

УДК 621.316.001.57

## АНАЛИЗ ТЕОРИЙ ОЦЕНКИ УРОВНЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДУГОВЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

Мамончик А.Н.

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) в распределительных сетях 6–10 кВ – преобладающий вид повреждений и составляют более 75 % от общего числа повреждений. ОЗЗ представляют значительную опасность для людей, установок и сетей. Токи замыкания на землю разрушают изоляцию сетей и электрооборудования. При дуговых замыканиях на землю (ОДЗ) возникают перенапряжения, которые могут быть причиной разноместных повреждений изоляции и двойных замыканий на землю.

Перенапряжениям при дуговых замыканиях на землю посвящено большое количество работ. Основоположителем теории перенапряжений был Петерсен, который в 1916 г. объяснил физическую сущность процесса возникновения перенапряжений. Петерс и Слепян в 1923 г. предложили теорию перенапряжений, отличную от теории Петерсена. В 1957 г. Беляков Н.Н. предложил теорию возникновения перенапряжений при дуговых замыканиях на землю, которая занимает промежуточное положение между теориями Петерсена и Петерса и Слепяна [1].

Сущность этих теорий и механизмы развития перенапряжений кратко состоят в следующем.

По теории Петерсена:

1. Горение дуги продолжается полпериода свободных колебаний.

2. Значения угловой частоты свободных колебаний при горении дуги

$$\omega_k = 1/\sqrt{3LC}$$

( $C$  – емкость фазы относительно земли,  $L$  – индуктивность рассеивания питающих трансформаторов).

3. При первом прохождении тока колебаний через нуль дуга погасает.

4. Значение частоты при восстановлении  $\omega_v = 1/\sqrt{LC}$ .

5. Повторное зажигание дуги наступает через полпериода промышленной частоты при максимальном напряжении на поврежденной фазе.

6. Время горения дуги при каждом повторном зажигании равно полупериоду свободных колебаний.

7. После каждого гашения дуги возрастает напряжение смещения нейтрали.

8. Восстановление напряжения на поврежденной фазе имеет колебательный характер с пиком, превышающим величину фазного напряжения.

9. Диэлектрическая прочность места повреждения нарастает быстрее, чем величина восстанавливающегося напряжения.

10. С учетом ограничивающего влияния междуфазных емкостей и затухания колебаний уровни перенапряжения достигают  $U_{\max} = 3,6U_{\phi}$ .

По теории Петерса и Слепяна:

1. Горение дуги продолжается до перехода через нуль тока промышленной частоты.

2. Гашение дуги происходит без переходного процесса, т. е. отсутствуют пики восстанавливающегося напряжения.

3. После каждого гашения дуги напряжение смещения нейтрали остается постоянным и равным  $U_{\phi}$ .

4. Повторные зажигания дуги происходят регулярно через каждый период при максимальном напряжении на поврежденной фазе.

5. Длительность горения дуги при каждом повторном зажигании равна полупериоду промышленной частоты.

6. Восстановление напряжения на поврежденной фазе после гашения дуги происходит плавно с промышленной частотой.

7. Перенапряжения на здоровых фазах не превышают значений  $(3-3,1)U_{\phi}$ .

По теории Белякова:

1. Гашение дуги происходит при каждом прохождении тока через нуль.

2. Повторное зажигание дуги происходит через малую долю периода собственных колебаний при малых напряжениях восстановления ( $U_{кр} = 0,37U_{\phi}$  для сети 6 кВ и  $U_{кр} = 0,22U_{\phi}$  для сети 10 кВ).

3. Гашение дуги на длительное время имеет место в тех случаях, когда высокочастотный максимум восстанавливающегося напряжения достаточно мал и становится меньше величины диэлектрической прочности изоляции, приобретаемой местом повреждения за время восстановления.

4. Максимально возможные перенапряжения с учетом затухания и междуфазных емкостей равны  $3,2U_{\phi}$ .

При оценке перенапряжений учитывают наиболее очевидные параметры: емкости фаз относительно земли  $C$ ; емкости между фазами  $C_m$ ; индуктивности рассеивания питающих трансформаторов  $L$ ; активные сопротивления изоляции сети  $R_{и}$  и др.

В работах [2, 3, 4] исследовано влияние сопротивления цепи замыкания на землю на переходные процессы при ОЗЗ. Наибольшая вероятность возникновения ОЗЗ с переходным сопротивлением 0–200 Ом. В [5] производилось экспериментальное измерение сопротивления каналов дуги при пробое или перекрытии изоляции.

Указанный фактор определяет уровни перенапряжений при перемежающейся дуге. Сопротивление в цепи ОЗЗ обуславливает затухание амплитуд токов и напряжений поврежденной и неповрежденных фаз.

По результатам регистрации в действующих сетях [6, 7] уровни перенапряжений при ОЗЗ в отдельных случаях достигают значений, превышающих четырехкратную величину. В сетях с малыми токами замыкания, которые обладают большим количеством самоустраняющихся ОЗЗ, перенапряжения оказываются выше, чем в сетях с большими токами [8]. Наряду с этим в сетях напряжением 6–10 кВ достаточно часто наблюдаются случаи, когда заземляющая дуга горит устойчиво при токах замыкания на землю менее 5 А. Высокие уровни перенапряжений при ОДЗ вызваны повторными зажиганиями дуги.

Выводы:

1. Исходя из факта, что время перехода от токов замыкания к токам пробоя составляет микросекунды, перемежающуюся дугу можно рассматривать как коммутатор, замыкающий поврежденную фазу на землю через сопротивление, величина которого равна установившемуся значению сопротивления цепи замыкания на землю.

2. При ОЗЗ в цепи замыкания на землю величина сопротивления цепи изменяется в широких пределах.

#### Литература

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. – М.: Энергия, 1971. – 152 с.

2. Толмачов С.Т., Барановська М.Л. Моделювання процесів дугових замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю // Вісник ВПІ. – 1997. – № 4. – С. 36–40.
3. Барановская М.Л. Влияние сопротивления цепи замыкания на землю на характер и уровни перенапряжений при однофазных замыканиях // Разработка рудных месторождений. – 1998. – № 63. – С. 31–37.
4. Барановська М.Л. До теорії перенапруг під час дугових замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю // Вісник ВПІ. – 1999. – № 1. – С. 45–49.
5. Щуцкий В.И., Жидков В.О., Ильин Ю.Н. Защитное шунтирование однофазных поврежденных электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 152 с.
6. Самойлович И.С. К оценке переходных сопротивлений при однофазных замыканиях на землю в сетях 6–10 кВ // Проблемы технической электродинамики. – 1972. – вып. 37.
7. Самойлович И.С. Защита от перенапряжений электроустановок открытых горных работ. – М.: Недра, 1992. – 128 с.
8. Зархи И.М., Мешков В.Н., Халилов Ф.Х. Внутренние перенапряжения в сетях 6–35 кВ. – Л.: Наука, 1986. – 128 с.