

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ ОРУ С УЧЕТОМ РАССЕЯНИЯ ЭНЕРГИИ В ПРОВОДАХ

Приведенный в [1] векторно-параметрический метод расчета электродинамической стойкости гибкой ошиновки с учетом конструктивных элементов ОРУ базируется на представлении проводов идеально упругой нитью. В связи с этим возникающие после отключения тока короткого замыкания (к. з.) свободные колебания проводов являются незатухающими. В результате расчет параметров электродинамической стойкости гибкой ошиновки ОРУ без учета затухания, обусловленного демпфирующими свойствами проводов, производится с погрешностью 25—30 % по сравнению с опытными данными.

Демпфирующие свойства гибкой ошиновки определяются в основном ее способностью поглощать энергию колебаний на необратимые процессы в циклическом деформируемом материале проводов. В результате этого обнаруживается несовпадение зависимостей между тяжением и деформацией при нагрузке и разгрузке проводов во время к. з. Это явление, получившее название механического гистерезиса, обусловлено несовершенной упругостью материала проводов.

В статье излагается метод расчета электродинамической стойкости гибкой ошиновки ОРУ, основанный на опытной зависимости между тяжением и деформацией, которая отражает наличие петли гистерезиса циклически деформируемого материала проводов. В основу этого метода положены опытные нагрузочно-разгрузочные диаграммы растяжения многопроводочных проводов, полученные в результате большого числа лабораторных испытаний проводов и их компонентов, проведенных во ВНИИЭ [2] . Для расчетной практики наибольший интерес представляет часть нагрузочной ветви этих диаграмм в зоне рабочих напряжений провода, в пределах которой напряжение и деформация связаны практически линейной зависимостью (рис. 1). Разгрузочная ветвь диаграммы растяжения является упругой характеристикой провода, так как при снятии нагрузки его укорочение происходит только за счет упругих сил.

Такие упрощенные диаграммы растяжения, не учитывающие явление текучести материала проводов, которое развивается в основном в нерабочей зоне, широко используются в проектной практике [2] . Опытные значения параметров, характеризующих механические свойства проводов по упрощенным нагрузочно-разгрузочным диаграммам, приведены в [2] . Эти параметры названы: модуль неупругости F , модуль релаксации D и модуль упругости E . Модуль

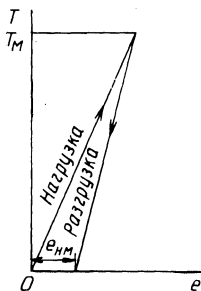


Рис. 1. Упрощенная нагрузочно-разгрузочная диаграмма растяжения провода.

Г учитывает как упругие, так и неупругие свойства материалов многопроволочных проводов, и является характеристикой ветви упрощенной диаграммы при практически мгновенном возрастании тяжения проводов (что имеет место при к. з.). Модуль D учитывает также и пластическое удлинение проводов, обусловленное ползучестью их материала, которая возникает при очень медленном нагружении проводов. Поэтому пластические деформации проводов при к. з. остаются неизменными и равными их значениям, определяемым тяжением проводов в момент времени, предшествующий к. з.

В общем виде относительное удлинение элемента провода при к. з. содержит следующие составляющие:

$$e = (1 + e_y + e_n + e_n)(1 + e_t) - 1, \quad (1)$$

где e_y — относительная упругая деформация элемента провода; e_n — неупругая деформация провода; e_n — пластическая деформация за счет ползучести материала проводов; $e_t = \alpha_t \theta$ (температурное удлинение элемента провода); θ — температура провода при к. з.; α_t — температурный коэффициент линейного расширения провода.

Упругая деформация провода равна

$$e_y = \alpha_y T, \quad (2)$$

где $\alpha_y = \frac{1}{EA}$ (A — поперечное сечение провода).

Неупругая деформация при нагрузке провода составляет определенную часть его упругой деформации [2]:

$$e_n = \tau e_y, \quad (3)$$

где $\tau = (E - F)/F$.

При разгрузке провода e_n остается неизменной и равной значению, определяемому максимумом тяжения на нагрузочной ветви упрощенной диаграммы растяжения. Пластическая деформация проводов составляет определенную часть упругой деформации e_{y0} , имеющей место в момент времени, предшествующий к. з.:

$$e_n = \rho e_{y0},$$

где $\rho = [E - D(1 + \tau)]/D$.

Подставляя (2) и (3) в выражение (1), получим формулы для расчета тяжения при нагрузке и разгрузке проводов в режиме к. з. Для i-й нагрузочной ветви циклически деформируемого материала проводов получим

$$T_i = \frac{e_i - e_{\pi}(1 + e_{ti}) - e_{ti}}{\alpha_y(1 + \tau)(1 + e_{ti})}. \quad (4)$$

Тяжение по i -й разгрузочной ветви равно

$$T_i = \frac{e_i - (e_{\pi} + e_{\text{нми}})(1 + e_{ti}) - e_{ti}}{\alpha_y(1 + e_{ti})}, \quad (5)$$

где $e_{\text{нми}}$ — неупругая деформация проводов, соответствующая максимуму тяжения по i -й нагрузочной ветви.

Используя операцию присвоения знака sign , (4) и (5) можно записать одним выражением

$$T_i = \frac{e_i - (1 + e_{ti}) \{ e_{\pi} + 0,5[1 - \text{sign}(\partial T_i / \partial t)] e_{\text{нми}} \} - e_{ti}}{\alpha_y \{ 1 + 0,5\tau [1 + \text{sign}(\partial T_i / \partial t)] \} (1 + e_{ti})}. \quad (6)$$

Выходящая в (6) деформация e_i связана с координатами провода следующим очевидным выражением:

$$e_i = \sqrt{\left(\frac{\partial x_i}{\partial s_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial y_i}{\partial s_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial z_i}{\partial s_0}\right)^2 - 1}.$$

Значения координат x_i , y_i , z_i для каждого момента времени определяются из решения уравнений движения проводов. В [3] приведены векторно-параметрические уравнения движения проводов, пригодные для расчета динамики гибких проводов при любой форме нагрузочно-разгрузочной диаграммы растяжения, так как коэффициент записан в общем виде

$$a^2 = \frac{1}{m} \frac{\partial T}{\partial e},$$

где m — масса единицы длины провода.

Для принятой упрощенной диаграммы растяжения провода этот коэффициент равен

$$a^2 = \frac{1}{m \alpha_y \{ 1 + 0,5\tau [1 + \text{sign}(\partial T_i / \partial t)] \} (1 + e_{ti})}.$$

По разработанному алгоритму составлена программа расчета на ЦВМ электродинамической стойкости гибкой ошиновки ОРУ с учетом рассеяния энергии в проводах. На рис. 2 приведено сравнение результатов расчета по этой программе с учетом и без учета механического гистерезиса с полученными за рубежом опытными данными [4]. Это сравнение наглядно показывает влияние учета рассеяния энергии в проводах на точность оценки электродинамической стойкости гибкой ошиновки ОРУ.

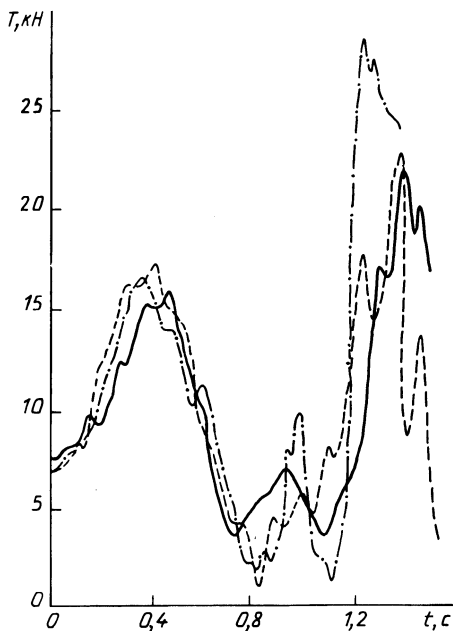


Рис. 2. Динамика тяжения в точке крепления ошиновки к portalу (ток к.з. — 29,7 кА, продолжительность к.з. — 0,8 с, длина пролета — 40 м, междуфазное расстояние — 2,5 м, провод медный — 324 мм², начальное тяжение — 665 даН, гирлянда: длина — 1,54 м, вес — 52,3 дан); сплошная линия — опытная кривая; штриховая — расчетная (с учетом затухания); штрихпунктирная — расчетная (без учета затухания).

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрелюк М.И., Сергей И.И. Влияние расщепления фаз гибкой ошиновки ОРУ на динамику ее параметров при коротких замыканиях. — Изв. вузов СССР. Энергетика, 1981, № 4, с. 3—9.
2. Расчет монтажных напряжений и стрел провеса проводов и тросов воздушных линий с учетом остаточных деформаций/А.С.Зеличенко, Л.М.Кесельман, И.М.Коляков, В.Г.Хотинский. — Электрические станции, 1978, № 2, с. 69—71.
3. Стрелюк М.И., Сергей И.И. О численном решении уравнений движения гибких проводов ОРУ под воздействием электродинамических усилий. — Изв. вузов СССР. Энергетика, 1977, № 12, с. 17—22.
4. Lilien I.L., Geradin M., Pirotte P. Sollicitations électrodynamiques dans les postes lors de défauts. — Can. Commun. and Power Conf., Montreal, 1980. — New York, 1980, p. 192—195.

УДК 621.316.35.064.1

М.И.СТРЕЛЮК, канд.техн.наук, Ю.В.БЛАДЬКО,
И.И.СЕРГЕЙ, канд.техн.наук (БПИ)

РАСЧЕТ СТАТИКИ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ ОРУ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ АППАРАТАМ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В основу метода расчета электродинамической стойкости гибкой ошиновки с учетом конструктивных элементов ОРУ положены векторно-параметрические уравнения динамики гибкой упругой