

ЭНЕРГЕТИКА

М. А. АВАКЯН

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕЖРЕМОНТНЫХ ПЕРИОДОВ
ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Определение межремонтных периодов (МР) основано на суммарном допустимом токе к.з. $\sum I_{доп}$, который может коммутировать каждый выключатель без снижения нормальной работоспособности, а также на статистических данных о вероятности числа и типа повреждений, успешных и неуспешных действий устройства автоматического повторного включения (АПВ).

По статистическим данным [1] аварийные отключения выключателей в цепях линий электропередач (ЛЭП) на один порядок больше, чем в цепях трансформаторов. Поэтому представляет интерес определение МР выключателей в цепи ЛЭП. Приводимый метод основан на предположении, что все повреждения должны распределяться вдоль линии равномерно. Низкая частота возникновения трехфазного и двухфазного на землю к.з. (0,9% и 3% соответственно) на ЛЭП позволяет в дальнейшем рассматривать только однофазное и двухфазное к.з. Учитывая, что 50% всех однофазных к.з. относится к определенной фазе и та же фаза участвует в каждом случае двухфазного к.з., то между суммарным допустимым током к.з. и суммарным фактически отключаемым током к.з. можно установить следующую связь:

$$\sum I_{доп} = \sum_{l=0}^n [0,5 P^{(1)} I^{(1)} + (1 - P^{(1)}) I^{(2)}], \quad (1)$$

где $P^{(1)}$ — вероятность однофазного к.з. на ЛЭП в относительных единицах; n — допустимое для каждого типа выключателей суммарное число операций включения и отключения токов к.з.; $I^{(1)}$ — значение тока, отключаемого выключателем, при однофазном к.з. на расстоянии l от выключателя на ЛЭП длиной L ; $I^{(2)}$ — то же, при двухфазном к.з.

Токи $I^{(1)}$ и $I^{(2)}$ зависят от расстояния между точкой возникновения к.з. и выключателем (рис. 1а) и могут быть вычислены по известным методам симметричных составляющих [2]. При условии равенства сопротивлений прямой и обратной последовательностей и неучета активных сопротивлений элементов сети выражения для токов $I^{(1)}$ и $I^{(2)}$ записываются:

$$I^{(1)} = 3U_{\phi}/(2X_{11} + X_{00}); \quad (2)$$

$$I^{(2)} = \sqrt{3} U_{\phi}/2X_{11}, \quad (3)$$

где X_{11} — входное сопротивление прямой последовательности относительно точки к. з.; X_{00} — то же для нулевой последовательности.

Из схемы замещения (рис. 1б) следует, что

$$X_{11} = X_{c1} + x_1 l; \quad X_{00} = X_{c0} + x_0 l, \quad (4)$$

где X_{c1} , X_{c0} — входное сопротивление прямой и нулевой последовательностей системы, примыкающей к ЛЭП; x_1 , x_0 — удельные реактивные сопротивления прямой и нулевой последовательностей ЛЭП.

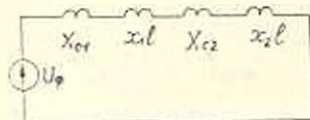
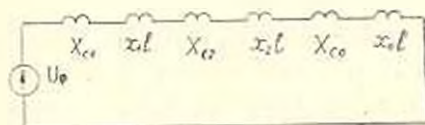


Рис. 1. Схема электрических соединений сети. а — исходная схема; б — комплексная схема замещения для однофазного к. з. в точке К; в — то же для двухфазного к. з.

Из принятого выше условия о равномерном распределении вдоль линии всех повреждений следует, что

$$l = Li/n, \quad (5)$$

где i — очередное повреждение ($0 \leq i \leq n$).

Уравнение (1) с учетом (2) — (5) можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \Sigma I_{\text{доп}} = & \frac{1,5I^{(3)} \rho^{(1)}}{2 + \alpha} \sum_{i=0}^n \left[1 + \frac{(2x_1 + x_0) Li}{X_{c1} (2 + \alpha) n} \right]^{-1} + \\ & + \frac{\sqrt{3} I^{(3)} (1 - \rho^{(1)})}{2} \sum_{i=0}^n \left[1 + \frac{x_1 Li}{X_{c1} n} \right]^{-1}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $I^{(3)}$ — значение тока трехфазного к. з., когда к. з. произошло на выводах выключателя; α — коэффициент отношения X_{c0} и X_{c1} .

Пользуясь методами численного анализа [3], нетрудно доказать, что при условии, когда $n \rightarrow \infty$ ($L/n \rightarrow 0$), сумму ряда (6) можно представить в более удобном для расчета виде:

$$\sum I_{\text{отп}} \approx n I^{(3)} X_{\text{с1}} \left\{ \frac{1,5 K_1 \rho^{(3)}}{(2x_1 + x_0) L} \ln \left| 1 + \frac{(2x_1 + x_0) L}{X_{\text{с1}} (2 + \alpha)} \right| + \right. \\ \left. + \frac{\sqrt{3} K_2 (1 - \rho^{(1)})}{x_1 L} \ln (1 + x_1 L / X_{\text{с1}}) \right\}, \quad (7)$$

где K_1, K_2 — некоторые коэффициенты коррекции:

$$K_{1(2)} = \frac{n \ln a_{1(2)}}{n - 1} + 1, \quad (8)$$

здесь $a_{1(2)}$ — вторые слагаемые под $\sum$ в (6), когда $i = 1$.

Расчеты, проводимые для различных значений $x_1, x_0, x_{\text{с1}}$ и α , показали, что значения коэффициентов $K_{1(2)}$ меняются в пределах от 1,2 до 1,03, когда n меняется в практически приемлемых пределах — от 8 до 40, поэтому среднее значение коэффициентов коррекции можно принимать: $K_{1(2)} = 1,1$.

Влияние неуспешного действия устройств АПВ на количество отключений к.з. учитывается посредством введения в правую часть выражения (7) коэффициента коррекции K_3 , значение которого определяется исходя из следующего. Известно, что примерно 65% случаев действия устройств АПВ являются успешными [4]. В этом случае выключатель выполняет одну операцию (отключения) при к.з. В случае неуспешного АПВ выключатель при к.з. выполняет три коммутационных операций: отключение—включение—отключение, поэтому

$$K_3 = K_{\text{усп}} + 3K_{\text{неусп}}, \quad (9)$$

где $K_{\text{усп}} = 0,65$, $K_{\text{неусп}} = 0,35$ — доли успешного и неуспешного действий устройств АПВ.

С учетом коэффициентов коррекции $K_{1(2)}$ и K_3 число к.з., которое допускается отключить выключателем, в течение МП определяется, как следует из (7), по формуле:

$$n = \frac{N I_{0, \text{ном}} x_1 L (2 + K_4)}{K_1 K_2 I^{(3)} X_{\text{с1}} A}, \quad (10)$$

где

$$A = 1,5 \rho^{(1)} \ln \left| 1 + \frac{(2 + K_4) x_1 L}{X_{\text{с1}} (2 + \alpha)} \right| + \\ + \sqrt{3} (1 - \rho^{(1)}) (2 + K_4) \ln (1 + x_1 L / X_{\text{с1}});$$

$I_{0, \text{ном}}$ — номинальный ток отключения выключателя; N — допустимое число операций включения и отключения (коммутационная износостойкость) выключателя при токах к.з. в диапазоне от 60 до 100% $I_{0, \text{ном}}$;

K_1 — среднее значение соотношения между x_0 и x_1 (3 — для одноцепной, 4,7 — для двухцепной линии с грозозащитными тросами из стали) [2].

Для выключателей, не предназначенных для АПВ, число допустимых к.з. можно определить также по (10) при условии, что $K_1 = 1$, $N = 5$.

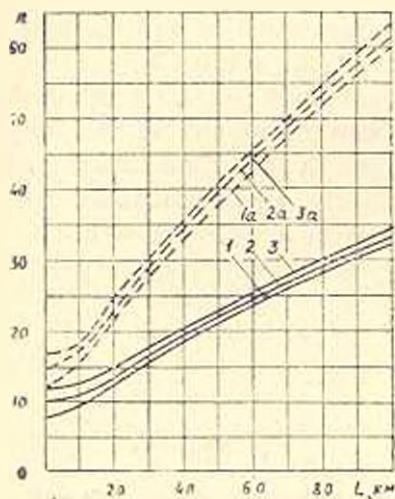


Рис. 2. Зависимость числа допустимых отключений к.з. от длины линии при: 1, 1a — $\alpha=1$; 2, 2a — $\alpha=2$; 3, 3a — $\alpha=3$. — при $I^{(3)} = I_{0, \text{ном}}$, ---- при $I^{(3)} = 0.7 I_{0, \text{ном}}$.

На рис. 2 приведено графическое изображение зависимости числа допустимых к.з. от длины одноцепной линии ($x_1 = 0.4 \text{ Ом/км}$) и степени заземления нейтралей трансформаторов для выключателей 220 кВ с $I_{0, \text{ном}} = 40 \text{ кА}$ и $N = 10$. Вероятность однофазного к.з. принята $P^{(1)} = 0.7$. Из рис. 2 и выражения (10) следует, что:

— если ток трехфазного к.з. на шинах меньше номинального тока отключения выключателя, то в течение МП возможно большее число отключений к.з. (кривые 1a—3a) по сравнению со случаем, когда $I^{(3)} = I_{0, \text{ном}}$ (кривые 1—3);

— изменение режима заземления нейтралей трансформаторов (коэффициента α) слабо отражается на числе допустимых отключений к.з. Трехкратное увеличение коэффициента α (от 1 до 3) приводит к росту допустимых отключений на 1—2 единицы. Последнее объясняется тем, что сопротивления линии, возрастающие по мере удаления точки к.з. на ЛЭП от места установки выключателя (узла системы, где определен коэффициент α), оказывают сильное влияние на интегральное значение коммутируемого выключателем тока к.з. при умеренном характере влияния коэффициента α .

В случае, когда отсутствует полная информация о количестве и видах к.з., а также о значениях токов к.з., числе успешных и неуспешных АПВ для каждой фазы выключателя, потребитель, пользуясь статисти-

ческой информацией о частоте к. з. на ЛЭП, может определить МП по выражению:

$$T = \frac{100n}{K_3 N_1 I} \quad (11)$$

где T — межремонтный период в годах; N_1 — среднее количество к. з. на воздушных линиях на 100 км в год; K_3 — коэффициент коррекции для учета возможных отклонений между средним и единичным статистическим значением о к. з. ($K_3 = 1,5$) [5].

Сопоставление результатов расчета с данными реальной эксплуатации выключателей подтвердило, что полученные по предлагаемой методике сроки МП реальны, и тем самым подтверждается приемлемость данного метода. В частности, выключатели 220 кВ с $I_{\text{н.ном}}$ в 40 кА при $N_1 = 2,5$ к. з. / 100 км · год должны иметь МП в 10 лет: МП в этом случае изменяется в пределах от 14 лет, при длине линии $L = 30$ км, до 9, при $L = 100$ км.

ЕрПИ им. К. Маркса

23. VII. 1984

Մ. Ա. ԱՎԱԴՅԱՆ

ԱՆՋԱՏԻՉՆԵՐԻ ՄԻՋՎԵՐԱՆՈՐԴՄԱՆ ՊԱՐԲԵՐՈՅՅԱՆ ՆԱԽԱԴՈՒՇԱԿՈՒՄԸ

Ու մ փ ո փ ու մ

Շարադրվում է անջատիչների միջվերանորոգման պարբերության նախադրված մեթոդիկան, որը հիմնված է էներգահամակարգերում վնասվածքների բնույթի և բանակի, ավտոմատ կրկնակի միացման սարքի հաջող և անհաջող բանման հաճախականության վիճակադրական տվյալների, ինչպես նաև կարճ միացման գումարային ծախսերի այնպիսի մեծության վրա, որը կարող է անջատիչ յուրաքանչյուր անջատիչ՝ առանց նորմալ աշխատունակության իրեցման:

Ցույց է տրված էներգահամակարգում տրանսֆորմատորների շեղման հոդանցման ռեժիմի ազդեցության տարեկան անջատիչների միջվերանորոգման պարբերության վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мельников Н. А., Рогозяк С. С., Шеренцис А. Н. Проектирование электрической части воздушных линий электропередачи 330—500 кВ.— М.: Энергия, 1971.— 466 с.
2. Мельников С. А. Электромагнитные переходные процессы.— М.: Энергия, 1970.— 519 с.
3. Виноградов Н. М. Основы теории чисел.— М.: Наука, 1981.— 176 с.
4. Борзям А. Б. Системная автоматика.— М.: Энергия, 1964.— 367 с.
5. Марти, Хидорн. Определение межремонтных периодов для выключателей на основании коммутационных испытаний и условий работы в электрических сетях.— В сб.: Выключатели высокого напряжения, «Энергетика за рубежом», М., 1980, с. 61—67.