

В.Г. ВАРТАЗАРЯН, Г.А. АЙВАЗЯН, Л.С. АКОПЯН, М.М. КАРАПЕТЯН,
С.Е. ТАРОЯН

ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА БАЗЕ ОКСИДНОЦИНКОВЫХ РЕЗИСТОРОВ

Դիտարկված են բարձր ու զմայնության զերպարման ստանդարտավորված զԳՄՄ ապակեթյունները ախտահարված փակվածային սյուրպիլների նկատմամբ: Քննված են բարձր լարման ջանքերու սթեյուրություն և ներքին զերպարումների ստանդարտիստի ժամանակ ԳՄՍ-ների սպառումից զործունեությունը մեղազրուող հիմնական անդադրումները:

Рассмотрены преимущества безыскровых высоколинейных ограничителей перенапряжений (ОПН) по сравнению с традиционными вентильными разрядниками. Приведены основные зависимости, характеризующие защитное действие ОПН при ограничении атмосферных и внутренних перенапряжений в высоковольтных сетях.

Ил. 1. Библиогр. 4 назв.

Advantages of sparkless high-linear overvoltage limiters (OVL) in comparizon with ordinary valve-type dischargers are considered. Main dependences which demonstrate protective characteristics of OVL limiting atmospheric and internal overvoltages taking place in high-voltage networks are given.

Ил. 1. Ref. 4.

Технико-экономические показатели высоковольтных сетей в значительной степени определяются уровнем ограничения возникающих в них перенапряжений. Чем ниже уровень ограничения атмосферных и внутренних перенапряжений, тем выше эксплуатационная надежность дорогостоящего оборудования объектов электроэнергетики. Экономическая эффективность глубокого ограничения перенапряжений стимулирует постоянный поиск путей совершенствования защитных аппаратов, осуществляющих подобное ограничение.

До 80-ых годов в качестве защитных аппаратов в основном применялись традиционные вентильные разрядники [1]. Наиболее распространенные типы этих аппаратов, представляющих собой последовательное включение искрового промежутка (ИП) с карборундовым нелинейным рабочим резистором (РР), обеспечивали ограничение атмосферных перенапряжений до уровней не ниже $(2.5 \dots 2.7) U_{фм}$.

Существенные сдвиги в рассматриваемой области произошли в середине 70-ых годов с появлением оксидноцинковых резисторов (ОЦР), обладающих по сравнению с карборундовыми резисторами на порядок более высокой нелинейностью. Разработанные на базе ОЦР защитные аппараты нового поколения - нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН), сразу же зарекомендовали себя аппаратами, обладающими по сравнению с вентильными разрядниками рядом неоспоримых преимуществ [2]: возможность глубокого ограничения как атмосферных, так и внутренних перенапряжений (на 30-40%

ниже, чем вентильные разрядники), компактность и высокая эксплуатационная надежность, достигаемые благодаря возможности отказа от ИП и непосредственного подключения РР к сети, практическая независимость защитных характеристик от температуры и временных параметров импульсов перенапряжений и т.д. Все эти преимущества ограничителей перенапряжений вынудили ряд ведущих электротехнических фирм мира срочно свернуть производство вентильных разрядников и приступить к массовому внедрению ОПН. Такие страны, как Япония, США, Швеция, Германия, еще в начале 80-х годов осуществляли полное переоснащение своих сетей новейшими ОПН [3].

По инициативе Армянского института высоковольтной техники, одного из первых в СНГ разработчиков и изготовителей ОПН с классом напряжения 6...35 кВ, более 200 комплектов ограничителей устанавливались в отдельных сетях энергосистемы и промышленных объектов Армении и, как свидетельствуют отзывы с мест, проявляют достаточно высокую эффективность по защите силовых кабелей, трансформаторов и высоковольтных двигателей с ослабленной в результате длительной эксплуатации изоляцией. Тем не менее оснащённость высоковольтных сетей РА современными ОПН, способными существенно снизить аварийность и продлить срок службы высоковольтного электрооборудования, продолжает оставаться на крайне низком уровне. Одной из главных причин здесь следует считать недостаточную информированность по данной проблеме соответствующих специалистов электроэнергетики. Настоящая статья ставит своей целью восполнение этого пробела.

Защитное действие ограничивающих перенапряжения аппаратов характеризуется коэффициентом (отношением) $K_{\text{заш}}$:

$$K_{\text{заш}} = U_{\text{н}} / U_{\text{фн}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{н}}$ - защитный уровень, равный так называемому остающемуся напряжению на РР при расчетном импульсном токе определенной длительности и амплитуды I_p ; $U_{\text{фн}}$ - амплитуда фазного значения наибольшего рабочего напряжения сети.

Вольт-амперная характеристика (в.а.х.) нелинейного РР обычно характеризуется зависимостью

$$U = AI^{\alpha}, \quad (2)$$

где α - коэффициент нелинейности; A - коэффициент, зависящий от материала резистора и его размеров.

Из (1) и (2) следует жесткая зависимость $U_{\text{н}}$, а следовательно, и $K_{\text{заш}}$ от α . Характерные для карборундовых резисторов значения α (0,42...0,15) не обеспечивают при определенном I_p достаточно низкие значения $U_{\text{н}}$. При рабочем напряжении резисторы с такой нелинейностью имеют недопустимо высокую проводимость, что и является причиной отделения РР вентильных разрядников от сети искровым промежутком.

ОЦР имеют примерно на порядок более высокую нелинейность ($\alpha=0,06...0,02$). На рисунке приведена в.а.х. ОЦР типа МНР -58-10, выполненного в виде диска диаметром 58 мм и высотой 10 мм. Обычно в.а.х. единичных ОЦР задаются несколькими

нормированными значениями. Для МНР -58-10 одним из этих значений является градиент напряжения $E_k = 2500$ В/см при импульсном токе 8/20 мкс амплитудой $I_k = 500$ А. При расчетах обычно пользуются приведенными к E_k точками в.а.х.

$$K_x = E_x / E_k, \quad (3)$$

где E_x - градиент напряжения при некотором токе I_x .

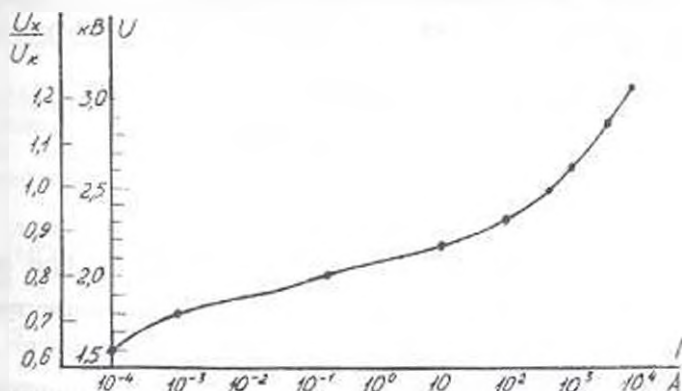


Рис. Вольт-амперная характеристика единичного резистора МНР-58-10

Важным параметром ОЦР является допустимый градиент напряжения промышленной частоты ($E_{доп}$), который определяет допустимые в течение срока службы резистора (20-30 лет) токовые нагрузки в рабочем режиме. Согласно [4] имеем

$$E_{доп} = \beta E_k / \sqrt{2} = \beta E_x / \sqrt{2} K_x, \quad (4)$$

где β - коэффициент, зависящий от величины и длительности приложенного к резистору напряжения промышленной частоты и предварительно поглощенной им энергии перенапряжения (W_{II}).

Из (4) следует, что при определенном E_x можно обеспечить условие

$$\sqrt{2} E_{доп} \geq E_{фм}, \quad (5)$$

дающее возможность непосредственного подключения ОЦР к сети, т.е. осуществления безыскрового защитного аппарата.

По условиям пропускной способности и допустимой энергии рассеивания в конкретном ОПН, поперечное сечение (S) РР может быть отличным от сечения (S_0) единичного ОЦР. В этом случае градиент напряжения E_x на РР при токе I_k определяется из выражения

$$E_{kS} = E_k K_S^{-\alpha}, \quad (6)$$

где $K_S = S/S_0$.

С учетом (6) и (4) для РР с сечением S имеем

$$E_{допS} = \beta E_k / \sqrt{2}. \quad (7)$$

Выражение (7) позволяет определить минимально допустимую высоту РР (H_{pp}):

$$H_{pp} = U_{фм} / \sqrt{2} E_{допS} = U_{фм} / \beta E_k \cdot K_S^a. \quad (8)$$

Следовательно, минимально возможный для ОПН защитный уровень при некотором расчетном токе I_p будет равен

$$U_{py} = E_{pS} \cdot H_{pp} = E_p \cdot U_{фм} / \beta E_k \cdot K_S^a, \quad (9)$$

где $E_{pS} = E_p \cdot K_S^{a-1}$.

Обозначив $E_p / E_k = K_p$, получим

$$U_{py} = U_{фм} \cdot K_p / \beta K_S^a. \quad (10)$$

Отсюда имеем

$$K_{защ} = K_p / \beta K_S^a. \quad (11)$$

Если принять $K_p = 1$, $S = S_0$ ($K_S = 1$) и $\beta = 0.57$ [4], то при амплитуде импульсного тока $I_p = 500$ А (диапазон коммутационных перенапряжений) согласно (11) получим $K_{защ} = 1.75$. При токе $I_p = 5000$ А (диапазон грозовых перенапряжений) согласно рисунку имеем $K_p = 1.17$ и $K_{защ} = 2.05$.

Таким образом, ОПН по сравнению с вентильными разрядниками обеспечивают значительно более глубокое ограничение как грозовых, так и внутренних перенапряжений, что позволяет успешно применять их для защиты оборудования с ослабленной в результате длительной эксплуатации изоляцией, в том числе вращающихся машин. Целенаправленное внедрение ОПН в высоковольтных сетях может стать одним из решающих факторов повышения эксплуатационной надежности и уменьшения затрат на производство и распределение электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишман Д.В., Бронфман А.И., Пружинина В.И., Савельева В.П. Вентильные разрядники высокого напряжения - Л. Энергия, 1971. - С. 3-63.
2. Исследования и области применения ограничителей перенапряжений: Сб. науч. тр. / НИИПТ. - Л.: Энергоиздат, 1981. - 88 с.
3. Редругина М.Н., Якобсон А.В., Тиходеев Н.Н. Применение за рубежом защитных аппаратов нового поколения - ограничителей перенапряжений с металлооксидными резисторами // Энергохозяйство за рубежом. - 1986. - № 6. - С. 22-26.
4. Лаврентьев Г.Г., Пугачев В.К., Шматович В.В. Специальные ограничители перенапряжений для сетей 6-24 кВ с незаземленной нейтралью на базе нелинейных резисторов ВЭИ // Создание комплексов электротехнического оборудования высоковольтной, преобразовательной, силовой и полупроводниковой техники: Тез. докл. науч.-техн. конф. / ВЭИ. - М., 1994. - С. 55-60.