

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



Т Р У Д Ы
МОСКОВСКОГО ордена ЛЕНИНА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Тематический сборник

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Выпуск 307

Таблица 4

Номинальное напряжение кабеля, кВ	Материал жил	Значения постоянных	
		α_n	β_n
6	Медь алюминий	0,03	0,0038
		0,03	0,0023
10	медь алюминий	0,05	0,0039
		0,03	0,0022
20	медь алюминий	0,05	0,00525
		0,05	0,003
35	медь алюминий	0,12	0,0054
		0,11	0,003
110	медь	0,6	0,0075
220	медь	0,6	0,0057

К ВЫБОРУ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ТОКОПРОВОДОВ

Канд. техн. наук доц. Е. П. КУДРЯВЦЕВ,
инж. А. П. ДОЛИН

В работах, посвященных оценке электродинамической стойкости шин и изоляторов, используется достаточно обширный набор расчетных схем, что связано с многообразием конструкций токопроводов. Однако обилие этих схем неудобно для практических расчетов. Наиболее приемлемой была бы методика, использующая одну расчетную схему, достаточно простую и хорошо отражающую особенности конструкций токопроводов. В качестве такой схемы можно предложить многопролетную балку с неподвижными опорными сечениями на упругих опорах. Она хорошо описывает работу среднего участка длинной шины с равными пролетами на одинаковых упругих изоляторах. Крайние пролеты равнопролетных шин, пролеты с ответвлениями, неравнопролетные шинные конструкции работают в условиях, ко-

торые описываются моделью с погрешностями. Однако в случае необходимости расчеты шин, сделанные на основе равнопролетной расчетной схемы, могут быть скорректированы введением поправочных коэффициентов, учитывающих те или иные особенности шинной конструкции. Однако при требуемой точности инженерных расчетов введение каких-либо поправок часто оказывается излишним. Расчет электродинамической стойкости токопроводов целесообразно проводить в два этапа.

На первом этапе расчета определяются электродинамические нагрузки, возникающие между проводниками при коротких замыканиях (к.з.). Они неодинаковы для токопроводов разной конфигурации [1, 2], но всегда содержат в различных комбинациях одни и те же составляющие: постоянные во времени, экспоненциальные, затухающие и незатухающие периодические составляющие [1]. В общем случае шины, колеблющиеся при к.з. в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, испытывают действие двенадцати составляющих электродинамической нагрузки. Каждую из этих составляющих, Н/м, можно представить в единой комплексной форме [3]

$$q(t) = \frac{\alpha}{a} I_M^2 D T(t) = \frac{\alpha}{a} I_M^2 D [\beta e^{(\beta+i)t} + d e^{(\beta-i)t}], \quad (1)$$

где $\alpha = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$; a - расстояние между шинами, м; I_M - амплитуда периодической составляющей тока к.з., А; β , d , γ - постоянные, выражающиеся через параметры функций времени $T(t)$ отдельных составляющих электродинамической нагрузки; D - коэффициент, определяемый для каждой составляющей взаимным расположением проводников в пространстве, фазой включения тока к.з. и видом к.з. Для ряда токопроводов эти коэффициенты приведены в [1, 2].

На втором этапе проводится расчет колебаний шинной конструкции под действием электродинамических нагрузок и определение механических напряжений в материале шин и нагрузок на изоляторы. Методика этого расчета оказывается единой для различных типов токопроводов. Если рассматривать шину, как стержень с равномерно распределенной по длине массой и с сосредоточенными в опорных сечениях массами изоляторов M (рис. 1), колебания шины в каждой из ее главных плоскостей инерции будут описываться дифференциальным уравнением [4]

$$m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + E J \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = Q(t), \quad (2)$$

где m - масса шины, кг; EJ - жесткость шины на изгиб, $\text{Н}\cdot\text{м}^2$; y - прогиб шины, м; t - время, с; Q - электродинамическая нагрузка, $\text{Н}/\text{м}$. Расчет может проводиться отдельно для каждой составляющей электродинамической нагрузки /см. выражение (1)/ с последующим суммированием колебаний от всех составляющих нагрузок.

Уравнение (2) не учитывает демпфирование колебаний, поэтому в резонансных зонах при частотах собственных колебаний, близких к частотам возмущающих электродинамических нагрузок 50 и 100 Гц, оно дает завышенные результаты. Однако это не является недостатком, поскольку токопроводы не должны работать в условиях резонанса. Демпфированием нельзя пренебрегать, если допустить работу шины в упругопластической стадии. Вопросы работы шин за пределами упругости еще недостаточно изучены экспериментально и здесь не рассматриваются.

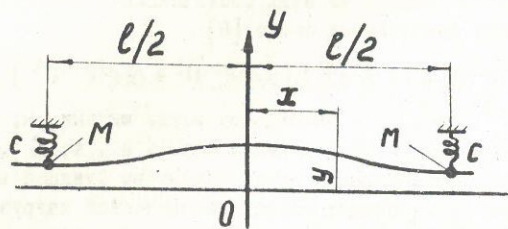


Рис 1

Решение уравнения (2) можно найти для каждой составляющей электродинамической нагрузки, как сумму его частного решения с правой частью вида (1)

$$\bar{y}(x, t) = \sum_{s=1}^{\infty} \left[\left(\sum_{n=1}^{\infty} A_{ns} e^{-p_n s x} \right) + \frac{\delta(s-1)a + \delta(s-2)b}{m[\beta - (-1)^s i \gamma]} \right] e^{[\beta - (-1)^s i \gamma] t} \quad (3)$$

и общего решения однородного уравнения

$$\bar{y}(x, t) = \sum_{k=1,3,5}^{\infty} \left(\frac{ch}{sh} \frac{\frac{\gamma_k x}{l}}{\frac{\gamma_k}{2}} + \frac{\cos \frac{\gamma_k x}{l}}{\frac{\gamma_k}{2}} \right) (L_k \sin \Omega_k t + N_k \cos \Omega_k t) \quad (4)$$

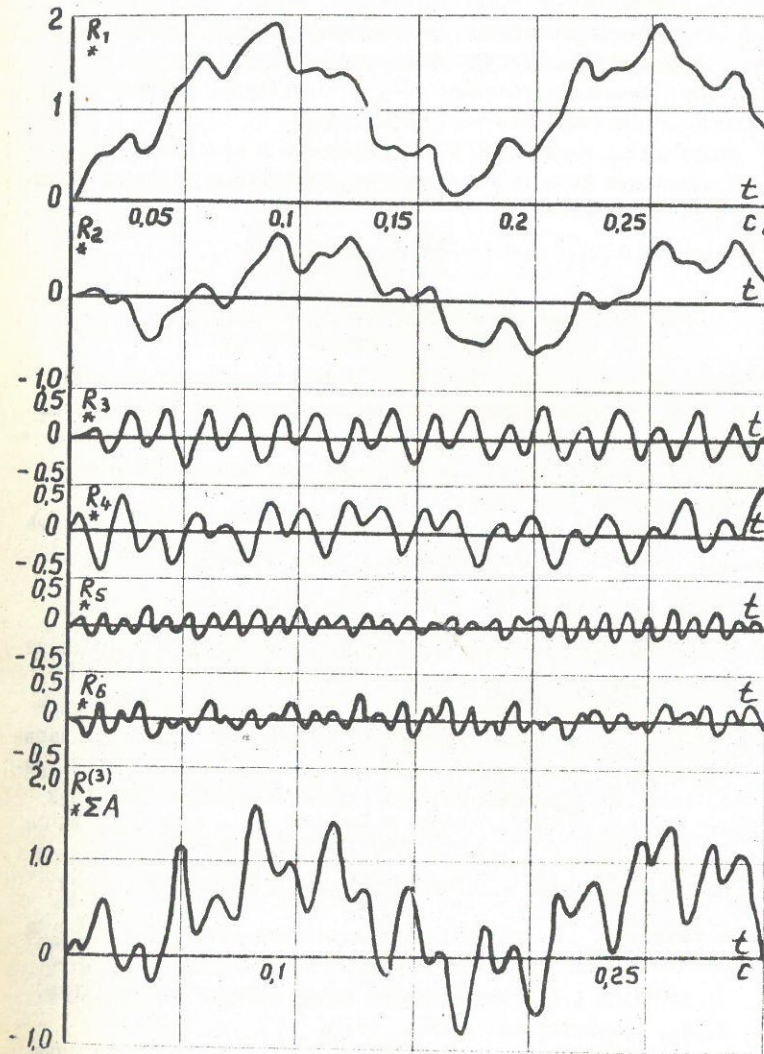


Рис 2

Здесь l - длина пролета шины, м; P_{ns} и Γ_k - корни характеристических уравнений; δ - дельта-функция Дирака; A_{ns} - произвольные постоянные, определяемые из граничных условий на опорах; L_k и N_k - постоянные интегрирования, варьированием которых удовлетворяются начальные условия; Ω_k - собственные угловые частоты колебаний системы шины-изоляторы, рад/с.

Нагрузки на изоляторы, H , и напряжения в материале шины, Pa , от отдельных составляющих электродинамической нагрузки можно определить по формулам:

$$R(t) = cy(l/2, t) = \frac{\alpha l}{a} I_m^2 D R_*(t); \quad (5)$$

$$\sigma(x, t) = \frac{EJ}{W} \cdot \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\alpha l^2}{12aW} I_m^2 D \sigma_*(x, t), \quad (6)$$

где C - жесткость опор, Н/м; W - момент сопротивления шины, м³; R_* и σ_* - относительные составляющие нагрузки на изоляторы и напряжения в материале шины, численно равные нагрузкам на изоляторы и напряжениям при действии на шину равномерно распределенной нагрузки величиной $T(t)$.

Изложенная методика удобна для вычисления на ЭЦВМ "Минск-32" и машинах типа ЕС на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV, допускающем работу с комплексными величинами.

Для облегчения инженерных расчетов целесообразно получить кривые составляющих относительной нагрузки на опоры и напряжения в материале шины для фиксированных значений параметров cl^3/EJ , M/ml , постоянной времени затухания аperiodической составляющей тока к.з. T_a и первой (основной) собственной частоты колебания системы шина-изоляторы f_1 . В качестве примера на рис.2 приводятся значения отдельных составляющих относительных нагрузок на изоляторы при $cl^3/EJ = 10000$, $M/ml = 0$, $T_a = 0,05$ с, $f_1 = 6$ Гц. Нижняя кривая на рис.2 показывает нагрузки на изоляторы крайней фазы токопровода, шины которого расположены в одной плоскости, при трехфазном к.з.

Литература

1. ВАСИЛЬЕВ А.А. Электрическая часть станций и подстанций. Ч. I. М.-Л., Госэнергоиздат, 1963, 495 с.
2. ЗАГОРОВСКИЙ Е.Н., СТРЕЛЮК М.И. Электродинамические силы при произвольном расположении фаз шинпровода. - "Известия вузов, Энергетика", 1965, № 12, с.8-16.