

**ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНЫХ
ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ, НАИБОЛЕЕ ОПАСНЫХ
ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ¹⁾**

И. И. КАЛЯЦКИЙ, В. Ф. ПАНИН

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института высоких напряжений)

Отметим сразу, что речь идет, в сущности, о перенапряжениях негрозового происхождения. Действительно, для грозových перенапряжений характерны крутизны, большие критических — от сотен до тысяч *кв/мксек*.

Критические крутизны относятся к области внутренних, или, точнее, коммутационных перенапряжений, располагающейся между грозowymi перенапряжениями и перенапряжениями рабочей частоты.

Современные средства ограничения перенапряжений позволяют с большой вероятностью, определяемой требованиями надежности работы изоляции, не допускать внутренних перенапряжений выше некоторого уровня, по которому координируется высоковольтная изоляция. В табл. 1 приведены допустимые кратности внутренних перенапряжений для систем высших классов [2], где $K = \frac{U_n}{U_\phi}$, U_n — наибольшая ам-

плитуда внутренних перенапряжений, U_ϕ — наибольшее фазное рабочее напряжение. Эти кратности установлены без учета аномального уменьшения импульсной прочности изолирующих сред в области критической крутизны [3—5]. Необходимо принимать в расчет указанное снижение импульсной прочности, так как при координации изоляции перенапряжения с кратностью ниже допустимой, но с крутизной в области критической могут вызвать понижение надежности работы изоляции.

Произведем ориентировочную оценку допустимых кратностей перенапряжений с учетом снижения импульсной прочности изолирующих сред в области критической крутизны.

I. Уровни воздушной изоляции при внутренних перенапряжениях с расчетной кратностью K устанавливаются по уровню прочности изоляции при напряжении 50 *гц*. Связь между расчетной кратностью внутренних (в том числе коммутационных) перенапряжений и параметрами распределения пробивных напряжений изоляции при 50 *гц* (U_{50} ; σ_{50}) можно выразить соотношением

$$\frac{U_{50} \left(1 - \frac{3\sigma_{50}}{100} \right)}{K_3} = K \cdot U_\phi, \quad (1)$$

¹⁾ См. [1].

где K_3 — коэффициент запаса.

Для перенапряжений с крутизнами, близкими к критической, можно записать

$$\frac{K_B \cdot U_{50} \left[1 - \frac{3\sigma_K}{100} \right]}{K_3} = K' \cdot U_\Phi, \quad (2)$$

где $K_B \cdot U_{50}$; σ_K — параметры распределения пробивных напряжений в области критической крутизны, K_B — коэффициент импульса в области критической крутизны,

Таблица 1

Расчетные кратности внутренних перенапряжений для систем высокого напряжения

Номинальное напряжение системы, кВ	K
110	3
220	3
330	2,7
500	2,5
750	2,1

Таблица 2

Приближенные значения коэффициента K_B для воздушной изоляции высших классов напряжения

Класс напряжения, кВ	K_B
110	0,7
220	0,79
330	0,75
500	0,8
750	0,775

K' — допустимая кратность перенапряжений с крутизной, близкой к $a_{кр}$.

Из (1) и (2) получаем

$$K' = K_B \cdot \frac{100 - 3\sigma_K}{100 - 3\sigma_{50}} \cdot K. \quad (3)$$

Значения K_B (табл. 2) для разных классов напряжения были приближенно определены по данным [6] и [7, 8] (для промежутков стержень — плоскость), сведенных в [9].

Среднее значение коэффициента импульса K_B для воздушных промежутков составляет около 0,76; σ , по данным систематических измерений [10], в области критической крутизны составляет около 8%, $\sigma_{50} = 2 \div 3\%$ по [6]. Положим, $\sigma_{50} = 3\%$. Тогда

$$K' \approx 0,635K. \quad (4)$$

Таким образом, для воздушной (внешней) изоляции могут быть опасными перенапряжения с крутизной, близкой к критической, и с кратностью $K_{оп}$ в интервале $0,635K \div K$, т. е. опасные кратности

$$K_{оп} = (0,817 \pm 0,182)K. \quad (5)$$

Согласно (5) амплитуды опасных перенапряжений определены как

$$U_{оп} = (0,817 \pm 0,182) \cdot K \cdot U_\Phi, \text{ кВ}. \quad (6)$$

Для систем 220 кВ, например,

$$U_{оп} = (0,817 \pm 0,182) \cdot 3 \cdot \frac{220 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot 1,15 (\text{кВ}) = 505 \pm 112 (\text{кВ}).$$

II. Оценка допустимых кратностей K' перенапряжений с критической крутизной для твердой изоляции производилась на основе следующих положений.

а) оценка снижения прочности в области $\alpha_{кр}$ производилась по отношению к уровню прочности при крутизнах импульсного напряжения, соответствующих границе максимальных длительностей коммутационных перенапряжений ($10^{-1} \div 10^{-2}$ кВ/мксек);

б) так как в измерениях использовались образцы из модельных материалов, обуславливающих ввиду неоднородностей повышенный разброс разрядных напряжений, был произведен переход от величины стандартного отклонения, полученной в опыте с модельными диэлектриками, к величине стандартного отклонения характерной для твердой изоляции, используемой в реальных высоковольтных конструкциях.

Известно, что стандартное отклонение разрядных напряжений обычно используемой твердой изоляции (например, компаунды на основе эпоксидных смол) лежит в пределах $4 \div 10\%$. В предположении, что повышенная степень неоднородности использованных образцов привела к повышению разброса примерно в 2 раза, считалось, что стандартное отклонение для реальной твердой изоляции в области критической крутизны составляет около 16% вместо $30-32\%$, согласно [5].

Значение K' , найденное с учетом указанных допущений, составляет $0,75 K$.

Кратность опасных перенапряжений

$$K_{оп} = (0,875 \pm 0,125) K \quad (7)$$

и

$$U_{оп} = (0,875 \pm 0,125) K \cdot U_{ф}, \text{ кВ.} \quad (8)$$

III. Допустимая кратность перенапряжений с критической крутизной для жидкой изоляции определена грубой оценкой по данным [3] и составляет около $0,8 K$.

Соответственно имеем

$$U_{оп} = (0,9 \pm 0,1) K \cdot U_{ф}, \text{ кВ.} \quad (9)$$

В табл. 3 представлены значения уровней опасных перенапряжений для изоляционных конструкций высших классов напряжения в различных изолирующих средах.

Таблица 3

Приближенные значения опасных уровней внутренних перенапряжений для конструкций высших классов напряжения в различных изолирующих средах

Класс напряжения	Воздушная изоляция	Твердая изоляция	Жидкая изоляция
	$U_{оп} (\pm 22,3\%)$	$U_{оп} (\pm 14,3\%)$	$U_{оп} (\pm 11\%)$
кВ	кВ	кВ	кВ
110	252	270	278
220	505	543	556
330	682	731	752
500	956	1023	1053
750	1200	1288	1323

Согласно данным табл. 3, по соотношениям, полученным в [1], определены длительности фронта и частоты колебаний (пульсаций) перенапряжений с критическими крутизнами (табл. 4).

Как следует из табл. 4, интервалы опасных длительностей фронта для воздушной, твердой и жидкой изоляции лежат в пределах $38,3 \div 182$ мксек, $9 \div 43,2$ мксек и $1,8 \div 8,4$ мксек. Соответственно опасные

Таблица 4

Класс напря- жения	Параметры перенапряжений с опасными кратностями и критической крутизной								
	Воздушная изоляция			Твердая изоляция			Жидкая изоляция		
	$\tau_{\phi}(\pm 22,3\%)$	$f_{\cos}(\pm 22,3\%)$	$f_{\sin}(\pm 22,3\%)$	$\tau_{\phi}(\pm 14,3\%)$	$f_{\cos}(\pm 14,3\%)$	$f_{\sin}(\pm 14,3\%)$	$\tau_{\phi}(\pm 11\%)$	$f_{\cos}(\pm 11\%)$	$f_{\sin}(\pm 11\%)$
<i>кв</i>	<i>мксек</i>	<i>кГц</i>	<i>кГц</i>	<i>мксек</i>	<i>кГц</i>	<i>кГц</i>	<i>мксек</i>	<i>кГц</i>	<i>кГц</i>
110	38,3	9,5	5,88	9,06	39	24,7	1,75	198	125
220	76,6	4,63	2,94	18,12	19,5	12,35	3,52	99	63
330	103,2	3,42	2,18	(24,5)	(14,48)	(9,15)	4,77	73,5	46,8
500	145	2,44	1,55	(34,4)	(10,3)	(6,53)	6,68	52,4	33,3
750	182,0	1,95	1,24	(43,15)	(8,2)	(5,2)	8,38	41,7	26,5

частоты заключены в пределах $9,25 \div 1,24$ кГц, $39 \div 5,2$ кГц и $198 \div 26,5$ кГц.

Установленные частоты относятся к области возможных частот колебаний коммутационных перенапряжений и, следовательно, есть основания полагать, что высоковольтная изоляция в области высоких и средних частот перенапряжений имеет пониженную надежность работы.

В табл. 4 указаны значения τ_{ϕ} и f , при которых ожидаются наиболее низкие пробивные градиенты. Пониженные пробивные градиенты следует ожидать и при других крутизнах, близких к критической. Для воздушной изоляции опасные крутизны определяются интервалом $\sim 20-1$ кВ/мксек, что для изоляции класса 220 кВ, например, соответствует интервалу опасных длительностей фронта $\sim 13-260$ мксек и интервалу опасных частот $\sim 14-0,4$ кГц.

Аналогичную оценку интервалов опасных параметров возможно произвести также для твердой и жидкой изоляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Каляцкий, В. Ф. Панин. О методе определения параметров наиболее опасных для изоляции импульсных перенапряжений, (настоящий сборник).
2. А. А. Акопян, А. В. Панов, В. В. Шманович, А. И. Ярошенко. ВЭП, № 2, 1962.
3. В. Ф. Панин. Изв. ТПИ, т. 139, 1965.
4. А. А. Воробьев, И. И. Каляцкий, В. Ф. Панин. Изв. ТПИ, т. 152, 1960.
5. В. Ф. Панин. Изв. ТПИ, т. 159 (в печати).
6. Г. Н. Александров, В. Е. Кизеветтер, В. М. Русакова, А. Н. Тушнов. Электричество, № 5, 1962.
7. И. С. Стекольников, Е. Н. Браго, Э. М. Базелян. ЖТФ, 32, вып. 8, 1962.
8. Н. Takeshita, Y. Miyake, T. Oikawa, Y. Kamata. Hitachi Rev., 11, № 5, 1962.
9. Под ред. В. С. Комелькова. «Разрядные напряжения длинных воздушных промежутков и изоляторов», 1961—1963. АН СССР, ИНИ, М., 1964.
10. Э. М. Базелян. Диссертация, М., 1964.