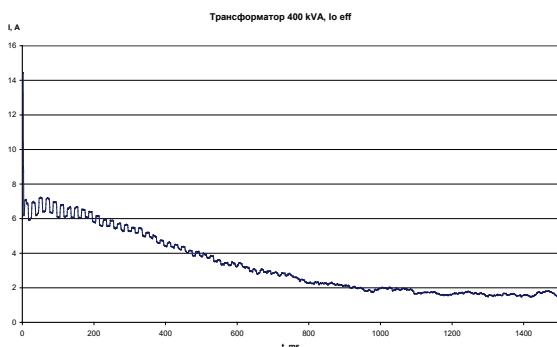
$$K_c = 1,4,$$

което е напълно достатъчно и не се налага корекция на настройките на защитите. Чувствителната земна защита $IE_{>}$ също не е целесъобразно да бъде променяна, както по ниво, така и по време, тъй като тя има отношение по отстройка от капацитивния ток през другите 2 фази на другите изводи и от собствения капацитивен ток на захранващите фидери, както и като защита при земно съединение през преходно съпротивление.



Фиг. 8. Осцилограма на токът с нулева последователност при пускане на трансформатор 400kVA

На фиг. 8 е даден токът I_0 на трансформатор 400 kVA, а на фиг. 9 – ефективната му стойност. Вижда се, че при така избраните защиты от еднофазно земно съединение има достатъчно големи коефициенти на сигурност и няма опасност за лъжливи сработвания на защитите.



Фиг. 9. Ефективна стойност на токът с нулева последователност при пускане на трансформатор 400kVA

За по-добра и безотказна работа на защитите в ГПП на РК „Елаците“ препоръчвам на извод „Рудник 2“ и на входове 6kV да бъдат монтирани цифрови релейни защиты. На входове 6kV има въведено едно ниво на защита $I_{E>} = 12A$ с времезакъснение $t = 1,5s$. В момента степенуването по време е добро, но имайки в предвид физическото остаряване на релетата за време е възможно неселективно изключване на входове 6kV при земно съединение в извод „Рудник 2“.

При прекъсване на една от фазите и земно съединение от страната на двигател, поради създаденото противоелектродвижещо напрежение в повредената фаза е възможно неселективно изключване на входове 6kV [8], тъй като защитата ще реагира на сумата от капацитивните токове в другите две фази на всички изводи. Ако големината на тока с нулева последователност надвиши настройката след зададеното времезакъснение ще последва изключване на вход 6 kV. Това може да бъде решено ако монтираните защиты имаха и посочно действие. За конкретния разглеждан случай решение на проблема с неселективното изключване е въвеждане на защитната функция от несиметричен товар на релето Siemens 7SJ602. В момента тази защита не е въведена, вероятно поради липса на измервателен токов трансформатор в средната фаза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Токът на земно съединение на въздушните електропроводи 6kV в РК „Елаците“ има стойност 14A. Защитите от земно съединение на изводите са правилни и не се налага тяхното пренастройване.

Целесъобразно е монтиране на цифрови релейни защиты на Входове 6kV и на извод „Рудник 2“ с две нива на защита от земни съединения:

$$I_{E>>} = 12A, t = 0,5s$$

$$I_{E>} = 5A, t = 3,5s$$

При наличие на измервателен токов трансформатор в КРУ на изводите за рудника е препоръчително въвеждане на защита от несиметричен товар със следните настройки:

$$\text{ниско ниво } I_{2>} = 10\%, t = 5s$$

$$\text{високо ниво } I_{2>} = 50\%, t = 1s$$

REFERENCE

- [1] Varbev T., Tokove na ednofazno zemno saedinenie v elektrosnabditeelnite sistemi na

- podvizhnite podstantsii v „MINI MARITSA-IZTOK”, Annual of the University of mining and geology "St. Ivan Rilski" – Sofia, 2016, ISSN 1312-1820, vol. 59, part. 3, pp.74-76.
- [2] Varbev T., Sistemi za elektrosnabdyavane i tokove na zemni sŭedineniya v otkritite rudnitsi na Republika Bulgaria, Sofiya: IK Sv. Ivan Rilski, 2015, 88 str. ISBN 978-954-353-291—
- [3] Varbev T., Safety analysis of the power supply systems in open-air mines of Bulgaria, Annual of the University of mining and geology "St. Ivan Rilski" – Sofia, 2003, ISSN 1312-1820, vol. 46, part. 3, pp.129-132.
- [4] Kartselin E., D. Gospodinov, R. Istalianov, I. Mladenova, N Lakov, Principles for protection of electrical motors and technical methods for their realization,
- [5] Dzhustrov K., Tsvetkov T, Stoilov I, Optimal settings for digital protective relays of powerful electrical motors, Energien forum, 2017, pp 164-172
- [6] Dzhustrov K., Experimental Determination of a Current of Ground Connection in the Middle Voltage Network in an Opencast Mine, JOURNAL OF MINING AND GEOLOGICAL SCIENCES, Vol. 61, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2018, pp 34-37
- [7] Vichev S., D. Bogdanov. Registration of events by digital protection devices means and aspects of the collected data usage. Second international school on “Optimization of energy production and control”, Proceedings. May 2001, Bulgaria, UNESCO Centre for Advance Training
- [8] Vichev S. Control and protection of electric power stations and substations by means of digital devices. First international school on “Optimization of energy production and control”, Proceedings. May 25-23, 1996, Bulgaria, UNESCO Center for Advance Training, p. 137-173
- [9] Davies M., R. Weller, P. Jones, S. Tucker, H. Guo, Measurement of Earth Fault Current and Earth Potential Rise on Live HV Systems, CIRED 2019 Conference, Madrid, Spain
- [10] Rachev S., G. Ivanova, D. Koeva. Vector Control of Pump Unit Electric Drive with Medium Voltage Induction Motor, XIIth SCIENTIFIC CONFERENCE BULEF 2020, 9-12 September 2020, Varna, Bulgaria, IEEE Xplore#61650;