

УДК 621.31

СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ СВЕРХВЫСОКИХ НОМИНАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Барбашов И.В., Риморов Д.С.

*Национальный технический университет
«Харковский политехнический институт», Украина, г. Харьков*

При анализе работы линий напряжением до 330 кВ включительно и длиной 200–300 км в большинстве случаев можно не учитывать волновой характер передачи электроэнергии. Как правило, режим работы таких линий рассчитывается на основе их схем замещения с сосредоточенными параметрами $R_{л} = r_0 l$, $X_{л} = x_0 l$, $G_{л} = g_0 l$ и $B_{л} = b_0 l$.

В линиях сверхвысоких напряжений (от 330 кВ и выше) появляется необходимость в той или иной мере учитывать волновой характер передачи электроэнергии. Анализ режимов работы подобных линий основывается на представлении их как цепи с распределенными параметрами, где каждый малый элемент линии длиной dl обладает активным $r_0 dl$ и индуктивным $x_0 dl$ сопротивлениями, активной $g_0 dl$ и емкостной $b_0 dl$ проводимостями. При этом считается, что параметры линии ($r_0 dl$, $x_0 dl$, $g_0 dl$ и $b_0 dl$) равномерно распределены вдоль её длины. Такое представление о линии связано с некоторой идеализацией, поскольку ряд факторов, например наличие провеса проводов в пролете, изменяет равномерность распределения индуктивности и емкости проводов; также не постоянна интенсивность коронного разряда по длине провода.

Современные линии сверхвысоких напряжений имеют диапазон номинальных напряжений от 330 до 1150 кВ, а их длины варьируются в пределах 250–1000 км и будут, бесспорно, в дальнейшем достигать больших значений. Поэтому рассмотрение схем замещения таких электропередач имеет практическое значение.

Параметры продольных и поперечных элементов П-образной симметричной схемы замещения линий электропередачи могут быть определены с разной степенью точности в зависимости от требований к учету распределенности их параметров по длине [1].

Основные соотношения, связывающие напряжения \underline{U}_1 , \underline{U}_2 и токи \underline{I}_1 , \underline{I}_2 по концам протяженной линии (уравнение длинной линии) с её параметрами $\underline{Z}_{вол}$, $\underline{\gamma}_0$, l имеют вид:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{U}_2 \operatorname{ch}(\underline{\gamma}_0 l) + \sqrt{3} \underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_{вол} \operatorname{sh}(\underline{\gamma}_0 l); \\ \underline{I}_1 &= (1 / \sqrt{3}) (\underline{U}_2 / \underline{Z}_{вол}) \operatorname{sh}(\underline{\gamma}_0 l) + \underline{I}_2 \operatorname{ch}(\underline{\gamma}_0 l), \end{aligned}$$

где $\underline{Z}_{\text{вол}}$ – волновое сопротивление линии, Ом; $\gamma_0 = \beta_0 + j\alpha_0$ – коэффициент распространения волны на единицу длины, 1/км.

Волновое сопротивление $\underline{Z}_{\text{вол}}$ и коэффициент распространения волны γ_0 определяются через её удельные параметры по выражениям

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{\text{вол}} &= \sqrt{(z_0 / y_0)} = \sqrt{[(r_0 + jx_0) / (g_0 + jb_0)]} = \underline{Z}_{\text{вол}} \angle \xi; \\ \gamma_0 &= \sqrt{(z_0 y_0)} = \sqrt{[(r_0 + jx_0) (g_0 + jb_0)]} = \gamma_0 \angle \zeta = \beta_0 + j\alpha_0, \end{aligned}$$

где β_0 – коэффициент затухания; α_0 – коэффициент изменения фазы.

В свою очередь, параметры П-образных схем замещения линий сверхвысоких номинальных напряжений $\underline{Z}_л$ и $\underline{Y}_л$ могут быть получены как

$$\begin{aligned} \underline{Z}_л &= \underline{B} = \underline{Z}_{\text{вол}} \operatorname{sh}(\gamma_0 l), \\ \underline{Y}_л &= (\underline{A} - 1) / \underline{B} = [\operatorname{ch}(\gamma_0 l) - 1] / [\underline{Z}_{\text{вол}} \operatorname{sh}(\gamma_0 l)] = (2 / \underline{Z}_{\text{вол}}) \operatorname{th}(\gamma_0 l / 2). \end{aligned}$$

Линии сверхвысоких номинальных напряжений в расчетах могут представляться пассивными четырехполюсниками с комплексными постоянными \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} и \underline{D} . Эти постоянные определяются по параметрам линии $\underline{Z}_л$ и $\underline{Y}_л$

$$\underline{A} = \underline{D} = 1 + (\underline{Z}_л \underline{Y}_л) / 2, \quad \underline{B} = \underline{Z}_л, \quad \underline{C} = \underline{Y}_л [1 + (\underline{Z}_л \underline{Y}_л) / 4],$$

либо по коэффициентам, входящим в уравнение длинной линии,

$$\underline{A} = \underline{D} = \operatorname{ch}(\gamma_0 l), \quad \underline{B} = \underline{Z}_{\text{вол}} \operatorname{sh}(\gamma_0 l), \quad \underline{C} = (1 / \underline{Z}_{\text{вол}}) \operatorname{sh}(\gamma_0 l).$$

На практике более наглядно и удобно определять параметры П-образной схемы замещения линии через удельное сопротивление z_0 , проводимость y_0 и поправочные коэффициенты \underline{K}_Z и \underline{K}_Y , учитывающие распределенность параметров по длине, т. е. по формулам

$$\underline{Z}_л = (z_0 l) \underline{K}_Z; \quad \underline{Y}_л = (y_0 l) \underline{K}_Y,$$

где $\underline{K}_Z = \operatorname{sh}(\gamma_0 l) / (\gamma_0 l)$; $\underline{K}_Y = \operatorname{th}(\gamma_0 l / 2) / (\gamma_0 l / 2)$.

Так как для определения \underline{K}_Z и \underline{K}_Y требуется вычисление гиперболических функций, в качестве первого приближения используют разложение правой части \underline{K}_Z и \underline{K}_Y в ряд и ограничиваются его первыми двумя членами.

Тогда $\underline{K}_Z \approx \underline{K}_Z' = 1 + (\gamma_0 l)^2 / 6$; $\underline{K}_Y \approx \underline{K}_Y' = 1 - (\gamma_0 l)^2 / 12$.

Поскольку \underline{K}_Z и \underline{K}_Y – комплексные величины, более удобно использовать действительные поправочные коэффициенты непосредственно для каждого из сопротивлений и проводимостей схемы замещения, т. е. определение её параметров в виде

$$R_л = (r_0 l) k_R; \quad X_л = (x_0 l) k_X; \quad G_л = (g_0 l) k_G; \quad B_л = (b_0 l) k_B,$$

$$\begin{aligned} \text{где } k_R &= (1 - x_0 b_0 l^2 / 3) + [1 - (x_0 / r_0)^2] r_0 g_0 l^2 / 6; \\ k_X &= 1 - (x_0 b_0 l^2 / 6) [(1 - (r_0 / x_0)^2) + r_0 g_0 l^2 / 3]; \\ k_G &= (1 + x_0 b_0 l^2 / 6) + [(b_0 / g_0)^2 - 1] r_0 g_0 l^2 / 12; \\ k_B &= (1 + x_0 b_0 l^2 / 12) - [2 + g_0 x_0 / (b_0 r_0)] r_0 g_0 l^2 / 12. \end{aligned}$$

Анализ выражений для k_R , k_X и k_B показывает, что их значения в основном определяются первыми слагаемыми, которые не зависят от $G_{л} = g_0 l$.

Тогда $k_R' = 1 - x_0 b_0 l^2 / 3$; $k_X' = 1 - (x_0 b_0 l^2 / 6) [(1 - (r_0 / x_0)^2)]$; $k_B' = 1 + x_0 b_0 l^2 / 12$. Обычно эти выражения используются при определении $R_{л}$, $X_{л}$ и $B_{л}$, когда при расчетах пренебрегают потерями активной мощности на корону, принимая $g_0 = 0$.

При рассмотрении идеализированной линии (линии без потерь, в которой r_0 и g_0 равны нулю) её реактивные параметры определяются с помощью коэффициентов: $k_X'' = 1 - x_0 b_0 l^2 / 6$; $k_B'' = 1 + x_0 b_0 l^2 / 12$.

Список использованных источников:

1. Барбашов И. В. Общая характеристика и основы анализа установившихся режимов современных электрических систем и сетей : текст лекций / И. В. Барбашов. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – 240 с

УДК 621.31

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Березка С.К., Стасюк И.В., Хоменко И.В.

*Национальный технический университет
"Харьковский политехнический институт", Украина, г. Харьков*

В Украине в эксплуатации находится около 135 высоковольтных подстанций. Их суммарная установленная мощность составляет 78,2 тыс. МВА. В параллельной работе могут находиться до четырех трансформаторов на одной подстанции. Поэтому любые экономически целесообразные режимы работы трансформаторов на подстанциях относятся к эффективным мероприятиям по снижению потерь электроэнергии.

Проведен критический анализ различных критериев оптимизации силовых трансформаторов при их параллельной работе.

Выбор критерия для оптимизации режимов работы неоднозначная задача. В качестве наглядного средства решения обычно использовались графоаналитические методы. В то же время использование компьютерного моделирования обеспечивает больший диапазон перебора вариантов и лучшую точность вычислений.