

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1969



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

10

## Учет влияния переходного сопротивления в системах сигнализации замыканий на землю

Канд. техн. наук И. В. ЖЕЖЕЛЕНКО, инженеры К. К. ШЕВЦОВ,  
В. В. МАСЛЯНИК, Э. М. ЛИПЕЦ, Г. Ф. КУЗНЕЦОВ, П. Я. РЕЗЧЕНКО  
Ждановский металлургический институт — Институт электродинамики АН УССР —

*Ждановский металлургический завод им. Ильича — Ждановский металлургический завод «Азовсталь»*

При проектировании сигнализации однофазных замыканий на землю в компенсированных сетях 6—35 кВ, а также при реконструкции сигнализации в связи с установкой дугогасящих катушек иногда применяются системы, основанные на использовании естественных или искусственно генерируемых гармоник тока [Л. 1].

Величина высших гармоник тока однофазного замыкания на землю зависит от переходного сопротивления тем больше, чем выше номер гармоники. Этот факт необходимо учитывать при анализе чувствительности и селективности соответствующих устройств сигнализации, основанных на высших гармониках.

Оценивая естественную  $\nu$ -ю гармонику тока  $I_{\nu r}$  по упрощенной схеме замещения, составленной по методу эквивалентного генератора при пренебрежении нагрузкой и междуфазными емкостями, получим:

$$I_{\nu r} = \frac{U_{\nu}}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{x_c}{k_{\nu}}\right)^2}}, \quad (1)$$

где  $\bar{U}_{\nu}$  —  $\nu$ -я гармоника фазного напряжения до замыкания;

$r$  — переходное сопротивление в месте замыкания;

$x_c$  — емкостное сопротивление контура нулевой последовательности при промышленной частоте ( $\nu=1$ );

$k$  — степень настройки дугогасящей катушки,

$$k_{\nu} = \nu - \frac{r}{x_c}.$$

При резонансной настройке

$$k_{\nu} = \nu - \frac{1}{\nu}.$$

Обозначив  $\frac{r}{x_c} = k_r$ , формулу (1) представим в следующем виде:

$$I_{\nu r} = \frac{U_{\nu} k_{\nu}}{x_c \sqrt{1 + k_r^2 k_{\nu}^2}}. \quad (2)$$

Отношение токов  $\nu$ -й гармоники  $\beta$  при наличии и отсутствии переходного сопротивления

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 + k_r^2 k_{\nu}^2}}. \quad (3)$$

При наложении искусственно генерируемых гармоник тока, получаемых с помощью дополнительной

обмотки, помещенной на сердечник дугогасящей катушки [Л. 2],

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{1 + k_r^2 \nu^2}}. \quad (3a)$$

Из выражений (3) и (3a) следует, что влияние переходного сопротивления на уменьшение  $\nu$ -й гармоники тока однофазного замыкания на землю возрастает с увеличением номера гармоники  $\nu$ . Это влияние наиболее существенно для устройств, реагирующих на гармоники высокого порядка; оно меньше влияет в устройствах суммирующего типа [Л. 3], поскольку они реагируют и на гармоники низких порядков.

Обследованиями установлено, что в кабельных сетях крупных промышленных предприятий 30—40% всех устойчивых однофазных замыканий происходит через переходное сопротивление. Значительное количество их вызвано пробоями в соединительных кабельных муфтах. Некоторые из этих аварий самоликвидируются (пробой заплывающий). Пробой изоляции кабелей развивается постепенно, в связи с чем неполное замыкание существует иногда длительно.

Авторами настоящей статьи по материалам 10-летней эксплуатации кабельных сетей 6—10 кВ Ждановского металлургического завода им. Ильича с емкостным током замыкания на землю около 100 а были исследованы величины переходных сопротивлений при однофазных замыканиях. Сети работали с изолированной нейтралью.

Отношение переходного сопротивления  $r$  в месте замыкания на землю к емкостному сопротивлению сети  $x_c$  определялось по формуле, полученной на основании данных [Л. 4]:

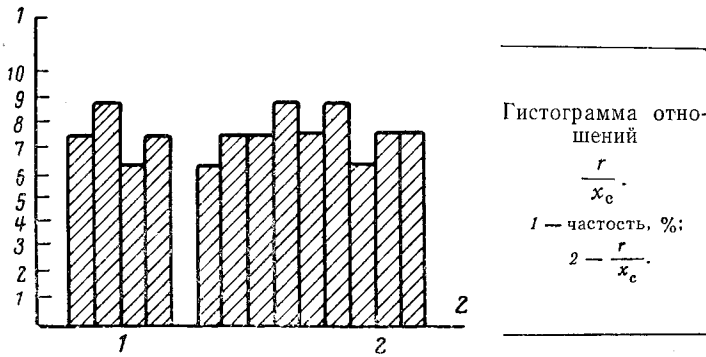
$$\frac{r}{x_c} = \sqrt{\frac{U_{\Phi}^2}{U_0^2} - 1}, \quad (4)$$

где  $U_{\Phi}$  — фазное напряжение сети, в;

$U_0$  — напряжение смещения нейтрали, в.

Напряжение  $U_0$  находилось графически из векторной диаграммы [Л. 4] по известным фазным напряжениям  $U_{A3}$ ,  $U_{B3}$ ,  $U_{C3}$ . Учитывая возможные отклонения напряжения и погрешности при определении  $U_0$  из векторной диаграммы, погрешность при оценке отношения можно считать находящейся в пределах  $\pm 10\%$ .

По результатам обработки зафиксированных персоналом данных 78 измерений фазных напряжений во время устойчивых замыканий рассчитана и построена гистограмма отношений  $\frac{r}{x_c}$  (см. рисунок).



Из рассмотрения гистограммы следует, что вероятность возникновения замыкания через любое переходное сопротивление в диапазоне  $(0,8 \div 2,2) X_c$  практически одинакова.

Следует отметить, что по имеющимся данным эксплуатации кабельных сетей 6—10 кВ завода «Азовсталь» с емкостным током 40 ÷ 100 а замыкания через переходное сопротивление составляют 30—50% всех случаев однофазных замыканий, данные по которым зафиксированы оперативным пер-

соналом. При этом переходное сопротивление находилось в пределах  $(0,7 \div 2,4) X_c$ .

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что при проектировании устройств сигнализации однофазных замыканий, основанных на высших гармониках тока замыкания в компенсированных кабельных сетях предприятий с емкостным током до 100 а, следует расчетным случаем считать замыкание через переходное сопротивление  $r = (2 \div 2,5) X_c$ .

#### Литература

1. Сигнализация замыканий на землю в компенсированных сетях, сб. статей под ред. В. И. Иоэльсона, Госэнергоиздат, 1962.

2. И. М. Сирота, О принципах выполнения защиты от замыканий на землю в компенсированной сети, сб. «Автоматизация и релейная защита электрических систем», изд-во «Наукова думка», Киев, 1966.

3. В. М. Кискачи, Ю. Г. Назаров, Сигнализация однофазных замыканий на землю в компенсированных кабельных сетях 6—10 кВ, Труды ВНИИЭ, вып. 16, Госэнергоиздат, 1963.

4. И. М. Сирота, Защита от замыканий на землю в электрических системах, Изд-во АН УССР, Киев, 1955.

