

**ВЛИЯНИЕ РЕГУЛИРУЮЩИХ ЭФФЕКТОВ
ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОСИСТЕМ
НА СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ
ДАЛЬНИХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Ю. В. ХРУЩЕВ, В. И. ГОТМАН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических станций
и электрических сетей и систем)

По принятому плану электрификации страны предполагается осуществлять передачу больших количеств электроэнергии в Европейскую часть из восточных районов страны по линиям передач постоянного тока напряжением 1,5 млн. в и переменного тока 750 кв. Линии переменного тока неизбежно при этом будут выполнять роль межсистемных связей между соседними электроэнергетическими системами. В силу этого режимные вопросы совместной работы дальних электропередач и промежуточных электросистем приобретают важное значение. Более того, предполагается воспользоваться благоприятным воздействием промежуточных электросистем на режимы дальних ЛЭП и расширить возможности передачи энергии переменным током высокого напряжения.

Возможность и целесообразность осуществления совместной работы дальних электропередач и промежуточных электросистем требует проведения комплексных исследований. В настоящей статье рассматривается только один вопрос этой проблемы — влияние различных законов изменения обменной мощности между промежуточной электросистемой и дальней электропередачей на апериодическую устойчивость удаленной генераторной станции. В целях упрощения расчетов промежуточная электросистема предполагается сбалансированной по активной и реактивной мощности при номинальном напряжении на шинах среднего напряжения автотрансформатора связи T_2 (рис. 1). В этом случае, очевидно, влияние регулирующих эффектов по напряжению в точке примыкания может быть полностью исключено только при плавном и безинерционном регулировании. При помощи РПН реального автотрансформатора можно осуществлять, как известно, только ступенчатое регулирование напряжения. Поэтому в каждом конкретном установившемся режиме влияние РПН автотрансформатора связи не будет сказываться, и при оценке апериодической устойчивости дальней электропередачи по практическому критерию $\frac{\partial P}{\partial \delta}$ следует учитывать реальные регулирующие эффекты промежуточной электросистемы. Если последние таковы, что производная $\frac{\partial P}{\partial \delta}$ увеличивает свое значение, то, очевидно, можно говорить о благоприятном воздействии регулирую-

щих эффектов промежуточной электросистемы на аperiodическую устойчивость дальней ЛЭП.

При упрощенном учете АРВ генераторов удаленной электростанции Γ_1 и при отсутствии регулирующих эффектов сбалансированной промежуточной электросистемы для схемы (рис. 1) будет справедливым следующее уравнение малых колебаний [1].

$$T_j P^2 \Delta \delta_1 + S_{\text{Ex}\delta} \Delta \delta_1 = 0, \quad (1)$$

где T_j — постоянная инерции;

$S_{\text{Ex}\delta}$ — синхронизирующий момент, определенный при постоянстве э. д. с. генератора, приложенной за некоторым сопротивлением x .

При учете характеристик промежуточной электросистемы уравнение малых колебаний роторов может быть записано в несколько ином виде [1, 2]:

$$\left(T_j P^2 + \frac{\partial P_{1A}}{\partial \delta_1} \right) \Delta \delta_1 + \frac{\partial P_{1A}}{\partial \delta_A} \Delta \delta_A + \frac{\partial P_{1A}}{\partial U_A} \Delta U_A. \quad (2)$$

Последнее уравнение следует дополнить уравнениями баланса активной и реактивной мощности в точке примыкания:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{A1} + \Delta P_{AO} + \Delta P_C &= 0 \\ \Delta Q_{A1} + \Delta Q_{AO} + \Delta Q_C &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Выразив приращения мощностей ΔP и ΔQ в последних уравнениях через отклонения параметров ΔU_A , $\Delta \delta_A$, $\Delta \delta_1$, получим уравнения баланса в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P_{A1}}{\partial \delta_1} \Delta \delta_1 + \left(\sum \frac{\partial P}{\partial \delta_A} + K_{P\delta} \right) \Delta \delta_A + \left(\sum \frac{\partial P}{\partial U_A} + K_{PU} \right) \Delta U_A &= 0 \\ \frac{\partial Q_{A1}}{\partial \delta_1} \Delta \delta_1 + \left(\sum \frac{\partial Q}{\partial \delta_A} + K_{Q\delta} \right) \Delta \delta_A + \left(\sum \frac{\partial Q}{\partial U_A} + K_{QU} \right) \Delta U_A &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} \sum \frac{\partial P}{\partial \delta_A} &= \frac{\partial P_{A1}}{\partial \delta_A} + \frac{\partial P_{AO}}{\partial \delta_A}; \\ \sum \frac{\partial P}{\partial U_A} &= \frac{\partial P_{A1}}{\partial U_A} + \frac{\partial P_{AO}}{\partial U_A}; \\ \sum \frac{\partial Q}{\partial \delta_A} &= \frac{\partial Q_{A1}}{\partial \delta_A} + \frac{\partial Q_{AO}}{\partial \delta_A}; \end{aligned}$$

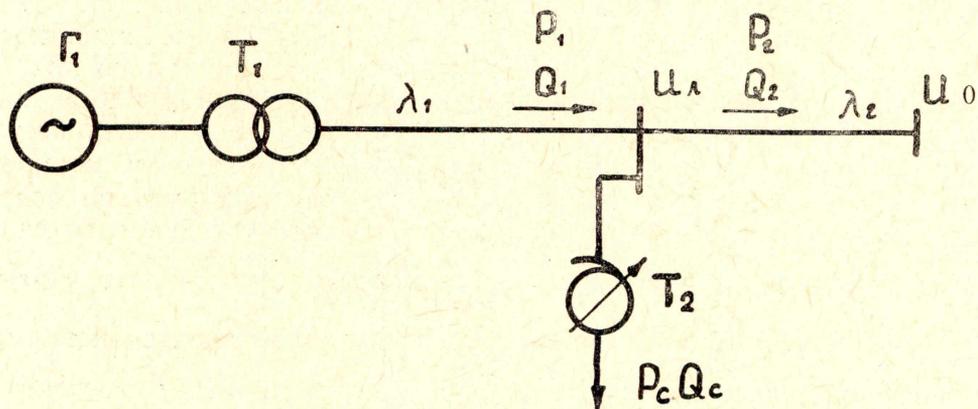


Рис. 1. Схема электропередачи.

$$\sum \frac{\partial Q}{\partial U_A} = \frac{\partial Q_{A1}}{\partial U_A} + \frac{\partial Q_{A0}}{\partial U_A}.$$

Через $K_{P\delta}$, K_{PU} , $K_{Q\delta}$, K_{QU} обозначены регулирующие эффекты активной и реактивной мощности промежуточной электросистемы по углу и модулю вектора напряжения \bar{U}_A .

Исключая из системы уравнений (2) и (4) переменные $\Delta\delta_A$ и ΔU_A , получим уравнение движения роторов в следующем виде:

$$a_0 T_j P^2 \Delta\delta_1 + a_2 \Delta\delta_1 = 0, \quad (5)$$

где

$$a_0 = \left(\sum \frac{\partial P}{\partial \delta_A} + K_{P\delta} \right) \left(\sum \frac{\partial Q}{\partial U_A} + K_{QU} \right) - \left(\sum \frac{\partial Q}{\partial \delta_A} + K_{Q\delta} \right) \left(\sum \frac{\partial P}{\partial U_A} + K_{PU} \right);$$

$$a_2 = \begin{vmatrix} \frac{\partial P_{1A}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{1A}}{\partial \sigma_A} & \frac{\partial P_{1A}}{\partial U_A} \\ \frac{\partial P_{A1}}{\partial \delta_1} \sum \frac{\partial P}{\partial \delta_A} + K_{P\delta} & \sum \frac{\partial P}{\partial U_A} + K_{PU} \\ \frac{\partial Q_{A1}}{\partial \delta_1} \sum \frac{\partial Q}{\partial \delta_A} + K_{Q\delta} & \sum \frac{\partial Q}{\partial U_A} + K_{QU} \end{vmatrix}$$

Сопоставляя уравнения (1) и (5), находим, что синхронизирующий момент линии с учетом регулирующих эффектов промежуточной электросистемы равен отношению коэффициентов a_2 и a_0 .

$$S_{Ex\delta} = \frac{a_2}{a_1} \quad (6)$$

Выясним, каким образом влияет каждый из регулирующих эффектов в отдельности на синхронизирующий момент $S_{Ex\delta}$. Для примера рассмотрим дальнюю электропередачу без потерь длиной $l = 1200, 2400$ и 3600 км. Напряжения по концам считаются постоянными и равными номинальному, промежуточная электросистема подключена в середине линии (рис. 1).

Результаты расчетов для натурального режима представлены на рис. 2, 3, 4. На этих рисунках выделены области благоприятного воздействия регулирующих эффектов (сплошные линии) и области неблагоприятного воздействия (штриховые линии). Характерно, что зависимости $S_{U_1\delta} = f_1(K_{QU})$ и $S_{U_1\delta} = f_2(K_{P\delta})$ (рис. 2, 3) имеют вид гиперболических кривых с двумя ветвями, причем для линий длиной менее 3000 км одна из ветвей полностью расположена в области отрицательных значений регулирующих эффектов $K_{P\delta}$ и K_{QU} и благоприятно воздействует на синхронизирующий момент $S_{U_1\delta}$. Вторые ветви этих кривых только при положительных значениях регулирующих эффектов увеличивают синхронизирующий момент. Области неблагоприятного влияния сокращаются по мере приближения длины линии к 3000 км и находятся в следующих пределах:

$$0 > K_{P\delta} > \frac{\sum \frac{\partial P}{\partial U_A} \cdot \sum \frac{\partial Q}{\partial \delta_A} - \sum \frac{\partial P}{\partial \delta_A} \cdot \sum \frac{\partial Q}{\partial U_A}}{\sum \frac{\partial Q}{\partial U_A}};$$

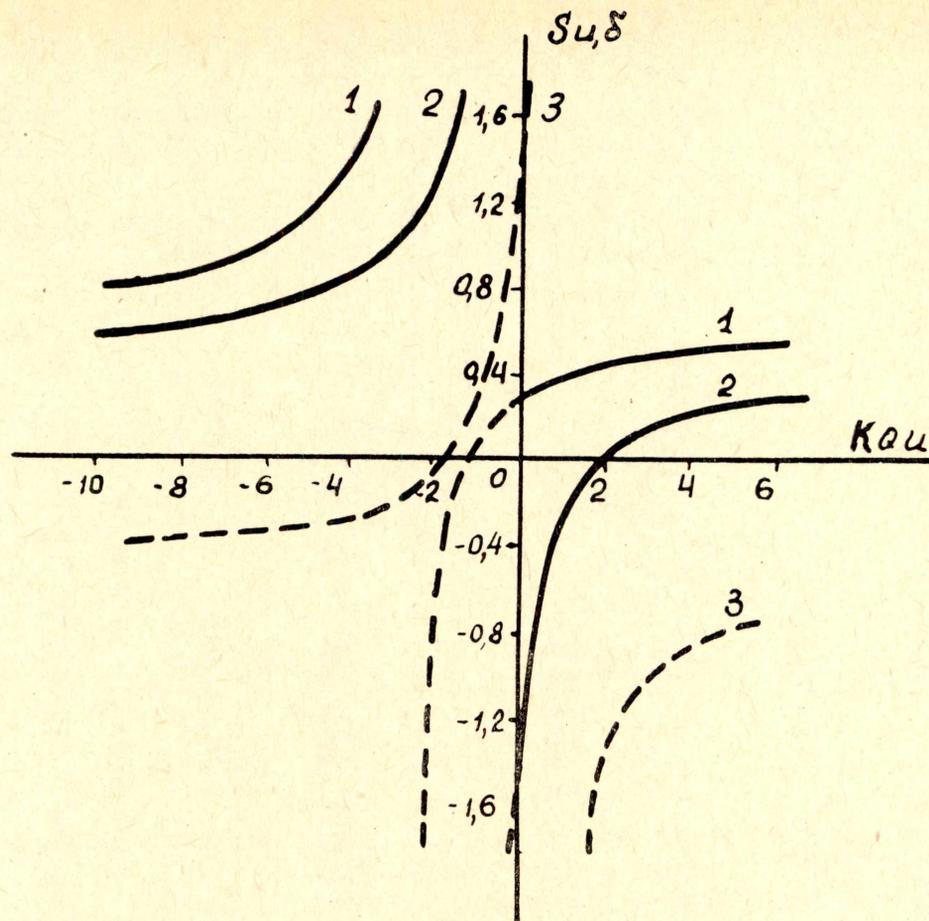


Рис. 2. Зависимости $S_{U\delta} = f_1(K_{QU})$ при $P_{*1} = P_{*2} = 1$, $\lambda_1 = \lambda_2$:
 1— $l = 1200$ км; 2— $l = 2400$ км; 3— $l = 3600$ км.

$$0 < K_{QU} > \frac{\sum \frac{\partial P}{\partial U_A} \cdot \sum \frac{\partial Q}{\partial \delta_A} - \sum \frac{\partial P}{\partial \delta_A} \cdot \sum \frac{\partial Q}{\partial U_A}}{\sum \frac{\partial P}{\partial \delta_A}}$$

Зависимости $S_{U\delta} = f_3(K_{PU})$ и $S_{U\delta} = f_4(K_{Q\delta})$ при принятых условиях совпадают и выражены прямыми линиями (рис. 4).

Для линий $l < 3000$ км благоприятное воздействие оказывают отрицательные значения регулирующих эффектов K_{PU} и $K_{Q\delta}$. Воздействие этих эффектов усиливается при приближении длины линии к $l = 3000$ км.

Для линий длиной $l > 3000$ км все регулирующие эффекты оказывают в некотором смысле обратное воздействие по отношению к линиям длиной $l < 3000$ км.

Так для линии $l = 3600$ км регулирующие эффекты $K_{P\delta}$ и $K_{Q\delta}$ оказывают отрицательное влияние практически при всех их значениях (рис. 3), за исключением небольшого участка, расположенного на положительной полуоси. Регулирующие эффекты K_{PU} и $K_{Q\delta}$ увеличивают синхронизирующий момент при положительных своих значениях. В этом случае может оказаться целесообразным подключение линий к нагрузочным узлам промежуточных электросистем, которые, как известно, обладают положительными регулируемыми эффектами активной мощности по напряжению.

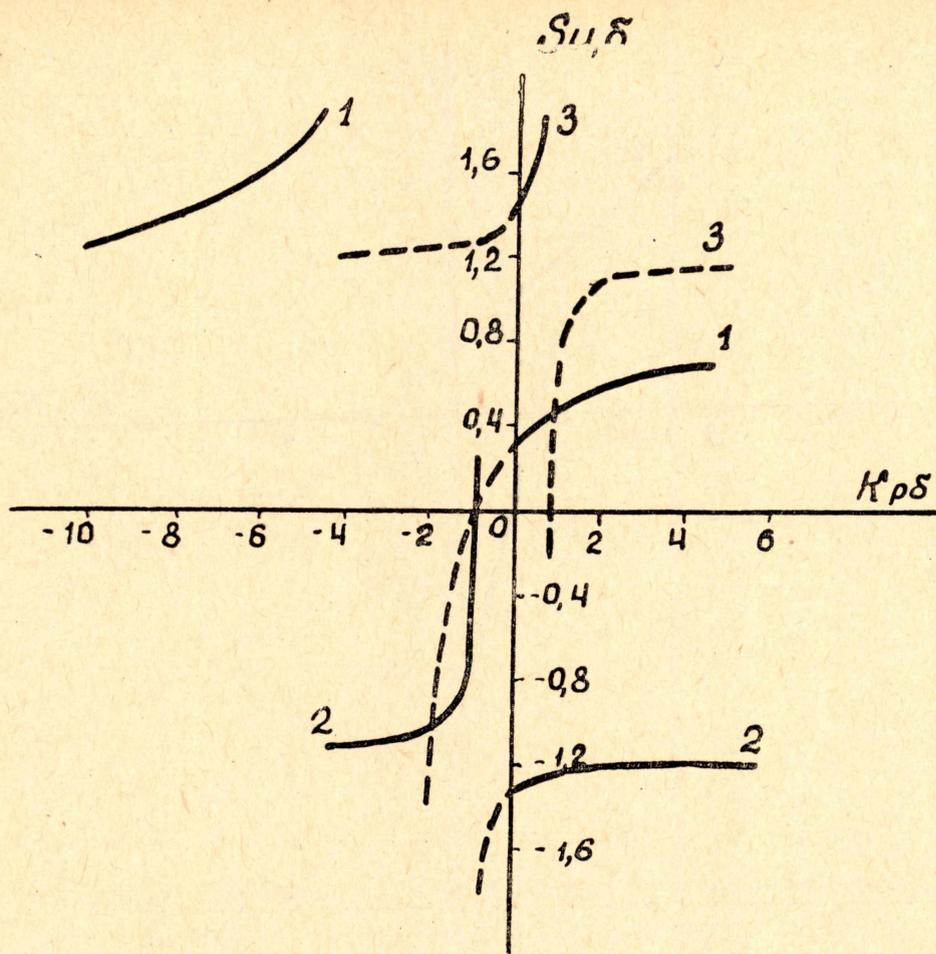


Рис. 3. Зависимости $SU_{1\delta} = f_2(Kr\delta)$ при $P_{*1} = P_{*2} = 1; \lambda_1 = \lambda_2$:
 1— $i = 1200$ км; 2— $i = 2400$ км; 3— $i = 3600$ км.

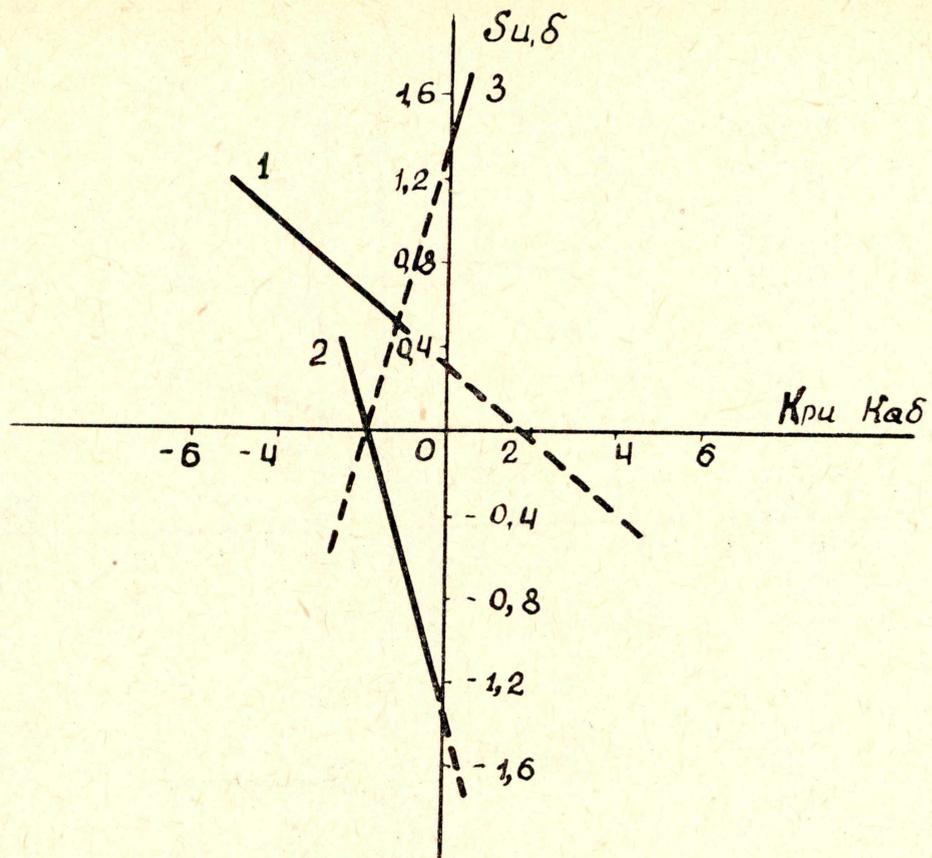


Рис. 4. Зависимости $S_{U_{1\delta}}=f_3(K_{pu})$ и $S_{U_{1\delta}}=f_4(K_{q\delta})$ при $P_{*1}=P_{*2}=1$; $\lambda_1=\lambda_2$:
 1 — $l=1200$ км; 2 — $l=2400$ км; 3 — $l=3600$ км.

ЛИТЕРАТУРА

1. **В. А. Веников.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах. «Энергия», 1964.
2. **Л. В. Цукерник.** Анализ матрицы коэффициентов уравнений возмущенного движения сложной энергетической системы и определение порядка характеристического уравнения. Сборник трудов института электротехники, вып. 16. Изд. АН УССР, 1959.
3. **В. А. Веников, Л. В. Жуков.** Регулирование режима электрических систем и дальних электропередач и повышение их устойчивости при помощи управляемых статических ИРМ. Электричество, № 6, 1967.