

УДК 621.316.57.015.38

Перенапряжения при автоматическом повторном включении

Савошинский А.М.

Научный руководитель – ст. препод. МЫШКОВЕЦ Е.В.

Большинство замыканий на воздушных линиях электропередачи носит дуговой характер и для их устранения широко применяют автоматическое повторное включение (АПВ). Рассмотрим переходной процесс на примере схемы рис.1



Рисунок 1 – Схема ЛЭП, оснащенной АПВ

Из-за разброса времени действия выключатели B_1 и B_2 отключают и включают линию неодновременно. Допустим, что выключатель B_1 последним отключает линию и первым ее включает. После выключения линии выключателем B_1 заряд в поврежденной фазе стекает на землю через дугу, а на здоровых фазах напряжение выравнивается и, если нет реакторов поперечной компенсации или трансформаторов напряжения, подключенных к линии, то заряд медленно стекает на землю через активную проводимость изоляторов. Учитывая зависимость от состояния изоляторов, влажности воздуха и длительности бестоковой паузы перед повторным включением на здоровых фазах может оставаться от 50 до 70 % первоначального заряда. Наибольшие перенапряжения возникают при повторном включении разомкнутой линии выключателем B_1 . Величина перенапряжений зависит от значения оставшегося напряжения на здоровых фазах и от угла включения.

Величина перенапряжений может быть выражена формулами простого колебательного контура с учетом напряжения U_0 , оставшегося на линии:

$$U(t) = U_{mвк} \cdot [\sin(\omega t + \varphi) - \sqrt{(\sin \varphi + \frac{U_0}{U_{mвк}})^2 + (\frac{\omega}{\omega_1} \cdot \cos \varphi)^2} \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega_1 t - \varphi_1)],$$

где $U_{mвк}$ – амплитуда колебаний вынужденной составляющей напряжения,

$$U_{mвк} = E_m \cdot \frac{\omega_1^2}{\omega_1^2 - \omega^2};$$

ω_1 -всякая иная угловая частота отличная от синхронной частоты.

φ_1 -угол сдвига между током и напряжением и определяется как:

$$\varphi_1 = \arctg\left(\frac{\omega_1}{\omega} \cdot \frac{\sin \varphi + \frac{U}{U_{mвк}}}{\cos \varphi}\right)$$

Для коротких линий максимальные значения перенапряжений бывают определены по следующим простым формулам:

при успешном АПВ: $U_{max} = U_{mвк} \cdot [1 + (1 + k_q \cdot k_3) \cdot e^{-0.5\delta T_1}]$

при неуспешном АПВ: $U_{max} = k_3 \cdot U_{mвк} \cdot [1 + (1 + k_q) \cdot e^{-0.5\delta T_1}]$,

K_3 – коэффициент повышения напряжения при однофазном коротком замыкании; K_q – коэффициент, учитывающий количество заряда, оставшегося на здоровых фазах; T_1 – период свободных колебаний.

В сухую погоду средние значения K_q равны 0,7 для $Dt= 0,2$ с (Dt – безтоковая пауза), 0,6 для 0,4 с и 0,5 для 1 с.

Максимальные перенапряжения при АПВ возникают, когда мгновенное значение напряжения источника имеет противоположную полярность по отношению к полярности заряда, остающегося на неповрежденных фазах.

В случае если на линии включены реакторы поперечной компенсации, время затухания колебаний может достигать нескольких секунд, что не обеспечивает отсутствия остаточного заряда на линии к моменту повторного включения. Вместе с тем, из-за наличия электромагнитной связи между фазами и небольшой разницы между частотами колебаний разных фаз разность потенциалов между контактами выключателя изменяется в виде биений с частотой в несколько Герц. Это приводит к дополнительному повышению U_0 в отдельные моменты времени, а также на значительной части биений возможно появление высоких значений $K_{уд}$, достигающих 2,5.

При наличии на включаемой линии во время паузы АПВ подключенного измерительного электромагнитного трансформатора напряжения или силового трансформатора процесс идет иначе. Во время паузы АПВ U_0 изменяется незначительно и обмотки трансформаторов выступают как активные сопротивления (примерно 25 Ом на 1 кВ) и способствуют быстрому разряду линии (0,1-0,15 с для трансформаторов напряжения и 0,2-0,3 с для силовых трансформаторов).

Особенно неблагоприятными являются АПВ на устойчивое короткое замыкание неустраненного действием АПВ. При этих коммутациях кратности перенапряжений дополнительно увеличиваются за счет повышения установившейся составляющей напряжения, вызванного протеканием в сети несимметричного тока короткого замыкания. При этом доля таких неуспешных АПВ в общем количестве автоматических включений линий в сетях 110-500 кВ составляет около 20 %, в связи с этим несмотря на повышенные значения перенапряжений, эти коммутации слабо влияют на статистические характеристики суммарного потока перенапряжений, воздействующего на изоляцию линий.

При трехфазной коммутации разброс моментов включения фаз выключателя может привести к дополнительному повышению перенапряжений (на 5-10 %) на запаздывающих фазах. В отличие от плановых включений линий, которые производятся в заранее подготовленных условиях, АПВ в большинстве случаев приводит к перенапряжениям, превышающим уровень изоляции оборудования 330 кВ и выше.

Для защиты от перенапряжений, возникающих при АПВ, применяется следующее: меры ограничения вынужденной составляющей напряжения, шунтирующие сопротивления в выключателях, синхронное включение линии, вентильные разрядники и ОПН, вынос на линию электромагнитных измерительных трансформаторов напряжения. В ряде случаев снижению данных перенапряжений способствует переход с трехфазного на однофазное АПВ.

Литература

1. Студенческий интернет портал «АрхивИнфо» [Электронный ресурс]–Москва, 2015. –Режим доступа: <http://arhivinfo.ru/2-63616.html>.