

УДК 621.316.9.015.3

АКИМОВ А.И., к.т.н., доцент,
 АКИМОВА Ю.А., к.т.н., доцент,
 СВИРИДОВ Н.И., магистрант (УкрГАЖТ)

Аналитическое определение выделяемых в ОПН энергий при грозовых перенапряжениях

Рассмотрен вопрос определения выделяемых в ограничителях перенапряжений (ОПН) энергий при воздействии грозовых перенапряжений на основе расчетной схемы, составленной по правилу эквивалентной волны. Получено выражение, позволяющее определить энергию, выделяемую в ОПН, при однократном воздействии на него грозового импульса.

Ключевые слова: перенапряжение, грозозащита, нелинейный ограничитель напряжения, воздушная линия, энергия.

Постановка проблемы

На изоляцию линий электрических сетей и электрооборудование воздействуют грозовые перенапряжения. При этом не во всех узлах электроснабжения электрифицированных железных дорог предусмотрены системы защиты от них, а имеющиеся – не отвечают требованиям надежности разных потребителей. Это связано с ограниченной пропускной способностью как вентильных разрядников, так и наиболее часто используемых в последнее время для защиты воздушных линий и электрооборудования подстанций от грозовых перенапряжений – ограничителей перенапряжений.

Поэтому актуальным является определение энергетических нагрузок на них, что позволит сформулировать требования к их техническим характеристикам и снизить вероятность их повреждения, т.е., в конечном итоге, повысить надежность электроснабжения в целом.

Анализ последних достижений и публикаций

Вопросам защиты от перенапряжений в электрических сетях посвящено достаточно публикаций [1-9]. Их детальный анализ приведен в [10,11]. В [10] обоснована замена вентильных разрядников на ОПН, в [11] – рассмотрены вопросы мест установки ОПН в электрической сети. Энергетические же нагрузки на ОПН при действии грозовых перенапряжений вообще не рассматривались.

Цель статьи – аналитическое определение энергетических характеристик ОПН при воздействии грозовых перенапряжений.

Основная часть

Выделяемая в ОПН энергия может быть определена из выражения

$$W_{\text{ОПН}} = \int_0^t u_{\text{ОПН}}(t) i_{\text{ОПН}}(t) dt \quad (1)$$

где $u_{\text{ОПН}}(t)$ – оставшееся напряжение на ОПН при действии грозового импульса;

$i_{\text{ОПН}}(t)$ – импульсный ток в ОПН.

Для определения импульсного тока в ОПН составим эквивалентную схему. Пусть на подстанцию по воздушной линии (ВЛ) с волновым сопротивлением $Z_{\text{ВЛ}}$ набегают грозовая волна $u_{\text{гр}}(t)$, которая действием ОПН будет ограничена до уровня $u_{\text{ОПН}}(t)$. В этом случае расчетная схема для определения импульсного тока $i_{\text{ОПН}}(t)$ в ОПН, составленная по правилу эквивалентной волны, будет иметь вид, приведенный на рис. 1.

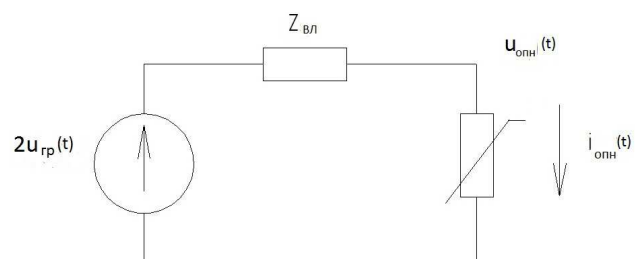


Рис. 1. Эквивалентная схема для определения тока в ОПН

Из схемы рис. 1. можно записать

$$i_{\text{ОПН}}(t) = \frac{2u_{\text{гр}}(t) - u_{\text{ОПН}}(t)}{Z_{\text{ВЛ}}} \quad (2)$$

При воздействии токов молнии остающееся напряжение на ОПН практически не изменяется из-за высокой нелинейности варисторов. Поэтому будем считать его неизменным и равным по величине $U_{ост}$.

Тогда выражение (2) примет вид

$$i_{опн}(t) = \frac{2u_{гп}(t) - U_{ост}}{Z_{вл}} \quad (3)$$

Как известно, временными характеристиками волн перенапряжений являются длительности фронта волны и самой волны. Поскольку длительности волн подавляющего числа грозовых перенапряжений существенно превосходят длительности их фронтов, то можно считать основной временной характеристикой волны грозового перенапряжения только длительность волны.

Аналитически волна набегающих на подстанцию грозовых перенапряжений $u_{гп}(t)$ с амплитудой U_{max} может быть записана в следующем виде:

$$u_{гп}(t) = U_{max} \exp(-t/\tau), \quad (4)$$

где τ – постоянная времени волны.

Для стандартной волны ее длительность определяется при $\frac{u_{гп}(t)}{U_{max}} = 0,5$. Обозначив для этого случая $t = t_{0,5}$, выражение (4) можно записать в виде

$$\frac{u_{гп}(t)}{U_{max}} = \exp(-t_{0,5}/\tau) \quad (5)$$

$$W_{опн} = \int_0^{t_{ост}} U_{ост} i_{опн}(t) dt = \frac{U_{ост}}{Z_{вл}} \int_0^{t_{ост}} [2U_{max} \exp(-\frac{t}{\tau}) - U_{ост}] dt. \quad (11)$$

Преобразуем далее к виду

$$W_{опн} = \frac{U_{ост}^2}{Z_{вл}} \int_0^{t_{ост}} [2 \frac{U_{max}}{U_{ост}} \exp(-\frac{t}{\tau}) - \frac{U_{ост}}{U_{ост}}] dt = \frac{U_{ост}^2}{Z_{вл}} \int_0^{t_{ост}} [2K \exp(-\frac{t}{\tau}) - 1] dt$$

и вычислим интеграл

$$W_{опн} = \frac{U_{ост}^2}{Z_{вл}} \left\{ -2\tau K \left[\exp\left(-\frac{t_{ост}}{\tau}\right) - 1 \right] - t_{ост} \right\}.$$

Используя выражения для τ и $t_{ост}$, после преобразований имеем

$$W_{опн} = \frac{U_{ост}^2}{Z_{вл}} \cdot \frac{t_{0,5}}{\ln 2} [2K - \ln(2K) - 1]. \quad (12)$$

или

$$0,5 = \exp\left(-\frac{t_{0,5}}{\tau}\right). \quad (6)$$

Отсюда можно определить постоянную времени волны

$$\exp\left(\frac{t_{0,5}}{\tau}\right) = 2; \frac{t_{0,5}}{\tau} = \ln 2; \tau = \frac{t_{0,5}}{\ln 2}. \quad (7)$$

Импульсный ток в ОПН будет протекать до тех пор, пока воздействующее напряжение $2u_{гп}(t)$ не станет меньше его остающегося напряжения $U_{ост}$, поэтому длительность $t_{ост}$ протекания тока в ОПН может быть найдена из условия

$$U_{ост} = 2U_{max} \exp\left(-\frac{t_{ост}}{\tau}\right), \quad (8)$$

откуда

$$t_{ост} = \tau \ln\left(\frac{2U_{max}}{U_{ост}}\right). \quad (9)$$

Обозначим $K = \frac{U_{max}}{U_{ост}}$, тогда

$$t_{ост} = \tau \ln 2K. \quad (10)$$

Энергия, поглощенная ОПН, по выражению (1), равна

Таким образом, выделяемая в ОПН энергия прямо пропорциональна длительности грозовой волны, квадрату остающегося напряжения на ОПН и обратно пропорциональна волновому сопротивлению линии.

Выражение (12) позволяет определить энергию, выделяемую в ОПН, при однократном воздействии на него грозового импульса.

Выводы

1. Проанализирована взаимосвязь составляющих, определяющих энергию, выделяющуюся в ОПН при грозовых перенапряжениях.

2. Определено аналитически выражение для расчета энергии, выделяющейся в ОПН при грозовых перенапряжениях. Его использование позволит сформулировать требования к техническим характеристикам ОПН, снизить вероятность их повреждения и, в конечном счете, повысить надежность электроснабжения в целом.

3. Дальнейшие исследования должны быть направлены на определение количественных характеристик энергии, выделяющейся в ОПН при грозовых перенапряжениях.

Литература

1. Базуткин В.В. Перенапряжения в электрических системах и защита от них [Текст] : учеб. для ВУЗов / В.В. Базуткин, К.П. Кадомская, М.В. Костенко, Ю.А. Михайлов. – СПб.: Энергоатомиздат, 1995.- 320 с.
2. Халилов Ф.Х. Исследование технико-экономической обоснованности грозозащиты ВЛ с помощью ОПН [Текст] / Ф.Х. Халилов // Сборник докладов 8-й научной конференции по электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности “ЭМС-2004”. – СПб., 2004. – С.50-56.
3. Егоров В.В. Техника высоких напряжений. Перенапряжения в устройствах электрической тяги. Профилактические испытания изоляции [Текст] / В.В. Егоров. – М.: Маршрут, 2004. – 188 с.
4. Костенко М.В. Перенапряжения и защита от них в воздушных и кабельных электропередачах высокого напряжения [Текст]: учеб. / М.В. Костенко, К.П. Кадомская, М.Л. Левинштейн, И.А. Ефремов – Л.: Наука, 1998. – 302 с.
5. Аронов М.А. Ограничители перенапряжений в электроустановках 6-750 Кв [Текст]: методическое и справочное пособие / М.А. Аронов, О.А. Аношин, О.И. Кондратов, Т.В. Лопухова; под ред. М.А. Аронова. – М. : Знак, 2001.- 240 с.
6. Александров Г.Н. Применение управляемых шунтирующих реакторов и нелинейных ограничителей перенапряжений в электрических сетях высокого напряжения [Текст]: учеб. пособие / Г.Н. Александров, А.И. Афанасьев. – СПб.: ПЭИПК Минатомэнерго РФ, 1993. – 103 с.
7. Кадомская К.П. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них [Текст]: учеб. / К.П. Кадомская, Ю.А. Лавров, А.А. Рейхердт. – Новосибирск: НГТУ, 2004. – 368 с.
8. Делинг А. Атмосферные перенапряжения и риск обнаружения ударов молнии в линии контактной сети [Текст] / А. Делинг, Г. Бизенак, А. Шмидер // Совершенствование схем устройств электроснабжения транспорта и проектирование их конструкций: сб. науч. тр. / Урал. гос. ун-та путей сообщения. – Екатеринбург: ВНИ. 48 (131), 2006. – С. 68-81.
9. Крыжановский В.В. Области рационального использования подвесных ОПН для повышения грозозащиты ВЛ 110 и 220 кВ [Текст] / В.В. Крыжановский, А.Н. Новикова, О.В. Шмараго // Сборник материалов НТК “Научные аспекты и актуальные проблемы разработки, производства, испытаний и применения ОПН”. – СПб.: АООТ “НИИ Электрокерамика”, 2001. – С. 108-113.
10. Акімов О.І. Вибір засобу глибокого обмеження перенапруг в електричних мережах електрифікованих залізниць [Текст] : зб. наук. праць / О.І. Акімов, Д.Л. Сушко. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип 134. – С. 136-140.
11. Акімов О.І. Захист повітряних ліній від грозових перенапруг [Текст]: Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. О.І. Акімов, А.В. Нерубацька. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип 3. – С. 12-15.

Акімов О.І., Акімова Ю.О., Свіридов Н.І. Аналітичне визначення енергій, що виділяються в ОПН при грозових перенапругах. Розглянуте питання визначення енергій, що виділяється в ОПН при дії грозових перенапруг, на підставі розрахункової схеми, яка складена за правилом еквівалентної хвилі. Отриманий вираз, що дозволяє визначити енергію, яка виділяється в ОПН при однократній дії на нього грозового імпульсу.
Ключові слова: перенапруга, грозозахист, нелінійний обмежувач напруг, повітряна лінія, енергія.

Akimov A.I., Akimova Y.A., Sviridov N.I. Analytical determination of energy emitted in overvoltage suppressor (OVS) at lightning overvoltage. The problem of determining the energy emitted in overvoltage suppressor (OVS) under the influence of lightning overvoltage on the basis of the computational scheme compiled according to the equivalent wave rule. An expression that indicates the energy emitted in OVS under a single exposure of lightning impulse has been obtained.
Key words: over-voltage, lightning guard, nonlinear voltage suppressor, air line, energy.

Рецензент д.т.н., професор Гусевский Ю.И. (УкрГАЗТ)

Поступила 28.04.2014г.