

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников Н.А., Молохия И.М. Возможности сокращения объема информации для определения рабочего режима электрической сети // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1969 - № 1. - С. 143-147.
2. Багданов В.А. Информационная модель электрической сети автоматизированной системы диспетчерского управления // Электричество - 1973. - № 5. - С. 1-7.
3. Гамм А.З. Статические методы оценивания состояния электроэнергетической системы. - М.: Наука, 1976. - 219 с.
4. Clements K.A., Krumpholtz G.R., Dewis P.W. Power system network topology // IEEE Trans. PAS. - 1980. - № 4. - P. 1534-1542.
5. Гамм А.З. Наблюдаемость электроэнергетических систем. - М.: Наука, 1990. - 220 с.
6. Шепилов О.М., Павлюк В.А. Применение модели установившегося режима для решения задачи оценивания состояния // Изв. вузов. Энергетика. - 1992. - № 9, 10. - С. 34-36.
7. Гамм А.З., Колосон Н.Н. Применение модели установившегося режима для решения задачи состояния // Изв. вузов. Энергетика. - 1994. - № 11, 12. - С. 49-50.
8. Аракелян В.П., Хачатрян К.В., Ислам Х. Определение режимных параметров наблюдаемой части электроэнергетической системы // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т. 50, № 1. - С. 24-29.

ГИУА

06.08.1998

Изв. НАН и ГИУА Армении (сер. ТН), т. 1, № 2, 1998, с. 184-189.

УДК 621.316.933

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

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

АППАРАТЫ СВЕРХГЛУБОКОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Քերպած են գերարտաների գերթալի ապահովագրող սարքավորումների ստեղծման հիմնական սկզբունքները: Պատկերված են ոչ գծային ռեզիստորներով և գծային օմի ունակային էլեմենտների կոմբինացիայով կազմակերպված սխեմաները:

Приведены принципы исполнения аппаратов сверхглубокого ограничения перенапряжений. Рассмотрены схемы, предусматривающие сочетание нелинейных резисторов с комбинацией линейных емкостно-омических элементов, шунтированных искровым промежутком.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

Design principles of equipments for thorough limitation of overvoltages and diagrams with nonlinear resistors where linear capacitance-ohmic elements shunted by a spark gap are considered.

Ил. 2. Ref. 3.

Глубина ограничения перенапряжений в высоковольтных сетях, осуществляемая защитными аппаратами - разрядниками или ограничителями перенапряжений, характеризуется защитным коэффициентом

$$K_1 = U_{iv} / U_{фн} \quad (1)$$

где U_{iv} - защитный уровень аппарата, равный наибольшему значению напряжения на его выводах при протекании импульсного (коммутационного или грозового) тока нормированной амплитуды; $U_{фн}$ - амплитуда фазного значения наибольшего рабочего напряжения сети.

Современные защитные аппараты - безыскровые ограничители перенапряжений (ОПН), представляющие собой включенную между фазой и землей колонку из определенного количества дисков высоконелинейных оксидно-цинковых резисторов (ОЦР) [1], обеспечивают ограничение перенапряжений, например, коммутационных, до уровней $U_{ог} \geq (1,75 \dots 1,8) U_{фн}$ [2].

Однако низкий уровень электрической прочности ослабленной в результате длительной эксплуатации изоляции силовых кабелей, высоковольтных генераторов, двигателей и другого оборудования в ряде случаев не координируется даже с защитными характеристиками обеспечивающих достаточно глубокое ограничение ОПН и является причиной высокой аварийности. Решение проблемы в ряде случаев возможно путем осуществления сверхглубокого ограничения перенапряжений. Создание сравнительно недорогих и надежных аппаратов сверхглубокого ограничения перенапряжений (АСОП) с $U_{зг} = (1,5 \dots 1,6) U_{фн}$ позволит ощутимо продлить срок службы ослабленной изоляции, замедлить процессы старения нормальной изоляции, а также решить актуальные вопросы грозозащиты вращающихся машин.

Как известно, одним из направлений в вопросе создания защитных аппаратов с $U_{зг} < 1,8 U_{фн}$ является техническое решение, предусматривающее применение в схеме ОПН искрового промежутка (ИП), шунтирующего часть колонки ОЦР. Однако практическому осуществлению этого решения препятствует необходимость применения ИП с весьма малым разбросом пробивных напряжений. В АИВТ "Кайцак" разрабатывается аппарат сверхглубокого ограничения перенапряжений, в котором в шунтированной ИП части вместо ОЦР предусмотрено применение линейного емкостного или емкостно-омического элемента [3], притом в тех соотношениях параметров, при которых возможно создание наиболее благоприятных условий для работы ИП.

Схемы возможных вариантов выполнения АСОП (рис.1) представляют собой последовательное соединение двух блоков: блока нелинейных резисторов (БН), обеспечивающего заданный уровень ограничения $U_{зг}$, и блока линейных элементов, шунтированных искровыми промежутками (БЛ). Схема рис. 1а является обобщенной, ибо включает в БЛ одну из наиболее полных комбинаций емкостно-омических элементов, а также предусматривает двухступенчатое исполнение ИП, позволяющее при необходимости использовать одну

из ступеней в качестве поджигающего (задающего). На практике, однако, в зависимости от условий работы АСОП и степени сложности предъявляемых к нему требований предпочтение может быть отдано приведенным на рис. 1б,в,г более простым схемам, трансформируемым из схемы рис.1а путем исключения того или иного элемента.

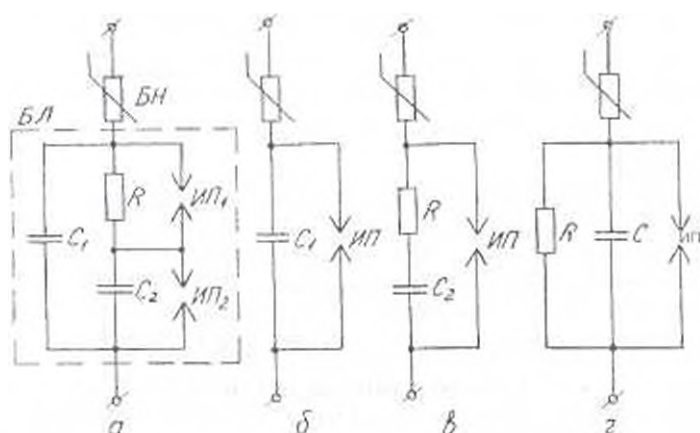


Рис. 1. Возможные схемы выполнения АСОП

Согласно приведенным на рис.1 схемам, в нормальном рабочем режиме имеем

$$U_{\phi} = U_{РБН} + U_{РБЛ}, \quad (2)$$

где $U_{РБН}$ и $U_{РБЛ}$ - доли рабочего напряжения на БН и БЛ соответственно.

Параметры линейных элементов в БЛ должны обеспечить в этом режиме условие $U_{РБЛ} \leq U_n$, где U_n - наибольшее длительно допустимое напряжение промышленной частоты на ОЦР в БН. В свою очередь, U_n зависит от характеристик конкретного типа ОЦР и заданного $U_{\text{вх}}$.

Как известно, вольт-амперная характеристика (в.а.х.) ОЦР аппроксимируется выражением

$$U = A I^{\alpha}, \quad (3)$$

где A - коэффициент, равный напряжению U при токе $I = 1 \text{ А}$, а α - коэффициент нелинейности.

Обычно в.а.х. единичных дисков ОЦР того или иного типа характеризуются определенным значением напряжения U_k при нормированном токе I_k . Например, для ОЦР типа МНР-58-10 $U_k = 2500 \text{ В}$ при импульсе тока 8/20 мкс амплитудой $I_k = 500 \text{ А}$. Остальные точки в.а.х. даются в долях к U_k и находятся при помощи пересчетного коэффициента

$$K_p = U_{\text{оп}} / U_k, \quad (4)$$

где $U_{\text{оп}}$ - напряжение на единичном ОЦР при токе I_k .

Наибольшее допустимое рабочее напряжение на единичном ОЦР $U_{\text{ед}}$ также выражается через U_k .

Для ОЦР типа МНР-58-10 имеем [1]

$$U_{\text{ед}} = \beta U_k / \sqrt{2}, \quad (5)$$

где β - коэффициент, зависящий от длительности t_r приложения к резистору рабочего напряжения. Для МНР-58-10 при неограниченной t_r $\beta = 0.57$.

Таким образом, если БН в схемах рис. 1 должен обеспечить некоторое $U_{\text{н}} = U_{\text{нр}}$ при токе I_r , то количество последовательных единичных ОЦР в БН с учетом (4) определится из отношения

$$n_1 = U_{\text{н}} / U_{\text{ед}} = U_{\text{н}} / K_r U_k. \quad (6)$$

Это количество ОЦР в рабочем режиме согласно (5) длительно может выдержать напряжение

$$U_d = n_1 U_{\text{ед}} = \beta U_k / \sqrt{2}. \quad (7)$$

Из (6) и (7) и условия $U_{\text{рбн}} \leq U_d$ имеем

$$U_{\text{рбн}} = U_{\text{н}} \beta / K_r \sqrt{2} \quad \text{или} \quad \sqrt{2} U_{\text{рбн}} = U_{\text{н}} \beta / K_r. \quad (8)$$

Разделив обе части равенства (8) на $U_{\text{фм}}$ и учитывая (1), получим

$$\sqrt{2} U_{\text{рбн}} / U_{\text{фм}} = U_{\text{н}} \beta / U_{\text{фм}} K_r. \quad (9)$$

Здесь отношение $\sqrt{2} U_{\text{рбн}} / U_{\text{фм}}$ - приходящаяся на БН допустимая доля приложенного к АСОП в рабочем режиме напряжения. Обозначив это отношение через η_d и учитывая (1), получим

$$\eta_d = K_r \beta / K_r. \quad (10)$$

Зная η_d при заданном K_r и собственную емкость колонки ОЦР в БН ($C_{\text{бн}} = C_0 / n_1$, где C_0 - емкость единичного ОЦР), можно приступить к выводу основных зависимостей, позволяющих определить параметры линейных элементов БЛ.

Приведена в.а.х. единичного ОЦР типа МНР-58-10 (кривая 1) в диапазоне токов, характерных для рабочего режима и квазистационарных перенапряжений (рис. 2). Напряжения отложены по оси ординат в отношении $U_0 / \sqrt{2} U_{\text{ед}}$, что позволяет рассматривать это отношение как $U_{\text{нн}} / U_k$. Поскольку в указанных диапазонах в.а.х. ОЦР определяются при постоянном токе, то очевидно, что кривая 1 характеризует практически омическую проводимость ОЦР. В тех же координатах приведена расчетная кривая 2, полученная с учетом только емкостной проводимости ОЦР K_0 , где $C_0 = 1800 \text{ пФ}$ - средняя емкость единичного МНР-58-10.

Как видно из рис. 2, при $U_{\text{нн}} = U_k$ (нормальный рабочий режим АСОП) емкостной ток I_k более чем на порядок больше активной составляющей I_a . Существенное превалирование I_k прослеживается вплоть до $U_{\text{нн}} = 1.2 U_k$, т.е. даже в зоне

квазистационарных перенапряжений ОЦР функционирует как емкость. Это позволяет рассматривать БН как емкостное сопротивление $x_{\text{БН}} = 1/\omega C_{\text{БН}}$.

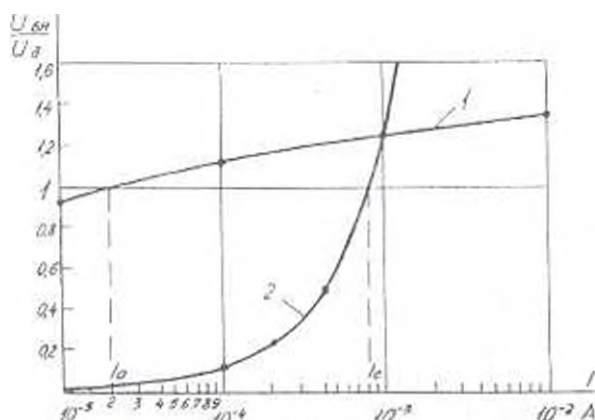


Рис. 2 Вольт-амперная характеристика единичного резистора МНР-58-10

Таким образом, для схемы рис. 1а имеем

$$U_{\text{БН}} = U_{\Phi} \frac{-jx_{\text{БН}}}{-jx_{\text{БН}} + \frac{(R - jx_2)(-jx_1)}{(R - jx_2) + (-jx_1)}} = \\ = U_{\Phi} \frac{x_{\text{БН}}(x_1 + x_2) + jx_{\text{БН}}R}{x_{\text{БН}}(x_1 + x_2) + x_1x_2 + jR(x_{\text{БН}} + x_1)},$$

где $x_1 = 1/\omega C_1$ и $x_2 = 1/\omega C_2$.

Перейдя от изображений к оригиналам, получим

$$\frac{U_{\text{БН}}}{U_{\Phi}} = \frac{x_{\text{БН}} \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + R^2}}{\sqrt{[x_{\text{БН}}(x_1 + x_2) + x_1x_2]^2 + R^2(x_{\text{БН}} + x_1)^2}} = \eta_a. \quad (11)$$

Приняв обозначения $x_1/R = m$ и $x_2/R = n$, преобразуем (11) в квадратное уравнение относительно R (или x_1):

$$m^2(n^2 + 1)R^2 + 2x_{\text{БН}}m(n^2 + mn + 1)R + x_{\text{БН}}^2[(m + n)^2 + 1] \left(1 - \frac{1}{\eta_a^2}\right) = 0$$

Положительный корень этого уравнения есть искомое R :

$$R = \frac{x_{\text{БН}} \sqrt{(n^2 + 1)[(m + n)^2 + 1] \frac{1}{\eta_a^2} - m^2 - (n^2 + mn + 1)}}{m(n^2 + 1)}. \quad (12)$$

Аналогично, для x_2 имеем

$$x_1 = \frac{x_{\text{БН}} \sqrt{(n^2 + 1)[(m + n)^2 + 1] \frac{1}{\eta_a^2} - m^2 - (n^2 + mn + 1)}}{n^2 + 1}, \text{ а } x_2 = R_n. \quad (13)$$

Отсюда $C_1 = 1/\omega x_1$ и $C_2 = 1/\omega x_2$.

Выражение для C_1 в схеме рис.1б получим из (13), приняв $x_2 = 0$ ($n=0$) и $R = \infty$ ($m=0$):

$$x_1 = x_{BH} (1 - \eta_d) / \eta_d \text{ и } C_1 = C_{BH} \eta / (1 - \eta).$$

Схема рис.1в получается из схемы рис.1а, если принять $x_2 = \infty$ ($m = \infty$). Подставив $m = \infty$ в (12) и уйдя от неопределенности, получим для R в схеме рис.1в:

$$R = \frac{x_{BH}}{n^2 + 1} \left(\frac{\sqrt{n^2 + 1 - \eta_d^2}}{\eta_d} - n \right).$$

Для C_2 имеем: $C_2 = 1/\omega n R$.

Выражения для C_1 и R в схеме рис.1г получим из (13),

приняв $x_2 = 0$ ($n=0$): $x_1 = x_{BH} \left(\sqrt{\frac{1+m^2}{\eta_d^2}} - m^2 - 1 \right)$, откуда имеем:

$$C_1 = 1/\omega x_1 \text{ и } R = x_1/m = 1/\omega m C_1.$$

Приведенные выше выражения дают возможность в каждом конкретном случае осуществить выбор оптимального варианта схемы БЛ и таких соотношений параметров ее линейных элементов, которые обеспечат наиболее благоприятные режимы срабатываний ИП при коммутационных и грозовых перенапряжениях. Возможность обеспечения исходного условия в схемах рис.1а,в,г при практически неограниченном сочетании значений R и C позволяет широко варьировать их частотными характеристиками для выполнения тех или иных специфических требований к АСОП, например, осуществление ограничения грозовых волн до уровней ниже $1,8 U_{фм}$ при одновременной отстройке ИП от коммутационных перенапряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. НТК ВЭИ, - М., 1994. - С.55-60.
2. ГОСТ 27633-88. Ограничители перенапряжений нелинейные. Общие технические требования. - Введ. 01.01.89. - М., 1988. - 9 с.
3. Пат. 2041542 РФ. Резонансостойкий ограничитель перенапряжений / В.В. Крыжановский, С.С. Шур. Оpubл. 10.08.95, Бюл. №22. - 248 с.

АИВТ "Кайцак"

11.06.1997