

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ

УДК 621.311.1

И.А. Костарев, М.Л. Сапунков, С.Ю. Зубарев*

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия
*ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», Россия

О СОСТОЯНИИ ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6–10 КВ НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Исследовано состояние защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) на ряде объектов ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». Как пример показан расчет эффективности действия токовой защиты применительно к распределительной сети подстанции «Ножовка» с учетом всех возможных значений коэффициента отстройки защиты. На основании анализа результатов расчета установлено, что токовая защита будет неработоспособной на некоторых линиях подстанций. В заключение для решения данной проблемы авторами предлагается применение новой защиты от ОЗЗ, основанной на контроле пульсирующей мощности.

Ключевые слова: сети среднего напряжения, однофазное замыкание на землю, нефтегазовые предприятия, коэффициент чувствительности.

I.A. Kostarev, M.L. Sapunkov, S.Y. Zubarev*

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia
*LLC «LUKOIL-PERM», Russia

STATE OF PROTECTION SINGLE PHASE DISTRIBUTION NETWORKS 6–10 KV OIL AND GAS COMPANIES

Protection system from single-phase earth fault (PTG) in the number of LLC «LUKOIL-PERM» objects is investigated. As an example, the effectiveness of current protection in relation to the distribution network substation "Nozhovka" taking into account possible values of the detuning factor protection is calculated. On the base of analysis results of the calculation it is established that overcurrent protection is unworkable in some lines of substations. In Conclusion, the authors proposed the use of new security from PTG, based on pulsed power control in order to solve this problem.

Keywords: networks of medium voltage, single-phase earth fault, oil gas companies, the coefficient of sensitivity.

Системы электроснабжения нефтегазовых предприятий должны обеспечивать высокую надежность и бесперебойность работы добычного и другого технологического оборудования. Для этого необходимо, в частности, принимать во внимание значимость однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) как самого распространенного вида повреждения в электрических сетях. Доля ОЗЗ обычно составляет 70–80 % от общего числа аварийных повреждений и в 60–80 % случаев может переходить в двухместное, двойное замыкание на землю, а иногда и в многофазное короткое замыкание. Одним из условий повышения надежности систем электроснабжения нефтегазовых предприятий является своевременное обнаружение и устранение данного вида повреждений, то есть применение эффективной защиты от ОЗЗ.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что на ряде объектов ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» состояние защиты от ОЗЗ неудовлетворительное. Многие подстанции 6–10 кВ имеют лишь общеподстанционную неселективную защиту, срабатывающую на сигнал при появлении «земли». В этом случае для определения поврежденной линии оперативный персонал производит поочередное отключение отходящих линий, что приводит к простоям оборудования, к недобору добычи нефтепродукта и другим отрицательным последствиям. Некоторые подстанции оснащены современной микропроцессорной токовой защитой нулевой последовательности. Однако, как показало исследование, такая защита во многих случаях будет работать неселективно и неэффективно. Связано это с тем фактом, что токовая защита не может работать селективно в сетях, где собственные токи нулевой последовательности неповрежденных линий соизмеримы с контролируемой величиной тока нулевой последовательности поврежденной линии. Для нормальной работы необходимо, чтобы ток на поврежденной линии превышал токи неповрежденных линий в 3–5 раз и более.

Критерием оценки работоспособности токовой защиты от ОЗЗ является проверка по коэффициенту чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1 - m}{m \cdot K_{\text{отс}}} \geq 1,5, \quad (1)$$

где m – показатель доли собственного тока линии в общем для данной сети токе ОЗЗ, $m = \frac{I_{\text{лс}}}{I_{\text{с}\Sigma}}$; $K_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки защиты, $K_{\text{отс}} = K_{\text{н}} \cdot K_{\text{бр}}$;

K_n – коэффициент надежности, равный 1,2...1,5 [1]; $K_{бр}$ – коэффициент броска емкостного тока, равный 2,5...4 [1]; $I_{лс}$ – собственный емкостной ток линии; $I_{с\Sigma}$ – общий (полный) емкостной ток однофазного замыкания на землю в данной электрически связанной сети,

$$I_{лс.i} = 3U_{\phi} \cdot \omega \cdot C_i \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

$$I_{с\Sigma} = 3U_{\phi} \cdot \omega \cdot \sum_{i=1}^k C_i \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где C_i – общие емкости относительно земли фазы каждой линии, включая емкости подключенных к линии трансформаторов и двигателей,

$$C_i = C_0 \cdot L_i + \sum_{j=1}^n C_{тр.j} + \sum_{k=1}^f C_{дв.k}, \quad (4)$$

C_0 – удельная емкость фазы i -й линии относительно земли, мкФ/км; L_i – общая длина i -й линии, км; $C_{тр.j}$ – емкость относительно земли фазы первичной обмотки трансформатора, подключенного к i -й линии; $C_{дв.k}$ – емкость относительно земли обмотки высоковольтного двигателя, подключенного к i -й линии; n – общее количество трансформаторов, подключенных к i -й линии; f – общее количество двигателей переменного тока, подключенных к i -й линии.

В таблице приведены результаты расчетов по выражениям (1)...(4), выполненные применительно к распределительной сети 6 кВ подстанции «Ножовка».

На основании анализа данных таблицы можно сделать вывод, что защита от ОЗЗ, основанная на контроле действующего значения тока нулевой последовательности, даже при минимальном значении $K_{отс} = 3$, не может успешно функционировать на линиях 7, 9, 23, что составляет 23,1 % от общего числа линий.

При максимальном значении $K_{отс} = 6$ эта защита окажется нероботоспособной на линиях 7, 9, 10, 15, 17, 21, 22, 23, что составляет 61,5 % от общего числа линий данной распределительной сети. Это обстоятельство приведет к тому, что при возникновении ОЗЗ в сети для отыскания поврежденной линии надо будет по очереди произво-

дить отключение отходящих фидеров, а это может приводить к неоправданному простоем оборудования и, как следствие, к значительному экономическому ущербу.

Результаты расчетов по (1)...(4)
для распределительной сети 6 кВ

№ фидера	Секция шин	I_{Σ} , А	$I_{л.и.}$, А	m	$K_{\text{ч}}$ (при $K_{\text{отс}} = 3$)	$K_{\text{ч}}$ (при $K_{\text{отс}} = 6$)
1	I	2,32755	0,084323	0,036228	8,87	4,43
6			0,092726	0,039838	8,03	4,02
7			0,652842	0,280485	0,86	0,43
9			1,096245	0,470986	0,37	0,19
10			0,401416	0,172463	1,60	0,80
15	II	4,61591	0,789923	0,171131	1,61	0,81
16			0,091125	0,019741	16,55	8,28
17			0,83348	0,180567	1,51	0,76
20			0,153666	0,033291	9,68	4,84
21			0,719593	0,155894	1,80	0,90
22			0,667935	0,144703	1,97	0,99
23			1,233674	0,267266	0,91	0,46
24			0,126509	0,027407	11,83	5,91

Для быстрого обнаружения возникновения ОЗЗ необходимо применение современной быстродействующей селективной защиты, которая должна работать либо на сигнализацию, либо на отключение поврежденной линии.

Одним из возможных решений может быть применение новой защиты от ОЗЗ, основанной на контроле пульсирующей мощности и разрабатываемой на кафедре ЭАГП ПНИПУ [3,4].

Для исследования характеристик защиты, основанной на новом принципе контроля ОЗЗ, разработана модель защиты, полученная на основе компьютерного программного обеспечения в пакете универсальных интегрированных программ MatLab. Полученные на модели результаты подтверждают результаты физического моделирования [5], поэтому модель защиты может быть применена для всестороннего исследования возможности применения новой защиты в сетях нефтегазовых предприятий.

Библиографический список

1. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ / НТФ «Энергопрогресс». – М., 2001. – 104 с.
2. Шалин А.И. Релейная защита от замыканий на землю в сетях с резистивным заземлением нейтрали // Ограничение перенапряжений: материалы 4-й Всерос. науч.-техн. конф. – Новосибирск, 2004.
3. Способ защиты трехфазной сети от однофазных замыканий на землю: пат. № 2352044 Рос. Федерация / М.Л. Сапунков. Заявл. 6.04.2006.
4. Сапунков М.Л., Худяков А.А. Разработка селективной защиты от однофазных замыканий на землю для распределительных сетей 6–10 кВ. // Энергетика. Инновационные направления в энергетике: матер. 3-й Всерос. науч.-техн. конф. – Пермь, 2010.
5. Сапунков М.Л., Худяков А.А. Исследование на физической модели распределительной сети характеристик защиты от однофазных замыканий на землю, основанной на контроле пульсирующей мощности // XVI Бенардосовские чтения: матер. междунар. науч.-техн. конф., Иваново, 1–3 июня 2011 г. – Иваново, 2011.

References

1. Shuin V.A., Gusenkov A.V. Protection against ground faults in networks 6-10 kV / NTF «Energoprogress». – M., 2001. – 104 p.
2. Shalin A.I. Relay protection against ground faults in networks with resistor earthed neutral // Overvoltage limitation: Proceedings of the 4th All-Russia. scientific and engineering. conference. – Novosibirsk, 2004.
3. Method of protecting a three-phase network of single-phase earth fault: Patent. № 2352044 RF / M.L. Sapunkov.
4. Sapunkov M.L., Khudyakov A.A. The development of selective anti-phase to ground fault distribution networks 6-10 kV // Energy. Innovative directions in the energy sector: Mater. 3rd All-Russia. scientific and engineering. Conf. – Perm, 2010.
5. Sapunkov M.L., Khudyakov A.A. Investigation of the physical model of the distribution network security features of the single-phase earth fault, based on the control of pulsatile cardinality of // XVI Benardosovskie read: Mater. Internat. scientific and engineering. Conf., Ivanovo, 1–3 June 2011 – Ivanovo, 2011.

Об авторе

Костарев Илья Андреевич (Пермь, Россия) – аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский просп., 29).

Сапунков М.Л. (Пермь, Россия) – профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский просп., 29).

Зубарев С.Ю. (Пермь, Россия) – главный энергетик ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», г. Пермь (614990, г. Пермь, ул. Ленина, 62).

About the authors

Kostarev Ilya Andreevitch (Perm, Russia) – PhD student of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky avenue, 29).

Sapunkov M.L. (Perm, Russia) – professor of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky avenue, 29).

Zubarev S.Y. (Perm, Russia) – chief power engineer, LLC «LUKOIL-PERM», Perm.

Получено 14.03.2012