

Расчет максимальных тяжений проводов при коротких замыканиях с учетом конструктивных элементов

Сергей И.И., Пономаренко Е.Г., Андрукевич А.П.

Белорусский национальный технический университет

При коротком замыкании провода принимают форму, обусловленную действием распределенных электродинамических усилий. При этом в проводах могут возникать значительные тяжения. Динамика гибких шин РУ при коротком замыкании (КЗ) описывается с использованием расчетной модели в виде гибкой нити с распределенной по длине массой. Для определения параметров электродинамической стойкости необходимо решить дифференциальные уравнения в частных производных. Они решаются численными методами с помощью компьютерных программ. В итоге компьютерного расчета получается одно частное решение, которое требует больших затрат времени. А для проектной практики более удобно применение упрощенных методов расчета с использованием диаграмм и таблиц. Такие подходы рекомендуются и в межгосударственных стандартах. По упрощенной методике рассчитываются такие критерии электродинамической стойкости гибкой ошиновки, как максимальные отклонения и тяжения, которые сравниваются с допустимыми значениями.

В докладе приводятся основные положения методики упрощенного расчета максимальных тяжений гибких шин РУ, которая разработана на кафедре «Электрические станции». Методика основана на уравнениях энергетического баланса при и после КЗ для провода, представленного физическим маятником.

В осциллограмме тяжения одиночного провода существуют два характерных максимума. Один из них наступает в момент времени, когда провода при их отталкивании подвергаются максимальному растяжению действием ЭДУ ($T_{2\max}$). Другой максимум тяжения возникает, когда запасенная в процессе подъема провода при движении его по траектории, потенциальная энергия преобразуется в энергию упругих деформаций проводов и опор при проходе наинизшей точки траектории движения ($T_{3\max}$).

Для определения максимумов тяжения рассмотрим процесс движения провода при КЗ. Кинетическая энергия E_k преобразуется в энергию упругих деформаций проводов и опор. Величина кинетической энергии

$$E_k = J \cdot \frac{\omega_k^2}{2}. \quad (1)$$

Угловая скорость ω_k выражается через скорость поступательного движения провода в конце КЗ v_k

$$\omega_k = 0,75 \cdot \frac{v_k}{f_0}. \quad (2)$$

v_k в свою очередь выражается через тангенциальную составляющую импульса ЭДУ S_τ

$$v_k = \frac{S_\tau}{\rho \cdot l}, \quad (3)$$

где $S_\tau = S^{(2)} \cdot \cos \alpha_k$.

Наличие в пролете гирлянд изоляторов учитывается при использовании в формуле (3) приведенной массы $\rho = \rho_0 \cdot c$ [1].

Выражение для упругой деформации провода

$$E_y = \frac{1}{2} N \cdot l \cdot (T_{2\max}^2 - T_0^2) \quad (4)$$

где $N \cdot l = \frac{l}{E \cdot A} + \frac{1}{K_{\text{он}}}$ – результирующий коэффициент упругой

деформации системы провод-опора;

$K_{\text{он}}$ – коэффициент жесткости опоры, Н/м.

После преобразований получим формулу для расчета максимального тяжения на стадии отталкивания проводов ЭДУ без учета гибкости порталов

$$T_{2\max} = \sqrt{T_0^2 + 0,3 \cdot \frac{E \cdot A}{\rho} \cdot \left(\frac{S^{(2)} \cdot \cos \alpha_k}{l} \right)^2}; \quad (5)$$

и с учетом гибкости

$$T_{2\max} = \sqrt{T_0^2 + 0,3 \cdot \frac{E \cdot A \cdot K_{\text{оп}}}{(l \cdot K_{\text{оп}} + E \cdot A)} \cdot \frac{(S^{(2)} \cdot \cos \alpha_k)^2}{\rho \cdot l}}. \quad (6)$$

Максимум тяжения $T_{3\max}$ возникает, когда вся накопленная токоведущими конструкциями потенциальная энергия при и после КЗ $E_{p\max}$ преобразуется в энергию упругих деформаций проводов и опор E_y . В зарубежных источниках $T_{3\max}$ называется также максимальным тяжением при падении проводов. Наибольшая потенциальная энергия накапливается при достижении проводом максимального угла отклонения плоскости провода, равном 180° , когда $h + h_k = 2f_0$ [1].

$$E_{p\max} = \frac{2}{3} \cdot \rho \cdot l \cdot g \cdot (2f_0). \quad (7)$$

После преобразований получим выражение для определения максимально возможной величины пика $T_{3\max}$

$$T_{3\max\text{НБ}} = \sqrt{T_0^2 + \frac{8}{3} \cdot E \cdot A \cdot \rho \cdot g \cdot f_0} = \sqrt{T_0^2 + 26,2 \cdot E \cdot A \cdot \rho \cdot f_0}. \quad (8)$$

При меньших токах КЗ величина суммарной высоты подскока провода после КЗ будет меньше $2f_0$. В этом случае

$$T_{3\max} = \sqrt{T_0^2 + 13,1 \cdot E \cdot A \cdot \rho \cdot (h + h_k)}. \quad (9)$$

С учетом гибкости порталов уравнение (9) преобразуется

$$T_{3\max} = \sqrt{T_0^2 + 13,1 \cdot \rho \cdot l \cdot \frac{E \cdot A \cdot K_{\text{оп}}}{(l \cdot K_{\text{оп}} + E \cdot A)} (h + h_k)}. \quad (10)$$

В докладе описана методика и приведены выражения для упрощенного расчета характерных пиков тяжений, возникающих в проводах при КЗ. Методика учитывает основные конструктивные элементы пролета.

Литература

1. 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 и энерг. объединений СНГ). – 2004. – № 2. – С. 5 – 11.