

**Проверка гибких шин ОРУ на схлестывание
с использованием коэффициента формы провода**

Сергей И. И., Пономаренко Е. Г.

Белорусский национальный технический университет

В связи с увеличением уровней токов короткого замыкания (КЗ) усиливается их электродинамическое действие на гибкие сборные шины распределительных устройств (РУ) высокого напряжения. Это сопровождается колебаниями проводов, амплитуды которых достигают величины начальной стрелы провеса провода и даже превышают их. В проекте международного стандарта по расчету электродинамического действия токов КЗ приводятся значения предельных динамических стрел провеса проводов, которые превышают начальную стрелу на 10 – 15% [1] без учета влияния конструктивных элементов гибкой ошиновки РУ. Основными факторами, влияющими на увеличение динамических стрел провеса проводов при КЗ, являются изменение кривой провисания провода с гирляндами изоляторов, его температурное и упругое удлинение, а также смещение точек подвеса провода из-за упругой податливости опорных конструкций РУ.

Упрощенные методы расчета сближения фаз при КЗ не учитывают распределения массы проводов и гирлянд и базируются на расчетной модели провода в виде сосредоточенной массы провода, представленного физическим маятником. Поэтому расчет электродинамической стойкости гибких шин РУ при больших токах КЗ необходимо в общем случае выполнять с использованием численных методов и компьютерных программ.

В докладе излагается метод расчета сближения гибких шин РУ с натяжными гирляндами изоляторов при больших токах КЗ с использованием коэффициента формы провода K_{ϕ} , который равен

$$K_{\phi} = \frac{y_{\max}}{f_0}, \quad (1)$$

где y_{\max} – максимальное отклонение провода, м; f_0 – начальная стрела провеса провода до КЗ, м.

Максимальное отклонение провода, определяемое по компьютерной программе BUSEF, учитывает в совокупности все указанные выше факторы. Проведенные численные расчеты показали, что главным из них является изменение формы провода с гирляндами изоляторов при КЗ. Для определения коэффициентов формы провода с гирляндами изоляторов были проведены многочисленные компьютерные расчеты типовых пролетов ОРУ 110 и 220 кВ. Для обобщения полученных результатов были использованы:

1) Способ замены кусочно-однородной нити, которой представлен провод с гирляндами изоляторов в компьютерной программе, эквивалентной однородной нитью по методике, изложенной в [2]. На эквивалентную однородную нить действует приведенная нагрузка

$$q' = q \cdot K, \quad (2)$$

где q – удельная нагрузка, обусловленная весом провода, Н/м; K – коэффициент нагрузки, учитывающий влияние конструктивных элементов ошиновки. Формулы для вычисления K приведены в [2, с. 41].

2) Комбинация параметров КЗ с использованием интегрального принципа механики. В интегральном виде основные характеристики КЗ учитывает импульс электродинамических усилий S . Формула для вычисления импульса ЭДУ двухфазного КЗ имеет вид [3]

$$S = 0,2I^2l \frac{(t_k + T_a)}{a}, \quad (3)$$

где a – междуфазное расстояние, м; l – длина пролета, м; t_k – продолжительность КЗ, с; T_a – постоянная времени КЗ, с.

На основании теоремы динамики об изменении главного вектора количества движения механической системы устанавливается зависимость между скоростью движения провода в конце КЗ и импульсом ЭДУ [3]

$$V_k = 0,2I^2l \frac{(t_k + T_a)}{aQ'}, \quad (4)$$

где $Q' = q'l$ – приведенная нагрузка, Н;

Так как скорость движения провода является наиболее универсальной характеристикой, учитывающей параметры проводов и

характеристики КЗ, поэтому коэффициент формы выражается в функции $K_\phi = f(V_k)$.

3) Геометрическое подобие пролетов. Подобные пролеты имеют одинаковую кривизну провода, которая характеризуется второй производной по его длине $d^2\bar{R}/ds_0^2$. Уравнение статики гибкой нити с малой стрелой провеса в относительных единицах в проекции на ось z имеет вид

$$\frac{T_0 f_0}{l_0^2 q'} \cdot \frac{d^2 z_*}{ds_0^2} = -1. \quad (5)$$

где T_0 – начальное тяжение; f_0 – начальная стрела провеса.

Для пролетов с одинаковой кривизной $T_0 f_0 / (l_0^2 q') = const$. Так как T_0 / lq' меняется мало, то приближенным условием геометрического подобия является относительная стрела провеса f_0 %.

На рис. 1 приведено сравнение данных [1] и расчетов по компьютерной программе BUSEF для оценки достоверности полученных результатов.

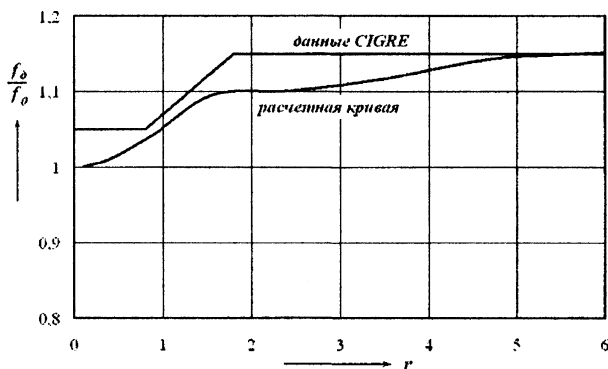


Рис. 1. Отношение динамической и начальной стрел провеса

Параметр r приближенно определяется как отношение электродинамических усилий на единицу длины, к удельному весу провода [1].

Коэффициент формы определяется в два этапа. На первом этапе расчеты проводятся для гибких проводов без учета гирлянд изоляторов. На рис. 2 представлен график для определения поправочного коэффициента $K_{\phi 1}$. Кривые даны для разных относительных стрел провеса. Если $V_k < V_{k \min}$ (табл. 1), то

$$A_{\min} = A_{\phi-\phi} - 2f_0.$$

На втором этапе вводится поправочный коэффициент $K_{\phi 2}$ для типовых пролетов, учитывающий влияние гирлянд (табл. 1). Результирующий коэффициент формы

$$K_{\phi} = K_{\phi 1} \cdot K_{\phi 2}. \quad (6)$$

Проверка гибких шин на схлестывание производится по условию

$$A_{\min} = A_{\phi-\phi} - 2 \cdot y_{\max} = A_{\phi-\phi} - 2 \cdot K_{\phi 1} \cdot K_{\phi 2} \cdot f_0. \quad (7)$$

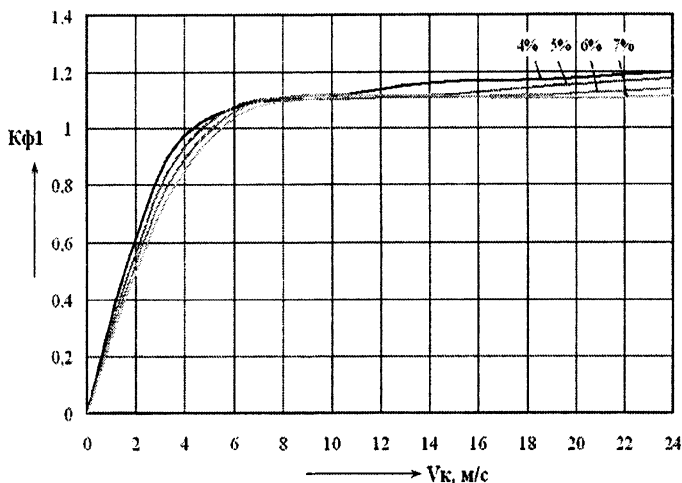


Рис. 2. Поправочный коэффициент $K_{\phi 1}$

Таблица 1

Величина поправочного коэффициента $K_{\phi 2}$

$U_{ном}$, кВ	l , м	$V_{k min}$, м/с	$K_{\phi 2}$
110	20	3,2	1,140
	27,5	3,2	1,135
220	30,8	3,0	1,184
	40,5	3,5	1,074

В табл. 2 представлены результаты расчетов максимальных отклонений проводов для различных пролетов по формуле (7) с использованием коэффициента формы и их сравнение с результатами расчета по компьютерной программе BUSEF.

Таблица 2

$U_{ном}$, кВ	l , м	f_0 , %	$I_{к2}$, кА	$У_{кп}$, м	$У_{max}$, м	$\Delta у_{max}$, %
110	27,5	6%	26	2,066	2,060	< 1
	27,5	5%	30	1,775	1,720	1,7
	20	5%	30	1,261	1,220	3,0
	20	7%	28	1,706	1,708	< 1
220	30,8	5%	35	1,955	1,970	< 1
	40,5	5,9%	35	2,832	2,835	< 1

Вывод: Разработан приближенный метод оценки недопустимых сближений гибких шин ОРУ при скоростях движения проводов в конце КЗ, превышающих указанные в табл. 1 $V_{k min}$, не требующий обращения к ПЭВМ.

Литература

1. The mechanical effects of short-circuit currents in open air substations (rigid and flexible bus-bars). – Paris, 1996. – 90 p. – (Preprint / CIGRE; Brochure № 105. – Working Group 23–11, SC–23).
2. Бошнякович А. Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП. – Л.: Энергия, 1975. – 248 с.
3. Сергей И. И., Пономаренко Е. Г., Саммур Ваиль Махмуд. Упрощенный метод расчета сближения проводов с учетом конструктивных элементов распределительных устройств при двухфазном коротком замыкании // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 2004. – № 2. – С. 5 – 11.