



УДК.: 001.891: 620.1.05202: 621.3011.2

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНО-ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В НЕЙТРАЛИ

ЖАНҚУАНЫШЕВ М. Қ.

Павлодарский государственный университет,

Казахстан

izvestiya@ktu.aknet.kg

*В статье представлено техническое сравнение двух вариантов схемных решений, позволяющих обеспечить надежную и селективную работу защит от однофазного замыкания на землю, минимальный уровень перенапряжения при дуговых замыканиях и электробезопасность при касании заземленного оборудования.*

*This article presents technical comparison of two variants of the circuit decisions, allowing to provide reliable and selective work of protection from of single-phase ground fault, a minimum level an overstrain at arc short circuits and an electrosecurity at a contract of the earthed equipment.*

В качестве вариантов схемных решений, позволяющих обеспечить надежную и селективную работу защит от ОЗЗ, минимальный уровень перенапряжения при дуговых замыканиях и электробезопасность при касании заземленного оборудования, могут быть предложены:

- 1) параллельное соединение резистора нейтрали и ДГР;
- 2) последовательное включение резисторных модулей и ДГР.

Параллельное соединение может быть более предпочтительно, если конструкция ДГР позволяет изменять его индуктивный ток настройки (например, так называемые реакторы плунжерного типа). При этом активная и индуктивная составляющие тока замыкания на землю не зависят друг от друга и определяются подбором параметров  $R_N$  и  $X_L$ .

Однако этот вариант активно-индуктивного заземления нейтрали требует одновременного регулирования номиналов резисторов и индуктивности ДГР, что технически невозможно из-за ограниченного быстродействия автоматических систем подстройки индуктивности реактора. Последнее обстоятельство может привести к потере работоспособности защит от ОЗЗ направленного принципа действия при скачкообразном изменении емкости сети, вызванном коммутациями отходящих линий.

Действительно, если вектор ТНП поврежденного присоединения оказывается в первом квадранте комплексной плоскости (рис.1), т.е. совпадает по направлению с векторами

собственных емкостных токов неповрежденных присоединений, то работа защит от ОЗЗ направленного принципа действия, становится принципиально невозможна.

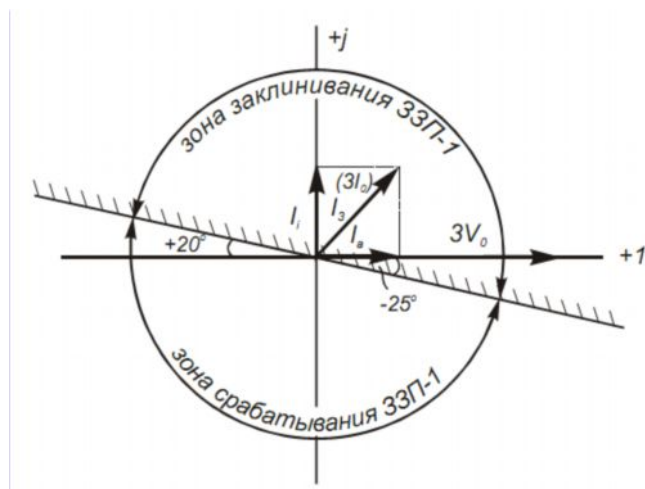


Рис. 1 Угловая характеристика защиты типа ЗЗП-1 и направление тока замыкания на землю  $I_3$  в режиме перекомпенсации.

Кроме того, у защиты типа ЗЗП-1 есть угловая зона ( $\varphi \leq 25$ ), показанная на рис.1, при попадании, в которую вектора  $3I_0$  возможны отказы в ее работе.

Анализ и расчеты показывают, что при последовательном подключении резистора и нерегулируемого реактора рассмотренные выше недостатки способа полностью устраняются.

Так, в устройстве, последовательно с нерегулируемым реактором (например, типа ЗРОМ) подключается набор последовательно соединенных резисторных модулей с узлом коммутации ступеней. При изменении емкости сети относительно земли вследствие включения или отключения присоединений происходит автоматическая коммутация необходимых ступеней, обеспечивающая оптимальное (или близкое к нему) соотношение активной и ёмкостной составляющих тока замыкания на землю.

Для последовательного соединения ДГР и резистора сопротивлением  $R_n$  в нейтрали сети при однофазном замыкании на землю справедливы следующие соотношения:

$$I_{кат} = \frac{U_\phi}{Z_{кат}} = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_n^2 + \omega^2 L_k^2}}; \quad (1)$$

$$I_L = I_{кат} \sin \varphi = U_\phi \frac{\omega L_k}{R_n^2 + \omega^2 L_k^2}; \quad (2)$$

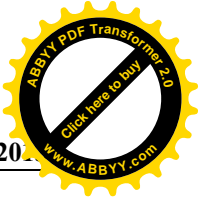
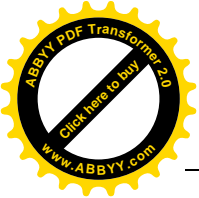
$$I_\alpha = I_{кат} \cos \varphi = U_\phi \frac{R_n}{R_n^2 + \omega^2 L_k^2}; \quad (3)$$

где  $I_{кат}$  – ток через ДРГ, А;

$U_\phi$  – фазное напряжение сети, В;

$\omega L_k$  – индуктивное сопротивление ДГР, Ом.;

$I_\alpha$  – активная составляющая тока через реактор, А;



$I_L$  – индуктивная составляющая тока через реактор, А;

$\varphi$  – угол между векторами  $I_{кат}$  и  $3U_0$ , эл.град.

Полный ток замыкания на землю определяется из соотношения

$$I_3 = \sqrt{(I_C - I_L)^2 + I_a^2} . \tag{4}$$

Из выражения (3) можно получить формулу для вычисления величины резистора  $R_n$ :

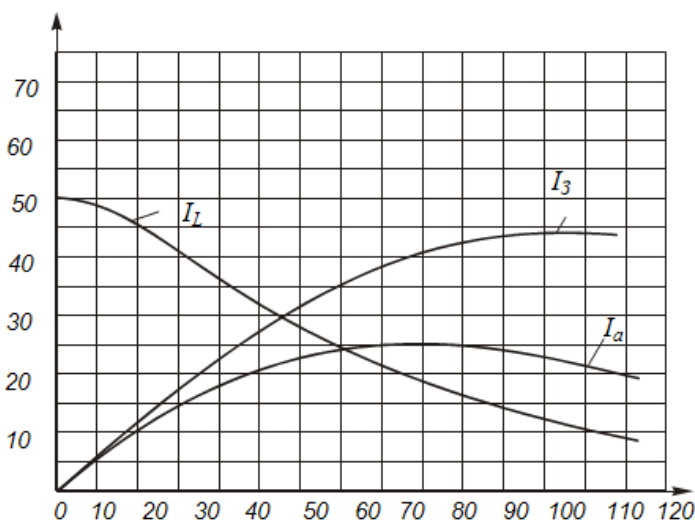
$$R_n = \frac{U_{\phi}}{2I_a} \pm \sqrt{\left(\frac{U_{\phi}}{2I_a}\right)^2 - \left(\frac{U_{\phi}}{I_L}\right)^2} . \tag{5}$$

В соответствии с выражениями (3) и (5) на рисунке 2 приведены зависимости индуктивного  $I_L$ , активного  $I_a$  и полного  $I_3$  тока замыкания на землю от сопротивления резистора в нейтрали при фиксированных параметрах  $I_{сз} = 50$  А ( $I_{сз}$  – суммарный емкостный ток ОЗЗ) и  $I_L = 50$  А (индуктивный ток настройки ДГР, соответствующий первой отпайке реактора ЗРОМ 350/6 с индуктивным сопротивлением 72 Ом).

Как видно из рисунка 2 с ростом сопротивления  $R_n$  (в диапазоне  $0 \leq R_n \leq 140$  Ом) в то время как ток  $I_L$  уменьшается, полный ток замыкания на землю  $I_3$  возрастает. При этом  $I_a$  сначала резко возрастает, достигая своего максимума на уровне сопротивления 65 Ом, а затем плавно убывает. Это указывает на то, что путём изменения сопротивления  $R_n$  можно регулировать параметры контура нулевой последовательности сети при ОЗЗ.

При скачкообразном изменении ёмкости сети из-за включения или отключения отходящих линий происходит автоматический ввод соответствующей расчетной резисторной ступени. Сопротивление резистора  $R_n$  при этом определяется, исходя из основных критериев, положенных в основу выбора режима нейтрали.

Главным критерием при выборе номиналов резисторов ступеней является требование обеспечения надёжной и селективной работы защит от замыканий на землю. В качестве дополнительного критерия принято требование минимизации полного тока в месте замыкания на землю.



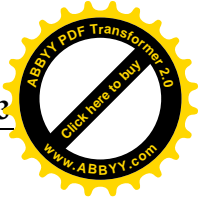
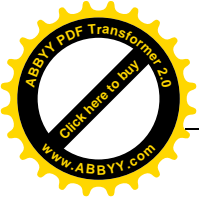


Рис. 2. Зависимости индуктивного  $I_L$ , активного  $I_a$  и полного  $I_3$  токов ОЗЗ от сопротивления резисторов в нейтрали при фиксированных параметрах компенсированной сети

При использовании направленных защит (например, типа ЗЗП-1, РЗН-3 и др.) выбор  $R_n$  осуществляется следующим образом. Для того, чтобы вектор ТНП поврежденного присоединения не совпадал по направлению с векторами собственных емкостных токов неповрежденных присоединений (у защиты ЗЗП-1, кроме того, не попал бы в зону, охватываемую углом  $25^\circ$ ) необходимо выполнить следующее условие:

$$\frac{I_{C\Sigma} - I_{Ci\max} - I_L}{I_a} \geq \operatorname{tg}25, \quad (6)$$

где  $I_{Ci\max}$  – наибольший для всех присоединений ёмкостный ток замыкания, А.

При использовании централизованных токовых защит к параметрам активно-индуктивного заземления нейтрали предъявляются значительно более мягкие требования. Ток в поврежденном присоединении ( $I_{повр}$ ), как известно, всегда больше, чем в неповрежденных за счет наложения активной составляющей, которая составляет обычно (0,5-0,6)  $I_{C\Sigma}$ . Ток  $I_{повр}$  определяется по формуле

$$I_{повр} = \sqrt{(I_{C\Sigma} - I_{Ci\max} - I_L)^2 + I_a^2} \geq 1,3 I_{Ci\max} \quad (7)$$

где  $I_{Ci\max}$  – наибольший емкостный ток неповрежденных присоединений.

Это дает гарантию того, что поврежденное присоединение будет отключено первым.

Таким образом, пользуясь соотношениями (1) и (4) и учитывая критерий (5), в зависимости от типа направленной защиты от замыканий на землю, можно определить оптимальные сопротивления резисторных ступеней в нейтрали. При использовании централизованных токовых защит достаточно использовать в качестве критерия выражение (7).

### Литература

1. Серов В. И., Щуцкий В. И., Ягудаев Б. М. Методы и средства борьбы с замыканиями на землю в высоковольтных системах горных предприятием. – М.: Наука, 1985.
2. Руководство по безопасной эксплуатации электрооборудования и электрических сетей угольных разрезов. – М. 1985.
3. Руководящие технические материалы. Методические указания по устройству и эксплуатации защиты от замыканий на землю в сетях 6–35 кВ на открытых горных работах. Министерство черной металлургии СССР. –М.: 1986