

$$a_{32}(p) = - \frac{a_{12}(T_{k1}^{p+1})(T_{b1}^{p+1})}{k_{r1} k_{b1} k_{k1}}, \quad (5)$$

$$a_{41}(p) = - \frac{a_{21}(p)(T_{k2}^{p+1})(T_{b1}^{p+1})}{k_{r2} k_{b2} k_{k2}}.$$

Перекрестные связи показаны на рис. 2 пунктиром. Эти связи обеспечивают необходимые условия осуществимости абсолютной инвариантности и имеют сложную структуру. Для независимого регулирования напряжений в установившихся режимах оказывается достаточно ввести жесткие компенсирующие связи. Условия статической инвариантности и соответствующие коэффициенты усиления безынерционных компенсирующих связей получим из (5) с учетом значений операторов из (1), положив $p=0$:

$$a_{32}(0) = - \frac{k_p(x_{d1} + x_{n1})}{k_{r1} k_{b1} k_{k1} x_{n1}}, \quad a_{41}(0) = - \frac{k_p(x_{d2} + x_{n2})}{k_{r2} k_{b2} k_{k2} x_{n2}}. \quad (6)$$

Введение синтезированных жестких перекрестных связей обеспечивает независимое регулирование напряжений на шинах генераторов в установившихся режимах.

Л и т е р а т у р а

1. Лекаш М.Н. Самонастраивающиеся по принципу инвариантности системы автоматического регулирования напряжения. "Электричество", 1971, № 4. 2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М., 1970.

Е.Г. Поспелов

ПРОХОЖДЕНИЕ БЛУЖДАЮЩИХ ВОЛН ЧЕРЕЗ УСТАНОВКИ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Продольная компенсация индуктивного сопротивления воздушных линий электропередач нашла широкое распространение в современных электрических системах: для повышения устойчивости протяженных систем электропередач [1], для регулирования напряжения электрических сетей и для оптимизации режимов в замкнутых электрических сетях.

В связи с применением продольной компенсации в электрических системах представляется важным исследование перенапряжений, которым могут подвергаться составляющие батарею статические конденсаторы.

Выясним, какое влияние оказывает последовательно включенный в линию конденсатор на проходящие волны, не вызывают ли эти волны повышения напряжения на зажимах конденсатора.

Если к последовательному конденсатору подошла волна, то для напряжений падающей, отраженной и преломленной волн можно написать соотношения

$$\frac{E_{1п}}{Z_B} - \frac{E_{10}}{Z_B} = \frac{E_{2п}}{Z_B}, \quad E_{1п} + E_{10} = E_K + E_{2п}, \quad (1)$$

где $E_{1п}$ - напряжение падающей волны; E_{10} - напряжение отраженной волны; $E_{2п}$ - напряжение преломленной волны; E_K - напряжение на конденсаторе от проходящей через него волны; Z_B - волновое сопротивление линии.

Напряжение конденсатора можно выразить так:

$$E_K = \frac{E_{2п}}{Z_B} X_C(t), \quad (2)$$

где $X_C(t)$ - переходное емкостное сопротивление конденсатора.

Решая совместно уравнения (1), (2) найдем

$$\left. \begin{aligned} E_{2п} &= \frac{2Z_B}{2Z_B + X_C(t)} E_{1п}, \\ E_{10} &= \frac{X_C(t)}{2Z_B + X_C(t)} E_{1п}, \\ E_K &= \frac{2X_C(t)}{2Z_B + X_C(t)} E_{1п}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Прямоугольную волну конечной длины τ можно представить, как результат сложения бесконечно длинной пря-

моугольной волны $E'_{1\Pi}$ той же полярности и бесконечно-длинной прямоугольной волны $E''_{1\Pi}$ противоположной полярности; вторая волна сдвинута относительно первой на τ . Амплитуда каждой бесконечно длинной волны равна амплитуде данной волны. Для первой волны получим

$$\left. \begin{aligned} E'_{2\Pi} &= \frac{2Z_B}{2Z_B + \frac{1}{pC}} E'_{1\Pi}, \\ E'_{10} &= \frac{\frac{1}{pC}}{2Z_B + \frac{1}{pC}} E'_{1\Pi}, \\ E'_K &= \frac{2 \frac{1}{pC}}{2Z_B + \frac{1}{pC}} E'_{1\Pi} \end{aligned} \right\} (4)$$

или

$$\left. \begin{aligned} E'_{2\Pi} &= E'_{1\Pi} \varepsilon^{-\frac{t}{2Z_B C}}, \\ E'_{10} &= E'_{1\Pi} \left(1 - \varepsilon^{-\frac{t}{2Z_B C}} \right), \\ E'_K &= 2E'_{1\Pi} \left(1 - \varepsilon^{-\frac{t}{2Z_B C}} \right). \end{aligned} \right\} (5)$$

Аналогично для второй волны

$$\left. \begin{aligned} E''_{2\Pi} &= E''_{1\Pi} \varepsilon^{-\frac{t+\tau}{2Z_B C}}, \\ E''_{10} &= E''_{1\Pi} \left(1 - \varepsilon^{-\frac{t+\tau}{2Z_B C}} \right), \\ E''_K &= 2E''_{1\Pi} \left(1 - \varepsilon^{-\frac{t+\tau}{2Z_B C}} \right), \end{aligned} \right\} (6)$$

где при $t \leq \tau$ $E''_{1п} = 0$ и $t \geq \tau$ $E''_{1п} = -E_{1п}$.

Для принятой конечной волны

$$\left. \begin{aligned} E_{2п} &= E'_{1п} \varepsilon^{-\frac{t}{2Z_B C}} + E''_{1п} \varepsilon^{-\frac{t+\tau}{2Z_B C}}, \\ E_{10} &= E'_{1п} (1 - \varepsilon^{-\frac{t}{2Z_B C}}) + E''_{1п} (1 - \varepsilon^{-\frac{t+\tau}{2Z_B C}}), \\ E_K &= 2E'_{1п} (1 - \varepsilon^{-\frac{t}{2Z_B C}}) + 2E''_{1п} (1 - \varepsilon^{-\frac{t+\tau}{2Z_B C}}). \end{aligned} \right\} (7)$$

Из выражений (7) видно, что $E_{2п}$, E_{10} , E_K определяются

величиной $\varepsilon^{-\frac{\tau}{2Z_B C}}$; последняя не будет существенно отличаться от единицы. Так, в одной из электропередач емкость конденсаторной батареи установки продольной компенсации была принята $C = 35,8$ мкФ. При $Z_B = 400$ Ом и $\tau = 100$ мкс получим

$$\varepsilon^{-\frac{\tau}{2Z_B C}} = 0,9965. \quad (8)$$

По имеющимся опытным данным [2] трудно ожидать, чтобы длина блуждающей волны превосходила 100 мкс; обычно эта

длина бывает меньше и величина $\varepsilon^{-\frac{\tau}{2Z_B C}}$ будет ближе к единице, чем значение (8). Как видно из выражений (7), блуждающие волны, проходя через конденсаторы установки продольной компенсации, не претерпевают значительных изменений и не вызывают существенных повышений напряжения на зажимах конденсаторов.

Поясним полученный результат. В первый момент прохождения волны через конденсатор его переходное сопротив-

ление равно нулю. Дальнейшее увеличение переходного сопротивления конденсатора определяется величиной $(1 - \epsilon \frac{\tau}{2Z_{в} C})$. Емкость конденсаторного пункта для компенсированных электропередач полагаем порядка 30 – 100 мкФ. Отсюда видно, что скорость нарастания переходного сопротивления незначительна по сравнению со скоростью электромагнитных процессов; сопротивление последовательного конденсатора не успеет заметно измениться за время прохождения через него блуждающей волны.

Л и т е р а т у р а

1. Г.Е. Поспелов. Элементы технико-экономических расчетов систем электропередач. Минск, 1967. 2. М.В. Костенко. Атмосферные перенапряжения и грозозащита высоковольтных установок. М., 1949.

Е.П. Гончарик, А.Н. Шульга

ЗАДАЧИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СВЕРХВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Повышение номинальных напряжений электропередачи приводит к увеличению потерь активной мощности на корону и связанных с этим явлением высокочастотных помех связи, теле- и радиоприема, а также к резкому возрастанию напряженности электрического поля у поверхности земли и электростатическим наводкам на механизмах и транспорте. Возникают сложные задачи учета этих потерь и явлений, а также разработки мер уменьшения их вредного влияния до рациональных пределов. Последнее достигается изменением конструкции фазы линии, выбором оптимальных параметров проводов, расположения фаз на опоре, размера опор и габарита линии до земли, а также защитными мероприятиями.

Изменение конструкции фазы, геометрии и габариты опор связано с перераспределением затрат между капиталовложениями в электропередачу и расходами на покрытие потерь энергии в ней. Целесообразность такого перераспределения определяется технико-экономическим сравнением в результате