

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ЗАЩИТЫ С ОБРАТНОЗАВИСИМОЙ ВРЕМЯТОКОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ВИДА RXIDG ДЛЯ СЕТЕЙ С РЕЗИСТИВНЫМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ

В связи с требованиями ограничения перенапряжений в сетях напряжением 6-35 кВ с резистивным заземлением нейтрали до соответствующих значений возникает необходимость применения достаточно высокоомных резисторов, использование которых делает неэффективным применение традиционных защит от однофазных замыканий на землю, основанных на токовом принципе. Предложено использовать специальные токовые характеристики вида RXIDG, реализуемые на цифровых реле. Для защит выполнена оценка чувствительности и рассмотрены области применения обратнoзависимых характеристик в зависимости от параметров сети. Показана актуальность применения данных устройств защиты, использующих нелинейные токовые характеристики, при грамотной настройке для защиты сетей 6-35 кВ с достаточно высокоомным заземлением нейтрали от однофазных замыканий на землю.

It is necessary to use considerably highohmed resistors because of there are requirements to restrict over voltage by voltage 6-35 kilovolts with the resistive ground neutral to the same meaning in the networks. It makes usage of traditional protection from ground short circuit based on a current curve principle is inefficacious. Special characteristics of current curve the type RXIDG realized on digital relay are offered to use for these purposes. For these protections valuation of sensibility was done and the fields of using for opposite dependence characteristics in dependence on dimensions of networks was viewed. There is necessity for these devices of protections nonlinear characteristic of current curve under perfect tooling for protection of the networks 6-35 kilovolts considerably highohmed ground neutral ground short circuit in the article.

В большинстве сетей напряжением 6-35 кВ в связи с необходимостью обеспечения бесперебойного питания потребителей и отсутствием возможности быстрого перевода на резервное питание допускается длительное существование однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Работа в режиме замыкания на землю дает возможность эксплуатационному персоналу определить место повреждения и создать временную схему электроснабжения без отключения потребителей.

В данном случае при резистивном заземлении нейтрали сети величина резистора должна выбираться по условию ограничения дуговых перенапряжений до уровня, безопасного для изоляции электрооборудования сети.

Высокоомный резистор R_N в нейтрали сети, выбранный из соотношения $R_N = 1/(3\omega C)$, обеспечивает ограничение перенапряжений при дуговых замыканиях до величины $2,1-2,4U_{фм}$. Для ограничения перенапряжений до уровня $2,6U_{фм}$, соответствующего уровню испытательного напряжения для электрических машин, величина сопротивления резистора может составлять $1,5-2R_N$. Резисторы таких величин позволяют эффективно подавлять возникновение различных феррорезонансных колебаний, опасных для изоляции электрооборудования сети. Выбранные по таким условиям резисторы для заземления нейтрали являются достаточно высокоомными и не приводят к значительному увеличению токов однофазного замыкания на землю [1].

В связи с вышесказанным, выполнение селективной релейной защиты от ОЗЗ, основанной на токовом принципе, становится весьма проблематичным, так как величина тока, создаваемого резистором, является недостаточной для срабатывания защиты с достаточной чувствительностью.

Добиться достаточной чувствительности защиты от ОЗЗ в данных сетях возможно при использовании централизованной защиты с обратнoзависимой времятоковой характеристикой вида RXIDG (см. рисунок), реализуемой в микропроцессорных терминалах защиты, таких как SPAC 810 и ТЭМП 2501. Это можно обеспечить, если ток срабатывания всех защит группы линий рассчитывать не по собственному току линий, а по минимальному значению собственного емкостного тока одной из линий $I_{\text{э.н. min}}$.

При возникновении ОЗЗ в сети все защиты группы линий будут запускаться одновременно, но первой будет срабатывать защита на поврежденной линии в соответствии с выбранной характеристикой вида RXIDG. Защиты на других линиях будут автоматически отстроены по времени срабатывания. При действии защиты от ОЗЗ только на сигнал необходимо выполнять специальную коммутацию для блокировки защит неповрежденных присоединений после срабатывания защиты поврежденного присоединения.

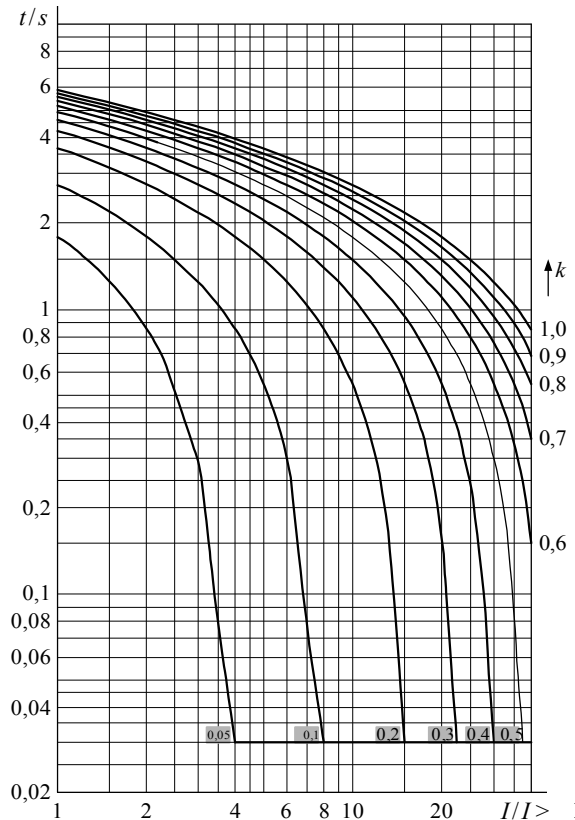
Для оценки чувствительности данной защиты найдем ток срабатывания $I_{\text{н.д.ф}}$ защиты при помощи традиционного выражения, используемого для сетей с изолированной нейтралью

$$I_{\text{н.д.ф}} \geq k_i k_{\text{ад}} I_{\text{э.н. min}}.$$

Проверим чувствительность защиты, воспользовавшись выражением

$$k_{\pm} \geq \frac{I_{\text{и.с.с.}}}{I_{\text{н.д.ф}}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{и.с.с.}}$ – ток, протекающий через защиту поврежденной линии. Данный ток в сетях с резистивным заземлением нейтрали будет иным, нежели в сетях с изолированной



Характеристики вида RXIDG

нейтралью. Его можно найти следующим образом:

$$I_{\text{и.с.с.}} = \sqrt{(I_{\text{СЭ}}^{(1)} - I_{\text{э.н}})^2 + I_R^2}, \quad (2)$$

где I_R – ток заземляющего резистора.

Тогда традиционное двойное неравенство для определения тока срабатывания защиты от ОЗЗ в сетях с резистивным заземлением нейтрали предстанет в виде:

$$\frac{\sqrt{(I_{\text{СЭ}}^{(1)} - I_{\text{э.н}})^2 + I_R^2}}{k_{\pm}} \geq I_{\text{н.д.ф}} \geq k_i k_{\text{ад}} I_{\text{э.н}}. \quad (3)$$

Рассмотрим область применения нелинейных характеристик срабатывания вида RXIDG при выборе тока срабатывания защиты для сетей с резистивным заземлением нейтрали, воспользовавшись выражением (3). В данном случае для обеспечения селективной работы централизованной защиты с достаточной чувствительностью на линии с наибольшей долей собственного емкостного тока должно выполняться условие

$$\frac{\sqrt{(I_{C\Sigma}^{(1)} - I_{\dot{e}.n.\max})^2 + I_R^2}}{k_{\pm}} \geq I_{\dot{e}.n.\min}$$

или

$$\sqrt{(I_{C\Sigma}^{(1)} - I_{\dot{e}.n.\max})^2 + I_R^2} \geq k_{\pm} k_i k_{\dot{a}\delta} I_{\dot{e}.n.\min} \quad (4)$$

Введем следующие обозначения: $n_{\min} = I_{\dot{e}.n.\min} / I_{N\Sigma}^{(1)}$ – коэффициент долевого участия линии с наименьшим собственным током в общем токе ОЗЗ; $n_{\max} = I_{\dot{e}.n.\max} / I_{N\Sigma}^{(1)}$ – коэффициент долевого участия линии с наибольшим собственным током в общем токе ОЗЗ; $n_R = I_R / I_{N\Sigma}^{(1)}$ – коэффициент долевого участия активной составляющей тока заземляющего резистора в общем токе ОЗЗ. Тогда выражение (4) можно представить в виде:

$$\sqrt{(I_{C\Sigma}^{(1)} - I_{C\Sigma}^{(1)} n_{\max})^2 + I_{C\Sigma}^{(1)2} n_R^2} \geq k_{\pm} k_i k_{\dot{a}\delta} I_{C\Sigma}^{(1)} n_{\min}$$

или

$$\sqrt{(1 - n_{\max})^2 + n_R^2} \geq k_{\pm} k_i k_{\dot{a}\delta} n_{\min}$$

Преобразовав данное выражение, получим следующие неравенство:

$$n_{\max}^2 - 2n_{\max} + n_R^2 + 1 - k_{\pm}^2 k_i^2 k_{\dot{a}\delta}^2 n_{\min}^2 \geq 0. \quad (5)$$

Решим неравенство (5) относительно коэффициента долевого участия линии с наибольшим собственным емкостным током в общем токе ОЗЗ:

$$n_{\max} = 1 \pm \sqrt{k_{\pm}^2 k_i^2 k_{\dot{a}\delta}^2 n_{\min}^2 - n_R^2}$$

Так как значение долевого участия линии с наибольшим собственным током в общем токе ОЗЗ не может быть больше 1,

т.е. больше общего тока однофазного замыкания на землю в данной сети, то окончательно получим:

$$n_{\max} = 1 - \sqrt{k_{\pm}^2 k_i^2 k_{\dot{a}\delta}^2 n_{\min}^2 - n_R^2} \quad (6)$$

По выражению (6) можно определить предельно допустимую величину кратности наибольшего собственного тока линии, при котором защита еще будет срабатывать при достаточной чувствительности в зависимости от коэффициента долевого участия активной составляющей тока заземляющего резистора в общем токе ОЗЗ. Определим при помощи выражения (6) значение коэффициента n_R^1 , при котором для данного значения коэффициента долевого участия линии с наименьшим собственным током в общем токе ОЗЗ n_{\min} будет выполняться условие селективности действия защиты

$$n_R^1 \geq \sqrt{k_{\pm}^2 k_i^2 k_{\dot{a}\delta}^2 n_{\min}^2}$$

Варьируя n_{\min} , n_R , получим ряд значений n_{\max} и n_R^1 для коэффициентов $k_{\pm} = 1,5$, $k_i = 1,2$, $k_{\dot{a}\delta} = 1,5$, соответствующих микропроцессорным терминалам защиты, и сведем их в общую таблицу.

В ряде источников [2, 3] рекомендуется принимать значения сопротивления таким образом, чтобы значения активной составляющей тока ОЗЗ равнялось значению суммарного емкостного тока сети $I_{N\Sigma}^{(1)}$, т.е. $n_R^1 = 1$. Однако при использовании обратно-зависимых времятоковых характеристик срабатывания централизованной защиты

Значения коэффициента n_{\max} в зависимости от параметров сети, выраженных через соотношения коэффициентов n_{\min} и n_R

n_{\min}	Коэффициент долевого участия линии с наибольшим собственным током в общем токе ОЗЗ n_{\max} при n_R										$n_R^1, \%$
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
0,05	90,93	–	–	–	–	–	–	–	–	–	13,5
0,1	74,92	81,86	–	–	–	–	–	–	–	–	27
0,15	60,75	64,78	72,79	93,65	–	–	–	–	–	–	40,5
0,2	46,93	49,84	55,1	63,72	79,6	–	–	–	–	–	54
0,25	33,24	35,53	39,53	45,62	54,65	69	–	–	–	–	67,5

можно уйти от этого условия, для этого выбор параметров сопротивления заземляющего резистора при проектировании систем электроснабжения сетей с известными параметрами n_{\min} и n_{\max} , необходимо осуществлять таким образом, чтобы долевое участие активной составляющей тока заземляющего резистора в общем токе ОЗЗ составляло значение n_R^1 (см. таблицу).

Таким образом, при использовании централизованной защиты с обратозависимой времятоковой характеристикой вида RXIDG имеется возможность обеспечить требуемую чувствительность и селективность действия защиты в сетях с достаточно высокоомными резисторами в нейтрали сети. Тем самым имеется возможность сохра-

нить преимущества сетей, как с изолированным, так и с резистивным заземлением нейтрали.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Виштибеев А.В.* О длительности работы резистора для заземления нейтрали в электрических сетях 6-35 кВ / А.В.Виштибеев, Н.И.Емельянов, М.В.Ильиных, Л.И.Сарин; Труды второй всероссийской научно-технической конференции «Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ». Новосибирск, 2002.
2. *Евдокунин Г.А.* Выбор способа заземления нейтрали в сетях 6-10 кВ / Г.А.Евдокунин, С.В.Гудилин, А.А.Корепанов // *Электричество*. 1998. № 12. С.8-22.
3. *Титенков С.С.* 4 режима заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ. Изолированную нейтраль объявим вне закона // *Новости электротехники*. 2003. № 5.