

ЕФЕКТИВНОСТ НА ЗАЩИТИТЕ ОТ УТЕЧКА ПО ТОКА С НУЛЕВА ПОСЛЕДОВАТЕЛНОСТ В СИСТЕМИТЕ С ИЗОЛИРАНА НЕУТРАЛА

Стефан Чобанов

СМС-С ЕООД, 2070 Пирдон

РЕЗЮМЕ. Анализира се чувствителността на защитите от утечка по тока с нулева последователност в IT системите с изолиран звезден център на трансформатора. Доказва се възможността за приложението им като селективни защиты за крайните консуматори при петпроводните (3P+N+PE) системи.

EFFECTIVENESS OF PROTECTIONS AGAINST LEAKAGE ON CURRENT WITH ZERO SEQUENCE IN SYSTEMS HAVING INSULATED NEUTRAL

Stefan Chobanov

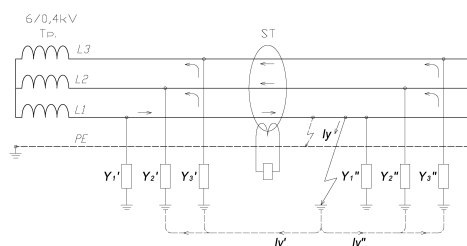
СМС-С Electrical engineering

ABSTRACT. There is analyzed the sensitiveness of the protections against leakage of current with zero sequence in IT systems, having insulated star center of the transformer. The possibility for their implementation as selective protections for the final consumers in five-conducting (3P+N+PE) systems has been proved.

Защитата от утечки, чувствителна към токове с нулева последователност, наричана често Дефектно – токова защита (ДТЗ) е съществен елемент в защитното изключване, предпазващо от директен и индиректен допир в системите за ниско напрежение (НН) със заземена неутрала (TN-S). Подходящо подобрени по чувствителност и бързодействие те позволяват да се изгради ефективна и селективна защита, гарантираща висока степен на безопасност и надеждност.

Защитите, реагиращи на тока с нулева последователност, генериран при утечки, се считат за неприложими или не подходящи в системите с изолирана неутрала (IT) [1,2,6,7]. Това становище изградено за трифазните 3P+PE системи и основанието за това са следните:

1. Чувствителността на защитата зависи от нейното пространствено разположение спрямо източника (фиг.1).



Фиг.1

Токът на утечка I_y в една от фазите затваря през изолационните проводимости на другите две фази спрямо земя: една част от него Y_1' се затваря през проводимостите Y_2', Y_3' преди чувствителния елемент - сумиращия трансформатор ST, а другата част I_y'' се затваря през проводимостите Y_2'', Y_3'' след ST.

Токът I_y'' предизвиква дебаланс в ST, защото през ST не протичат неговите съставки в L_2 и L_3 , а само в L_1 . Токът I_y'' , който преминава през L_1 не предизвиква дебаланс, защото неговите съставки през L_2 и L_3 , се сумират с него в ST и $\sum I_{yi}'' = 0$.

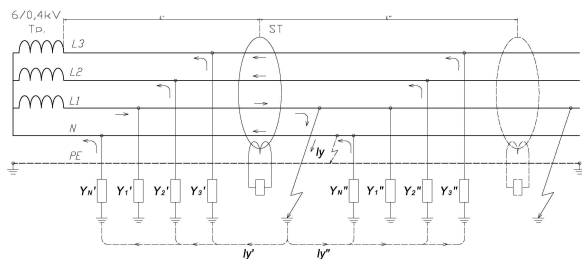
Така ако защитата (ST) е разположена непосредствено до захранващия трансформатор T_p , тя ще има нулева чувствителност. С отдалечаване от T_p , с нарастване на проводимостта на изолацията преди ST, чувствителността ще нараства.

2. Защитата е чувствителна и към токове с нулева последователност, които може да се генерират при асиметрия в захранващото напрежение в натоварването на отделните фази и при висши хармоници в тока. Този проблем не трябва да се пренебрегва, особено при използване на чувствителни защиты от допир с $\Delta I_N = 25mA$. В този случай не са изключени и лъжливи изключения.

3. Като съществен недостатък на защитата от утечки, чувствителна към токове с нулева последователност се посочва обстоятелството, че не реагира на симетрично нарастване на изолационната проводимост. На практика едновременно и симетрично намаляване на изолацията на трите фази едва ли е възможно. Впрочем този проблем се отнася и за TN-S системата, но при анализите не се третира.

Точността изисква да се подчертае, че защитите от утечки за IT системи, които използват оперативното напрежение, реагират и на симетрично изменение на изолационната проводимост (съпротивление).

Интересът към защитите от токови утечки, идентифицирани чрез токове с нулева последователност и тяхната преоценка за IT системите са провокирани от идеята за приложение в рудниците на петпроводните мрежи (3P+N+PE) с изолирана неутрала [1]. В тази система може да се елиминира чувствителността на защитите със ST, спрямо токовете с нулева последователност генерирани от асиметрията във фазните токове или от висши хармоници (т.2). Достатъчно условие за това е и N проводникът да се обхване от сумирация трансформатор ST (фиг.2).



Фиг.2

При това

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 + \dot{I}_N = 0 \quad (1)$$

като през N проводника ще протича ток

$$\dot{I}_N = -(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3) = \Delta \dot{I} \quad (2)$$

компенсиращ асиметрията в трите тока $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$

Така се отстраняват лъжливи изключения и в най-чувствителните защити, които в селективно изградените системи се прилагат като периферни т.е. за отдалечените консуматори. А в тези зони, посоченият недостатък в т.1 е пренебрежим, особено ако може количествено това да бъде оценено.

Проводимостта на изолацията Y и нейните съставки – активна g и капацитивна ϵ_c в анализите се възприемат като съсредоточена, в същност са разпределени по дължината на мрежата .

$$Y = g + \epsilon_c = y_o L = (g_o + j\omega C_o) L$$

където:

g_o и C_o са съответно активна проводимост и капацитетът за 1 дължина (напр. km), спрямо земя,

L - дължината на кабела, за който се оценява проводимостта спрямо земя, km

Капацитетът C_o зависи от типа и сечението на кабела и е симетричен спрямо земя. Това е достатъчно основание да се пренебрегне при анализа на защитата от токови утечки със сумиращ трансформатор ST, тъй като сумата от токовете от капацитивната съставка на проводимостта е нула, а токът от капацитетът на N проводника е пренебрежимо малък по две причини – напрежението е малко, а сечението му е поне с една степен по-малко спрямо сечението на фазните проводници.

Така с достатъчна точност може да приемем за конкретния анализ, че:

$$Y_i \approx g_i = g_o L_i \quad (3)$$

Означавайки дължините на мрежата: от сумирация трансформатор ST до силовия трансформатор T_p с L' , а от ST до последния (краен) консуматор с L'' , проводимостите ще бъдат съответно

$$\begin{aligned} Y' &= g_o L' \\ Y'' &= g_o L'' \end{aligned} \quad (4)$$

При утечка в една от фазите (фиг.2), в спрямо случая от L_1 , токът на утечка I_y ще има две съставки: Едната I_y' , която се затваря през проводимостите Y' и втората I_y'' - през проводимостта Y''

$$\dot{I}_y = \dot{I}_y' + \dot{I}_y''$$

Трансформаторът ST ще сумира I_y и I_y'' , т.е. магнитния поток в тороида ще се формира от

$$\dot{I}_y - \dot{I}_y'' = \dot{I}_y - (\dot{I}_{yL_2} + \dot{I}_{yL_3} + \dot{I}_{yN}) \neq 0 \quad (5)$$

Съставната I_y' ще се затвори през изолациите на мрежата в зоната L' , без да премине през ST.

Следователно, от съотношението $\frac{|\dot{I}_y'|}{|\dot{I}_y''|}$ ще зависи големината на сумарния ток в ST, т.е. тока I_p в изключвателния елементи ИЕ. Ако $I' = 0$, то и $I_p = f\left(\frac{I'}{I''}\right) = 0$,

следователно защитата няма реагира на възникнала утечка.

$$\begin{aligned} \text{Отчитайки, че } I_y &\equiv g_y; I'_y \equiv Y' \equiv g_o L'; \\ I''_y &\equiv Y'' \equiv g_o L'' \text{ при } Y' \neq Y'' \end{aligned}$$

Токът през релето може да се запише с формулата:

$$I_p = \frac{I_y}{1 + \frac{L''}{L'}} = K_e I_y \quad (6)$$

където K_e ще назовем коефициент на ефективност ако, ST, т.е. релето от утечка се намира в средата на мрежата, при което $L' = L''$:

$$I_p = \frac{I_y}{2}$$

това е така, защото $I'_y = I''_y$, а през ST некомпенсиран ще остане само съставната $I'_y = 0,5I_y$, а I''_y ще се компенсира изцяло.

Коефициентът на ефективност в (6) представлява

$$K_e = \frac{1}{1 + \frac{L''}{L'}} \quad (7)$$

и характеризира каква част от тока на утечка предизвиква реакция в ST.

Ако е приета (или избрана) защита с настройка $\Delta I_N = 30mA$. В TN-S мрежа, при ток на утечка $I_y = 30mA$, защитата ще се задейства, защото I_y се затваря в контура $T_p-S_t-Y_{yL1}-PE-земля-N-T_p$.

Но IT (3P+N+PE) системата, през ST част от тока на утечка, I''_y се компенсира от "влизачите" съставки на този ток

$$I''_{yL2} + I''_{yL3} + I''_{yN} = -\Delta I''_y; \sum I''_{yi} = 0$$

контурът за I''_y е:

$$T_p - S_t - Y_{yL1} - Y'_2, Y'_3, Y'_N - ST - T_p$$

контурът за I'_y е:

$$T_p - S_t - Y_{yL1} - Y'_2, Y'_3, Y'_N - T_p$$

т.е. през ST преминава само I'_y , а $I'_{yL1}, I'_{yL2}, I'_{yL3}, I'_{yN}$ не преминава през ST.

Защитата в общия случай ще реагира $I_{зад} \geq I_y \geq 30mA$. Тя би реагирала на този ток само $L'_1 \rightarrow 0$, т.е. ако тя се намира в края на мрежата, тогава $I''_y \equiv g_o L'' = 0$, а през ST ще премине еднопосочно само I'_y , който в случая е $I'_y = I_y$.

Количествена оценка за влиянието на пространственото разположение на защитата, и по точно на нейния чувствителен елемент, сумиращия трансформатор може да се получи от изследване коефициента на ефективност $K_e = f(L'', L')$.

Стойностите на K_e по (7) при независима променлива L' , при константна стойност $L'' \in (5 - 1000m)$ в диапазона на числените стойности на $L' \in (5 - 1000m)$ за изобразените графично с кривите на фиг.3.

От получените криви за всеки конкретен случай на разположение на разклонение на защитата с определена с определена чувствителност на защита ΔI_N , оцени тока който има активиращо действие ($\Delta I_{зад}$):

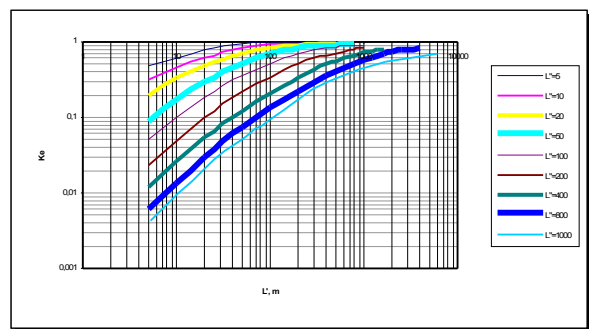
$$\Delta I_{зад} = \frac{\Delta I_N}{K_e} \quad (8)$$

Практически може да се реши и обратната задача. При необходима чувствителност $\Delta I_{зад}$, да се избере чувствителността на апарата ΔI_N , в зависимост от конфигурацията на мрежата, т.е. в зависимост от L' и L'' . Определя се K_e , и се избира апарат с настройка

$$\Delta I_N = \Delta I_p \cdot K_e \quad (9)$$

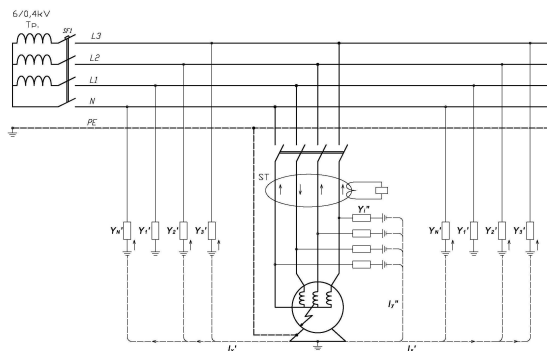
при което естествено е $\Delta I_N = \Delta I_{зад}$

От анализа на коефициента на ефективност на фона на графичните зависимости на фиг.3 се стига до интересни изводи с теоретично и практическо значение.



Фиг.3

1. Независимо от елиминирането на влиянието на асиметрията, ДТЗ защита от утечки и с нулева последователност в петпроводните IT системи с чувствителност $\Delta I \leq 30mA$, гарантиращи безопасност при директен допир, е практически невъзможна, а ако защитата е в близост до трансформатора. При отстояние, например на 10-20м., трябва да се избере с 20 пъти по-голяма чувствителност ($K_e = 0.05$), т.е. $\Delta I = 1.5mA$, а ако дължината на кабелната мрежа е 1000м. – с 50 пъти по-малък ток ($K_e = 0.02$), т.е. $\Delta I = 0,6mA$. Защити с такава чувствителност не се произвеждат.
2. Използването на защити от утечки с тока на нулева последователност с $\Delta I_N = 50mA$ обаче е възможно при защита на крайни потребители. Това се илюстрира с фиг. 4. Към зона L' спадат всички кабели и ако общата им дължина е $L' = (800 - 1000)m$, чувствителността на защитата намалява с по-малко от 5%, което практически е пренебрежимо малко и е в границите на точността.
3. Обоснована се оказва практическата възможност за изграждане на селективна хибридна защита: контрол на изолацията и защитно изключване на цялата мрежа с конвенционална технически средства (релета от утечка), базирани на оперативно напрежение за контрол в комбинация с релета от утечки с тока с нулева последователност за всеки потребител които защитното изключване се осъществява с по-голямо (2 до 5 пъти) бързодействие на крайните консуматори (ел.двигатели), и които ще заменят използваните апарати за предварителен контрол на изолацията (блокираща релета от утечки).



Фиг.4

Както е известно с блокиращи релета от утечки (БРУ) се изгражда така наречената "псевдоселективна" защита от утечки, която масово се използва в рудниците. При утечка, независимо къде е възникнала се изключва цялата мрежа. Откриването на зоната с утечка се идентифицира от БРУ, които блокират (не допускат) включването на зоната (потребителя) с утечка, след възстановяване на напрежението.

В заключение трябва да се подчертае, че изградената по този начин селективна хибридна защита от утечки, не противоречи на изискванията на нормативните документи за безопасна експлоатация на електрическите уредби в мините [3,4,5], а с въвеждането и ще се намалят престойте от неселективните изключения, като се улесни откриването на зоната с дефектиралата изолация. Това е съществено допълнително предимство в полза на предлаганата система 3P+N+PE за мините.

Литература

- Чобанов Ст, М.Ментешев. Петпроводна (3P+N+PE) система с изолирана неутрала (IT) в мините. Годишник на МГУ "Св. Иван Рилски", том 51, св.III, С.2008
- Данков Е. Електроснабдяване на минните предприятия. с.Техника, 1991.
- Правилник по безопасност на труда при разработване на въглищни находища по подземен начин, Техника, С., 1971
- Правилник по безопасност на труда при разработване на полезни изкопаеми по открит начин. Техника, С., 1982
- Правилник по безопасност на труда при разработване на рудни и нерудни находища по подземен начин. Техника, С., 1996
- Наредба №3 за устройство на електрическите уредби и електропроводните линии, МЕ,С., 2004
- Hofheinz W.Protective Measures with Insulation Monitoring. VDE Verlag. Berlin, Offenbach, 2000

