

**ВЛИЯНИЕ ОБОБЩЕННЫХ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СИСТЕМ
НА ПРЕДЕЛ ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ
ПО ДАЛЬНИМ ЛЭП ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

(ЧАСТЬ 1)

Р. И. БОРИСОВ

(Представлена кафедрой электрических систем и сетей)

Введение

Проблема увеличения дальности передачи электрической энергии трехфазным переменным током продолжает оставаться актуальной в сложившихся условиях электрификации страны. Накопленный опыт по эксплуатации и в проектировании установок трехфазного тока высокого напряжения сохраняет за ними определенные преимущества для их применения с этой целью. Дальние ЛЭП перестали рассматриваться и использоваться только как магистральные, призванные решать задачи транзитной передачи мощности; они получают функции линий связи между соседними электрическими системами и опорного источника, распределенного в пространстве, для сплошной электрификации районов, по которым они проходят. Вместе с этим процесс объединения энергосистем, роста их мощности, числа электростанций и узлов нагрузок, протяженности электрических сетей является не только количественным по своему характеру. Этому процессу сопутствуют такие превращения, когда возникают качественно новые явления, несвойственные ему на более ранних стадиях развития. Такими явлениями были перенапряжения разных видов, проблемы устойчивости и многие другие. Несомненно, что на существующих и последующих этапах развития электроэнергетических систем этот закон сохранит силу. Можно ожидать последствий его действия в возникновении новых явлений, которые будут существенно влиять на надежность и качественные показатели электроснабжения. Познание объективных закономерностей развития электрических систем имеет важное практическое значение, так как позволит обеспечивать это развитие по требуемым показателям электроснабжения.

В силу этого режимные вопросы совместной работы дальних линий электропередач и промежуточных электрических систем (ПЭС) продолжают сохранять важное значение. В первую очередь вопросы выбора схемы подключения ПЭС к дальним ЛЭП, определение критериев целесообразности таких примыканий, условий и параметров регулирования в промежуточных и конечных системах, условий резервирования, совместимости режимов работы дальних ЛЭП и ПЭС и др. нуждаются в обоснованных решениях.

Постановка задачи

В этой статье излагаются материалы исследований о воздействиях ПЭС на предельную по статической устойчивости величину передаваемой мощности. Для этой цели используются обобщенные статические характеристики ПЭС по напряжению.

Напряжение в узлах подключения ПЭС будет изменяться при изменении мощности, передаваемой по линии, что может вызывать изменения мощностей у нагрузок и генераторов в промежуточной системе. Если мощность ПЭС достаточна, благоприятны статические характеристики у генераторов и нагрузок или соответствующим образом выбраны регулирующие параметры и осуществлена их настройка, то напряжение в узле подключения ПЭС будет стабилизироваться самой системой, что должно оказывать влияние на предел передаваемой мощности нормального и послеаварийного режимов. Выбор параметров регулирования и их настройка должны быть произведены таким образом, чтобы обеспечивались требования совместной работы дальней ЛЭП и промежуточной системы.

Для схемы на рис. 1 изменение напряжения в узле *a* приведет к соответствующим изменениям напряжения и мощности узла *b*. Для более контрастного выявления влияния характеристик ПЭС примем, что связь ЛЭП с ПЭС осуществляется через автотрансформаторы без РПН. Эти изменения активных и реактивных составляющих мощностей происходят в соответствии с их статическими характеристиками и приращения мощностей в целом по системе получаются неодинаковые. Мощность небаланса будет уменьшать отклонение угла между э. д. с. передающей и приемной систем при изменении режима магистральной ЛЭП и снижении напряжения. Следовательно, можно сформулировать задачу отыскания нужных параметров, по которым следует производить регулирование, для обеспечения наибольшего значения передаваемой мощности. Расчет передаваемой мощности по статической устойчивости с учетом ПЭС через обобщенные статические характеристики является предпочтительным, так как позволяет ответить на поставленную задачу в явном и простом виде.

Методика исследования

Мощности генераторов ПЭС (рис. 1) являются функциями трех переменных — э. д. с., напряжения на выводах (*U*) и угла между ними, а мощности нагрузки зависят только от напряжения:

$$P_{Г} = P_{Г}(E, U, \delta),$$

$$Q_{Г} = Q_{Г}(E, U, \delta),$$

$$P_{Н} = P_{Н}(U),$$

$$Q_{Н} = Q_{Н}(U).$$

Приращения мощностей связаны с приращениями переменных известными соотношениями:

$$\Delta P_{Г} = \frac{\partial P_{Г}}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial P_{Г}}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial P_{Г}}{\partial \delta} \Delta \delta,$$

$$\Delta Q_{Г} = \frac{\partial Q_{Г}}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial Q_{Г}}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial Q_{Г}}{\partial \delta} \Delta \delta,$$

$$\Delta Q_{Н} = \frac{\partial Q_{Н}}{\partial U} \Delta U,$$

$$\Delta P_{Н} = \frac{\partial P_{Н}}{\partial U} \Delta U.$$

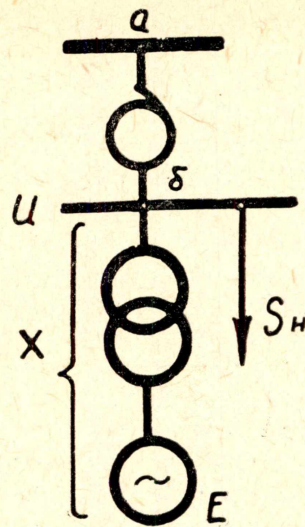


Рис. 1. Схема присоединения промежуточной системы.

Изменения мощностей у генераторов и нагрузки оказываются разными. Для благоприятного воздействия на статическую устойчивость следует выбор параметров регулирования и их настройку осуществлять так, чтобы при понижениях напряжения снижения составляющих мощностей генераторов были меньше, чем у нагрузки. Тогда возникает нужный небаланс избытка. Он будет еще больше, если при понижении напряжения составляющие мощности генераторов ПЭС будут возрастать.

$$\Delta P_c = \mp \Delta P_G + \Delta P_H,$$

$$\Delta Q_c = \mp \Delta Q_G + \Delta Q_H.$$

По приращениям мощностей и напряжения могут быть найдены требуемые изменения э. д. с. и угла.

$$\frac{\partial P_G}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial P_G}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial P_G}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial P_H}{\partial U} \Delta U = \Delta P_c,$$

$$\frac{\partial Q_G}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial Q_G}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial Q_G}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial Q_H}{\partial U} \Delta U = \Delta Q_c,$$

$$\frac{\partial P_G}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial P_G}{\partial \delta} \Delta \delta = F_1,$$

$$\frac{\partial Q_G}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial Q_G}{\partial \delta} \Delta \delta = F_2,$$

где

$$F_1 = \Delta P_c - \frac{\partial P_G}{\partial U} \Delta U - \frac{\partial P_H}{\partial U} \Delta U,$$

$$F_2 = \Delta Q_c - \frac{\partial Q_G}{\partial U} \Delta U - \frac{\partial Q_H}{\partial U} \Delta U,$$

тогда

$$\Delta E = \frac{\Delta_1}{\Delta} \quad \text{и} \quad \Delta \delta = \frac{\Delta_2}{\Delta},$$

где

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} F_1 \frac{\partial P_r}{\partial \delta} \\ F_2 \frac{\partial Q_r}{\partial \delta} \end{vmatrix}; \Delta_2 = \begin{vmatrix} \frac{\Delta P_r}{\partial E} F_1 \\ \frac{\partial Q_r}{\partial E} F_2 \end{vmatrix}; \Delta = \begin{vmatrix} \frac{\partial P_r}{\partial E} & \frac{\partial P_r}{\partial \delta} \\ \frac{\partial Q_r}{\partial E} & \frac{\partial Q_r}{\partial \delta} \end{vmatrix}$$

Результаты по определению приращений параметров режима промежуточной системы при разных условиях регулирования представлены в табл. 1.

Приращения параметров режима ПЭС, найденные из условий работы магистральной ЛЭП, не должны противоречить требованиям поддержания напряжения у потребителей, экономичности и другим техническим условиям внутри ПЭС, т. е. возможности реализации нужных условий регулирования должны быть совместимы с работой потребителей и генераторов ПЭС.

Далее зависимости ΔP_c (ΔU_6) и ΔQ_c (ΔU_6) должны быть пересчитаны непосредственно к узлу подключения ПЭС с учетом продольной и поперечной составляющей потерь напряжения.

Были произведены расчеты для условий 1, 2 и 7 по определению предела передаваемой мощности линии без потерь длиной 1000 км, $U_n=500$ кВ, с промежуточным присоединением в центре, работающей без перепада напряжений (рис. 2).

На первом этапе расчетов ПЭС предполагалась сбалансированной, определялся идеальный предел мощности, поток уравнивающей мощности и напряжение в середине линии. На втором этапе по соответствующей статической характеристике находились мощности небаланса и параметры промежуточного присоединения, собственные и взаимные сопротивления схемы, мощности конца и напряжение в узле подключения ПЭС. Далее расчеты повторялись до схождения результатов по напряжению в узле подключения ПЭС.

Итоги и выводы

Результаты расчетов по первому способу регулирования представлены на рис. 3 (№ 1), мощность $1,15 P_{нат}$ является пределом для линии без учета ПЭС. Расчеты проводились для мощности промежуточной системы, равной 0,2; 0,4; 0,6 от натуральной мощности линии. Мощность автотрансформатора связи принималась равной требуемой резервной мощности ПЭС (0,1 S ПЭС).

По второму способу регулирования результаты представлены на рис. 3 (№ 2). Совместно с 3 (№ 1) они позволяют судить о том, что влияние на предел передаваемой по линии естественных статических характеристик нагрузок ПЭС оказывается незначительным. Влияние получается более заметным при большей мощности ПЭС и соответствующем воздействии на генераторы и синхронные компенсаторы ПЭС и компенсации реактивности автотрансформатора связи.

Так, регулирование по способу № 7 табл. 1 дает:

$$7a \quad \text{При } \Delta U = -0,1 \quad \Delta P_r = 0,1 \quad \text{и} \quad \Delta Q_r = 0,1$$

$$S_{пэс} = 0,6 \quad S_{пэс} = 0,6 \quad S_{пэс} = 0,6$$

$$S_T = 0,06 \quad S_T = 0,18 \quad x_T = 0$$

$$P_{пред} = 1,22 \quad P_{пред} = 1,25 \quad P_{пред} = 1,27.$$

$$7b \quad \text{При } \Delta U = -0,1 \quad \Delta P = 0,2 \quad \text{и} \quad \Delta Q = 0,2$$

$$S_{пэс} = 0,4; \quad x_T = 0; \quad P_{пред} = 1,415.$$

Увеличение предела передаваемой мощности для условий 7б составляет 23 проц.

Таблица 1

№ п.п.	Условия регулирования	Приращения параметров режима					ΔP_c	ΔQ_c
		ΔP_r	ΔQ_r	ΔE	$\Delta \delta$			
1	$P_r = \text{const};$ $Q_r = \text{const}$	0	0	$\frac{1}{U}(E - 2U \cos \delta) \Delta U$	$\frac{2}{E} \sin \delta \Delta U$	$\frac{\partial P_H}{\partial U} \Delta U$	$\frac{\partial Q_H}{\partial U} \Delta U$	
2	$E = \text{const};$ $P_r = \text{const}$	0	$\left(\frac{E}{x} - \frac{2U}{x} \cos \delta \right) \Delta U$	0	$-\frac{1}{U} \operatorname{tg} \delta \Delta U$	$\frac{\partial P_H}{\partial U} \Delta U$	$\Delta Q_H + \Delta Q_r$	
3	$E = \text{const};$ $Q_r = \text{const};$	$\left(\frac{E}{x} - \frac{2U}{x} \operatorname{ctg} \delta \right) \Delta U$	0	0	$\left(\frac{2}{E} \cdot \frac{1}{\sin \delta} + \frac{1}{U} \operatorname{ctg} \delta \right) x \Delta U$	$\Delta P_H + \Delta P_r$	$\frac{\partial Q_H}{\partial U} \Delta U$	
4	$\delta = \text{const};$ $P_r = \text{const};$	0	$-\frac{2U}{x} \Delta U$	$-\frac{E}{U} \Delta U$	0	ΔP_H	$\Delta Q_H + \Delta Q_r$	
5	$\delta = \text{const};$ $Q_r = \text{const};$	$\frac{2U}{x} \operatorname{tg} \delta \Delta U$	0	$\left(-\frac{E}{U} + \frac{2}{\cos \delta} \right) \Delta U$	0	$\Delta P_H + \Delta P_r$	ΔQ_H	
6	$\Delta P_r = \Delta P_H;$ $\Delta Q_r = \Delta Q_H;$	ΔP_H	ΔQ_H	—	—	0	0	
7	$\Delta P_r > 0;$ $\Delta Q_r > 0$	—	—	$\frac{\Delta_1}{\Delta}$	$\frac{\Delta_2}{\Delta}$	$\Delta P_H + \Delta P_r$	$\Delta Q_H + \Delta Q_r$	

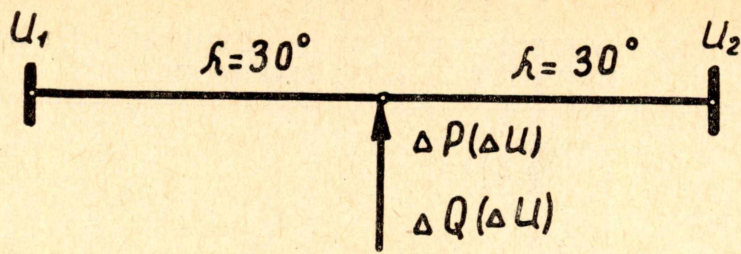


Рис. 2. Условия примера.

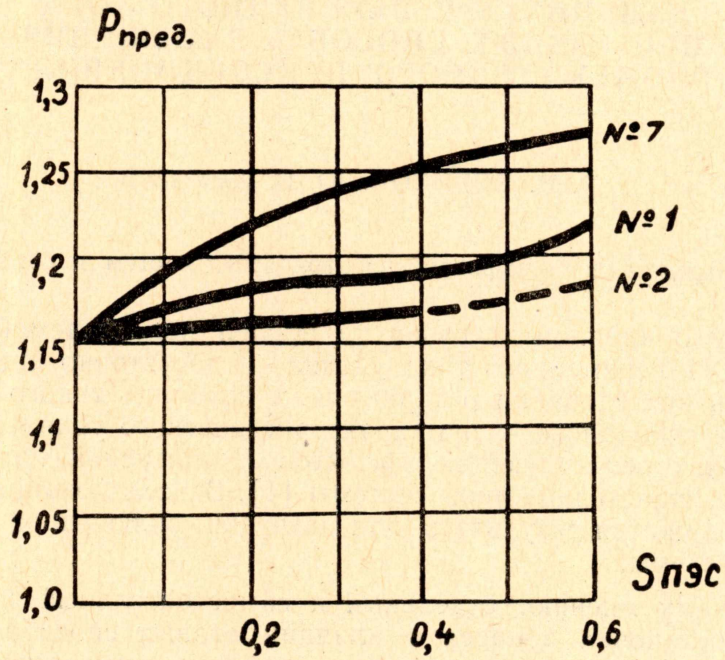


Рис. 3. Результаты расчетов по первому, второму и седьмому способам регулирования.