

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



**Т Р У Д Ы**  
**МОСКОВСКОГО ордена ЛЕНИНА**  
**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

Тематический сборник

**ВОПРОСЫ ПРОИЗВОДСТВА И**  
**РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ**  
**ЭНЕРГИИ**

**Выпуск 383**

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ОПОРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ НА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКУЮ СТОЙКОСТЬ ШИННЫХ ЛИНИЙ

Инж. А. П. ДОЛЛИН

При расчете шинных конструкций на электродинамическую стойкость расчетные значения максимальных нагрузок на изоляторы и напряжений в материале шины можно представить в виде линейной зависимости от так называемых динамических коэффициентов [1-3]. Динамические коэффициенты для токопроводов различной конфигурации являются функциями частоты собственных колебаний системы шина-изолятор.

Первая (основная) частота собственных колебаний шинной конструкции, Гц, равна [1-3]

$$f = \frac{r^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}} \quad (1)$$

где  $l$  - длина пролета, м;  $E$  - модуль упругости шины, Па;  $J$  - ее момент сопротивления, м<sup>4</sup>;  $m$  - погонная масса шины, кг/м;  $r$  - параметр частоты колебаний, зависящий от способа закрепления шин (граничных условий) и параметров шинной линии:  $C_{оп} l^3 / EJ$  и  $M / ml$ ; здесь  $C_{оп}$  - жесткость опоры, Н/м;  $M$  - приведенная масса опоры, кг.

С уменьшением  $C_{оп} l^3 / EJ$  или увеличением  $M / ml$  параметр частоты снижается.

Жесткость опор в основном определяется податливостью шинодержателей, изоляторов и оснований, к которым они крепятся. Кроме того, как показали проведенные испытания, она в значительной мере зависит от степени затяжки крепежных болтов изоляторов. На рис. 1 представлена усредненная зависимость жесткостей опорных изоляторов типа ОФ-10-375У3 от затягивающего момента  $\mu$  крепежных болтов, полученная в результате статических испытаний. При уменьшении  $\mu$  жесткость опорных изоляторов резко падает. Таким образом, ослабление болтовых соединений должно приводить к снижению частоты



ты собственных колебаний системы шина- изоляторы. Для подтверждения этого положения и изучения влияния жесткости опорных изоляторов на электродинамическую стойкость были проведены испытания экспериментальных двухпроводных пятипролетных шинных конструкций с практически абсолютно жесткими опорами шин и с опорными изоляторами типа ОФ-10-375УЗ. Шины марки АД0 прямоугольного сечения 60x3 мм устанавливались на ребро и крепились специальными шинодержателями (обладающими высокой жесткостью) либо к неподвижному жесткому основанию, либо на опорные изоляторы.

В опытах на конструкции с жесткими опорами собственная частота колебаний шины была около 212 Гц. Испытания линии с опорными изоляторами при очень высокой степени затяжки крепежных болтов ( $\mu = 100 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ) показали, что частота колебаний шины снизилась в 1,7 раза и составила 125 Гц. В следующем опыте при большом токе к.з. произошло незначительное ослабление болтов и собственная частота колебаний конструкции оказалась близкой к резонансной, равной 100 Гц. В последующих опытах была зафиксирована частота колебаний 92-95 Гц. Затягивающий момент крепежных болтов изоляторов составил примерно 35-40 Н·м. Значительное ослабление болтовых соединений ( $\mu < 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ) привело к снижению частоты колебаний до 40 Гц.

Как правило, частоты колебаний шин, определенные аналитически по формуле (1), при соответствующих жесткостях изоляторов отличаются от полученных экспериментально не более чем на 10%. Лишь в опытах с ослабленными болтовыми соединениями частота колебаний конструкции оказалась почти в 1,5 раза ниже расчетной. Однако расчеты не учитывали ослабление затяжки болтов при к.з. и проводились при  $\mu = 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Полученные в результате испытаний осциллограммы деформации материала шины полностью согласуются с аналитическими решениями.

В качестве примера на рис. 2 приведены экспериментально полученные осциллограммы деформаций шины, установленной на опорных изоляторах типа ОФ-10-375УЗ, при высокой степени затяжки болтовых соединений. Ударные токи к.з.  $i_{\text{з}}$  были равны 17,8 кА (рис. 2 а) и 35,7 кА (рис. 2 б). Постоянные времени затухания аperiodической составляющей токов к.з.  $T_{\text{а}}$  в этих опытах составили соответственно 0,02 и 0,03 с, амплитуда периодической составляющей тока к.з. 10,9 и 20,8 кА. Частота собственных колебаний шинной конструкции в первом опыте была 125 Гц, во втором - около 100 Гц.

Максимальные напряжения, возникавшие в шине при к.з., также

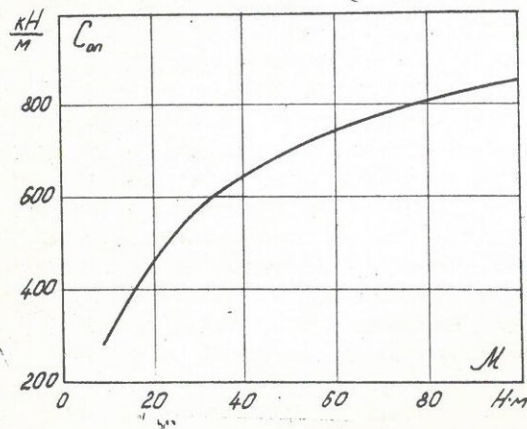
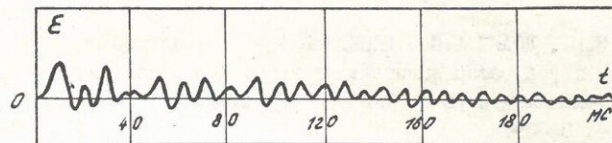
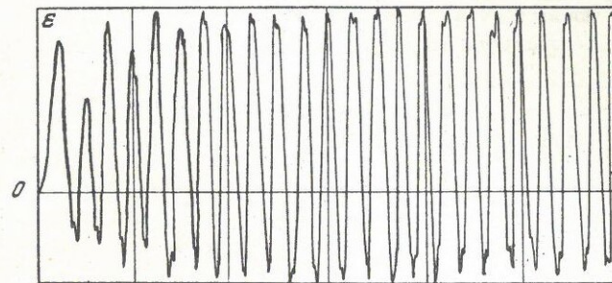


Рис. 1



а)



б)

Рис. 2

были близки к расчетным значениям. Погрешность расчета обычно не превышала 10-15%. В некоторых опытах (см., например, осциллограмму на рис. 2 б) деформации шины превосходили допустимые значения и шина работала в области неглубоких упруго-пластических деформаций. Тем не менее характер ее колебаний при к.з. не претерпевал значительных изменений и был подобен колебаниям в упругой зоне.

Таким образом, эксперименты подтвердили основные положения теоретических исследований [1-3]. Они показали, что податливость опорных изоляторов необходимо учитывать не только при расчете шин распределительных устройств напряжением свыше 110 кВ, но и в ряде случаев шин электроустановок более низкого напряжения. Ослабление болтовых соединений изоляторов приводит к значительному снижению частоты собственных колебаний шинной конструкции. При этом возможно наступление резонанса, а следовательно, и возрастание нагрузок на изоляторы и напряжений в материале шины при к.з. С другой стороны, путем изменения жесткости опорных конструкций (изоляторов) можно подобрать наиболее оптимальную частоту собственных колебаний системы шина-изоляторы (с точки зрения электродинамической стойкости) и обеспечить надежную работу шинной линии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. КУДРЯВЦЕВ Е.П., ДОЛИН А.П., ВАСИЛЬЕВ А.А. Методика расчета шин и опорных изоляторов распределительных устройств напряжением до 35 кВ на электродинамическую стойкость.- "Промышленная энергетика", 1975, № II, с. 36-39.

2. ВАСИЛЬЕВ А.А., ДОЛИН А.П., КУДРЯВЦЕВ Е.П. Приближенный расчет шин и опорных изоляторов на электродинамическую стойкость.- "Известия вузов. Электромеханика", 1976, № 7, с. 797-800.

3. КУДРЯВЦЕВ Е.П., ДОЛИН А.П. Методика расчета электродинамической стойкости токопроводов напряжением 110 кВ и выше с учетом податливости опор.- "Электричество", 1977, № 5, с. 15-19.

---