

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВОК
ПРОДОЛЬНОЙ И ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ
ДАЛЬНИХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ
С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ СИСТЕМАМИ**

Р. И. БОРИСОВ, И. А. БЕЗЛЕР, В. И. ГОТМАН

(Представлена научным семинаром кафедры электрических систем и сетей)

Из множества средств повышения пропускной способности и устойчивости дальней электропередачи продольная емкостная компенсация индуктивности ЛЭП переменного тока является одной из главной по техническим и экономическим условиям [1, 2].

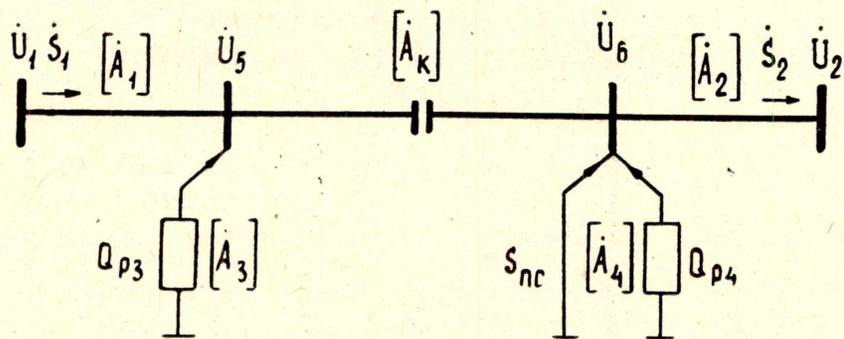
Вопрос о выборе параметров компенсирующих устройств (КУ) на заданную пропускную способность по условиям обеспечения статической устойчивости и законов распределения напряжения в дальней электропередаче (ДЛЭП) без промежуточных систем (ПС) решен в [1], а в электропередачах с ПС вопрос о выборе параметров КУ частично решен в [3, 4]. Ввиду сложности структуры ПС, применения различных видов установок поперечной компенсации (УПпК) и в зависимости от места положения ПС по трассе дальней электропередачи, а также от места присоединения ПС и УПпК (к вводам или выводам установок продольной компенсации), задача о выборе параметров КУ для ДЛЭП с ПС по предельным режимам и условиям статической устойчивости представляет серьезные трудности.

Для улучшения динамики ДЛЭП требуются поперечные регулируемые КУ. Такими регулируемыми КУ могут быть регулируемые реакторы, синхронные и статические компенсаторы. Под статическим компенсатором подразумевается регулируемый реактор и параллельно ему включенные нерегулируемые статические конденсаторы. В приемных и передающих концах энергосистемы КУ выбираются из условий холостого хода, а в электропередачах с установками продольной емкостной компенсации (УПК) и ПС — еще дополнительно по условиям ограничения напряжения на обкладках конденсаторов УПК во всех режимах с учетом предельности режима ПС по реактивной мощности.

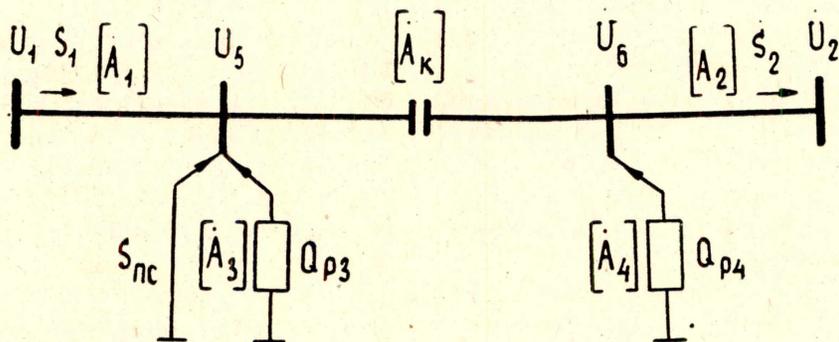
Ниже приведена методика расчета параметров УПК и УПпК при присоединении ПС к вводам или выводам УПК на различном расстоянии от передающей системы № 1 на заданную пропускную способность ДЛЭП из условий устойчивости системы и с учетом допустимого уровня напряжения в контролируемых узлах. Для упрощения расчетов конечные КУ передающей № 1 и приемной № 2 энергосистем введены в постоянные четырехполюсники $[A_1]$ и $[A_2]$.

Вывод уравнений для определения параметров КУ производится применительно к рис. 1, на котором представлена ДЛЭП, ПС, УПК и УПпК. Если УПпК принята регулируемой, то в схеме появляется как бы вторая ПС. Общая длина ДЛЭП равна 1000 км и величины $[A_1] \neq [A_2]$,

а также заданы активные мощности и при этом $P_1 \neq P_2$. В дальнейшем примем, что в общем случае $U_1 \neq U_2 \neq \text{const}$, первое — в силу регуляторов «сильного действия», второе — в силу того, что приемная система равна бесконечной мощности. Значение коэффициента крутизны ПС ($q_{\text{ПС}}$) считаем величиной известной, так как известна конкретная схема ПС. При присоединении ПС к выводам УПК дополнительную реактивную мощность ($Q_{\text{ПК}}$) в расчет вводить не будем, так как ПС самостоятельно обеспечивает баланс реактивной мощности для регулирования напряжения в узле U_6 .



а)



б)

Рис. 1. Схема компенсированной дальней электропередачи: а) ПС присоединена к выводам УПК; б) ПС присоединена к вводам УПК.

Для рассматриваемой схемы эквивалентное матричное выражение, в которое входят левая часть ДЛЭП, УПК и УПК, принимает вид

$$[\dot{A}_9] = [\dot{A}_1][\dot{A}_3][\dot{A}_K], \quad (1)$$

или в развернутом виде с учетом того, что

$$\dot{B}_3 = \dot{C}_K = 0 \quad \text{и} \quad \dot{A}_3 = \dot{D}_3 = \dot{A}_K = \dot{D}_K = 1, \quad (2)$$

$$\dot{A}_9 = \dot{A}_1 + \dot{B}_1 \cdot \dot{C}_3; \quad (2)$$

$$\dot{B}_9 = \dot{A}_1 \cdot \dot{B}_K + \dot{B}_1 \cdot \dot{C}_3 \cdot \dot{B}_K + \dot{B}_1; \quad (3)$$

$$\dot{C}_3 = \dot{C}_1 + \dot{D}_1 \cdot \dot{C}_3; \quad (4)$$

$$\dot{D}_3 = \dot{C}_1 \dot{B}_K + \dot{D}_1 \cdot \dot{C}_3 \cdot \dot{B}_K + \dot{D}_1. \quad (5)$$

Система уравнений активных и реактивных мощностей концов участков ДЛЭП, согласно принятым на рис. 1 направлениям, записывается в общем виде как

$$P_i = \frac{U_i \cdot U_j}{B_i} \sin(\delta_i - \delta_j); \quad (6)$$

$$Q_{13} = \frac{U_1^2 D_3}{B_3} - \sqrt{\left(\frac{U_1 \cdot U_6}{B_3}\right)^2 - P_1^2}; \quad (7)$$

$$Q'_{13} = -\frac{U_6^2 A_3}{B_3} + \sqrt{\left(\frac{U_1 \cdot U_6}{B_3}\right)^2 - P_1^2}; \quad (8)$$

$$Q_2' = -\frac{U_6^2 D_2}{B_2} + \sqrt{\left(\frac{U_2 \cdot U_6}{B_2}\right)^2 - P_2^2}; \quad (9)$$

$$Q_2 = -\frac{U_2^2 A_2}{B_2} + \sqrt{\left(\frac{U_2 \cdot U_6}{B_2}\right)^2 - P_2^2}. \quad (10)$$

Значения реактивных мощностей, представленных в левых частях уравнений (7—10), определяются из условия ограничения напряжений на обкладках статических конденсаторов УПК балансирующими реактивными мощностями участков 1—5 и 6—2. Наилучшее использование УПК достигается при одинаковых напряжениях на обеих сторонах батареи. Это дает возможность получить от УПК наибольший фазопоротный эффект. Поэтому из условия ограничения напряжения на входе УПК в узле U_5 определим необходимую реактивную мощность в начале дальней электропередачи из уравнения для левого участка по выражению

$$Q_1^- = \frac{U_1^2 D_1}{B_1} - \sqrt{\left(\frac{U_1 U_5}{B_1}\right)^2 - P_1^2},$$

с учетом того, что напряжения, входящие в данное уравнение и уравнения (6—10), должны находиться в пределах $U \leq 1,05 U_n$.

Уравнение критерия предельности режима системы зависит от коэффициентов крутизны и принимает вид

$$q_{61} + q_{62} + q_{nc} = 0, \quad (11)$$

где

$$q_{61} = -\frac{2 U_6 \cdot A_3}{B_3} + \frac{U_1^2 U_6}{B_3^2} \left[\left(\frac{U_1 U_6}{B_3} \right)^2 - P_1^2 \right]^{-0,5};$$

$$q_{62} = -\frac{2 U_6 D_2}{B_2} + \frac{U_2^2 U_6}{B_2^2} \left[\left(\frac{U_2 U_6}{B_2} \right)^2 - P_2^2 \right]^{-0,5}.$$

Решая совместно уравнения (1, 7, 11) относительно B_3 , получаем нелинейное уравнение вида

$$(F_2^2 \cdot P_1^2 + F_4^2) \cdot B_3^6 - 2 F_1 \cdot F_2 \cdot P_1^2 \cdot B_3^5 - (2 F_3 \cdot F_4 - 2 F_0 \cdot F_2 \cdot P_1^2 - F_1^2 \cdot P_1^2 + F_2^2 \cdot U_1^2 \cdot U_6^2) B_3^4 - (2 F_0 \cdot F_1 \cdot P_1^2 - 2 F_1 \cdot F_2 \cdot U_1^2 \cdot U_6^2) B_3^3 -$$

$$-(F_1^2 \cdot U_1^2 \cdot U_6^2 - F_0^2 \cdot P_1^2 + 2F_0 \cdot F_2 \cdot U_1^2 \cdot U_6^2 - F_3^2) B_3^2 + \\ + 2F_0 \cdot F_1 \cdot U_1^2 \cdot U_6^2 B_3 - F_0^2 \cdot U_1^2 \cdot U_6^2 = 0, \quad (12)$$

где

$$F_0 = U_6 \cdot U_1^2 \cdot B_1; \quad F_1 = 2U_6 \cdot U_1^2; \\ F_2 = (q_{62} + q_{пс})(U_1^2 \cdot D_1 - Q_1 \cdot B_1); \\ F_3 = U_1^2 \cdot U_6 [Q_1 \cdot B_1 - U_1^2 \cdot D_1 + B_1 \cdot U_6 (q_{62} + q_{пс})]; \\ F_4 = (q_{62} + q_{пс}) \cdot B_1 \cdot P_1^2.$$

Полученное уравнение (12) можно решить любым итерационным методом.

После определения B_3 переходят к нахождению коэффициентов четырехполюсника A_3, D_3, C_3 , которые равны

$$A_3 = \frac{U_1^2 (B_1 - B_3)}{B_3 (Q_1 B_1 - U_1^2 D_1 + B_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{U_1 U_6}{B_3}\right)^2 - P_1^2}}; \quad (13)$$

$$C_3 = \frac{A_3 \cdot D_1 - 1}{B_1}; \quad (14) \quad D_3 = \frac{1 + B_3 \cdot C_3}{A_3}. \quad (15)$$

Решая уравнения (2÷5) и (12÷15), определяем необходимые значения продольной емкостной и поперечной компенсаций с учетом предельности режима, т. е. получаем, что

$$X_k = B_k; \quad Y_3 = \frac{C_3 - C_1}{D_1}.$$

При учете дополнительной реактивной мощности в узле присоединения ПС ($Q_{рз}$) изменится уравнение (11) и как следствие — выражение (12).

Расчет параметров КУ при присоединении ПС к вводам УПК (рис. 1б) проводится аналогично выражению (12), за исключением измененных индексов у некоторых составляющих. Выбор параметров КУ произведен также и для ДЛЭП с двумя ПС (роль второго ПС выполняет регулируемое УПК).

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Веников, И. П. Сиуда. Расчеты режимов дальних электропередач переменного тока. М., «Высшая школа», 1966.
2. Г. Е. Поспелов. Элементы технико-экономических расчетов систем электропередач. Минск, «Высшая школа», 1967.
3. Р. И. Борисов. Выбор оптимальных параметров компенсирующих устройств для длинной линии, связанной с промежуточными системами. Труды ТЭИ СО АН СССР, вып. 14, 1962.
4. Р. И. Борисов, В. И. Готман. К синтезу структур дальних электропередач с промежуточными системами. Изв. вузов, «Энергетика», 1971, № 12.