

ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ВЫСШИХ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ЗАМЕНЕ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ НА УПРАВЛЯЕМЫЕ

Устойчивыми режимами являются такие режимы, малые возмущения которых приводят к возникновению небалансов мощностей $P_m - P_g$, имеющих знак, противоположный знаку приращения угла δ . Поскольку мощность первичного двигателя P_m неизменна и не зависит от угла δ , критерий статической устойчивости можно сформулировать и иначе: устойчивыми режимами являются такие режимы, малые возмущения которых приводят к изменениям электромагнитной мощности, имеющим знак, совпадающий со знаком приращения угла δ [1]

$$\frac{\partial P_g}{\partial \delta} > 0,$$

Схема внешней сети произвольного вида всегда может быть преобразована к П – схеме, показанной на рис. 1.

Электромагнитная мощность генератора может быть представлена следующим образом [2]:

$$P_g = U_1^2 G_{11} + U_1 U_2 Y_{12} \sin(\delta - \gamma),$$

где $\bar{U}_1 = U_1 \angle \delta_1$ и $\bar{U}_2 = U_2 \angle \delta_2$ – векторы напряжений в начале и в конце линии; $\bar{Y}_{12} = -1/\bar{Z}_{12} = Y_{12} \angle \theta_{12}$; $\bar{Y}_{11} = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_{12} = G_{11} + jB_{11}$; $\gamma = \theta_{12} - \pi/2$; $\delta = \delta_1 - \delta_2$.

Запас устойчивости по передаваемой мощности $k_g \% = (P_{g, \text{макс}} - P_g) / P_{g, \text{макс}}$.

Рассмотрим сложившуюся ситуацию в электрических сетях высших классов напряжения на конкретном примере воздушной линии 500 кВ длиной 1000 км с шунтирующими реакторами на приемном конце линии и на промежуточной подстанции посередине линии, компенсирующими 75% зарядной мощности линии ($\beta=0,75$).

При этом остальные 25% зарядной мощности линии компенсируются генераторами на отправном конце линии. В этом случае на приемном конце линии необходимо установить шунтирующий реактор мощностью 25% от зарядной мощности линии. На промежуточной подстанции один реактор мощностью 25% зарядной подключен к проводам последнего участка линии, а другой реактор такой же мощности подключен к проводам первого участка линии. В итоге мощность реакторов на промежуточной подстанции равна 50% зарядной мощности линии (рис. 2).

Натуральная мощность линии 500 кВ традиционного исполнения с проводами 3хАС330/43 составляет 900 МВт. Зарядная мощность такой линии длиной $l=1000$ км (волновая длина $\lambda = 1,047 \text{ рад}$) составляет $Q = 900 \times 1,047 = 942,3$ Мвар. Следовательно,

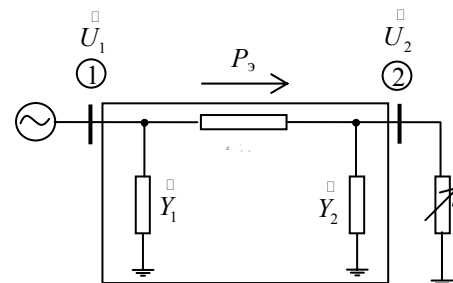


Рис. 1. Эквивалентная расчетная схема электропередачи

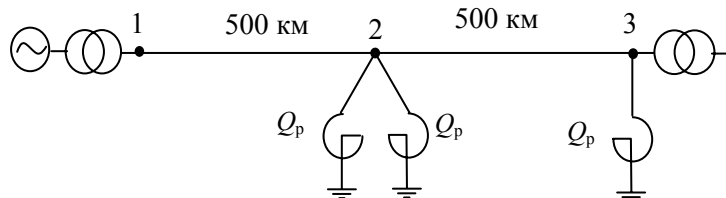


Рис. 2. Принципиальная схема линии электропередачи с шунтирующими реакторами

суммарная мощность реакторов на промежуточной подстанции составит $Q_{p.2} = 471,15$ Мвар, а на приемной подстанции $Q_{p.3} = 235,575$ Мвар.

На рис. 3, а приведены результаты расчетов: угловые характеристики мощности и запаса устойчивости системы и перепада напряжения вдоль линии на приемной станции при наличии неуправляемых реакторов (кривая 1) и при наличии УШРТ той же номинальной мощности с законом регулирования $\beta = 1 - (P/P_n)^2$ (кривая 2) [3].

Как видно из рис. 3, а при наличии неуправляемых реакторов на линии, производная P_3 по δ положительна в диапазоне $0 < P_3/P_{н.н} < 0,5$ и меняет знак при $P_3/P_{н.н} > 0,5$, а при применении УШРТ производная P_3 по δ всегда положительна независимо от передаваемой мощности без каких-либо ограничений даже при передаче мощности свыше натуральной.

На рис. 3, б приведены зависимости запаса устойчивости от отношения $P_3/P_{н.н}$. Очевидно, что при малых нагрузках $P_3/P_{н.н} < 0,3$ запас устойчивости для линии с неуправляемыми реакторами практически такой же как для линии с УШРТ, однако, при передаче максимальной мощности по линии с неуправляемыми реакторами ($P_3/P_{н.н} \approx 0,5$) запас устойчивости меньше, чем при передаче такой же мощности по линии с УШРТ; при передаче натуральной мощности по линии с УШРТ запас устойчивости снижается до 30%.

В соответствии с данными рис. 3 в перепад напряжения по концам линии при наличии неуправляемых реакторов превышает допустимую величину при $P_3/P_{н.н} \approx 0,5$. При применении УШРТ перепад напряжения в донатуральном режиме не выходит за пределы 5%. Причиной такой значительной подсадки напряжения является перегрузка передаваемой по линии мощности относительно ее эквивалентной натуральной мощности, которая

$$P_{нэ} = P_n \sqrt{1-\beta} = P_n \sqrt{1-0,75} = 0,5 P_n$$

Таким образом, влияние шунтирующих реакторов на предельную мощность оказывается существенным. Поэтому замена неуправляемых шунтирующих реакторов на управляемые (УШРТ) может рассматриваться как мера повышения устойчивости электропередачи.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Левинштейн М.Л., Щербачев О.В. Статическая устойчивость электрических систем. Учеб. пособие, СПб.: СПбГТУ, 1994. – 264 с.
2. Grainger John J., Stevenson William D. Power System Analysis. McGraw-Hill, Inc. Book, International Editions, 1994, p 787.
3. Александров Г.Н. Режимы работы воздушных линий электропередачи. – РАО “ЕЭС” России, СПб. 2002. – 138с.

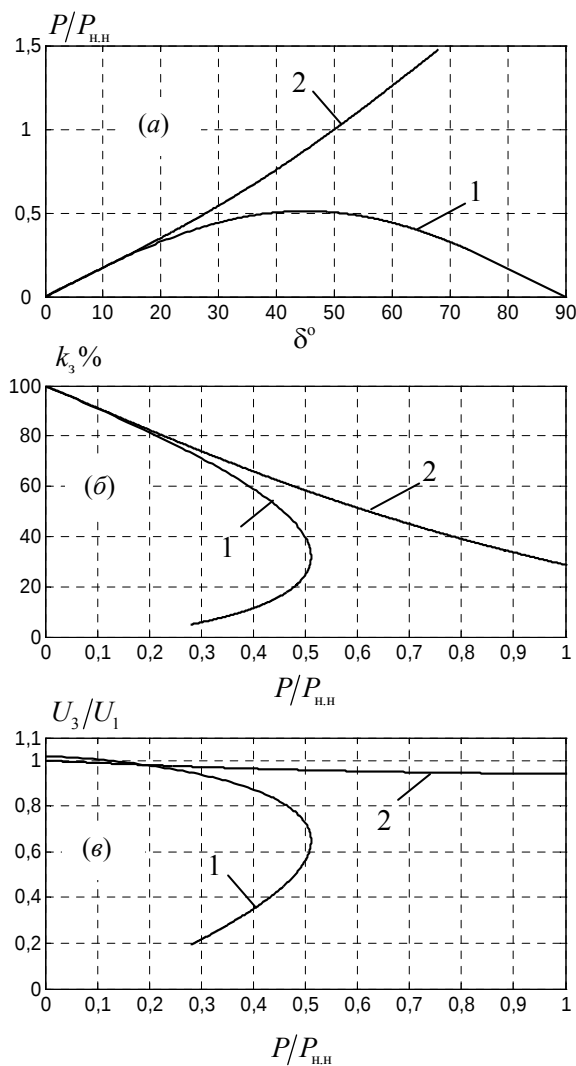


Рис. 3