

## СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ СВЯЗАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ

Ряд крупных промышленных предприятий республики, предъявляющих повышенные требования к качеству электроэнергии, питаются непосредственно от шин ТЭЦ. Падение напряжения в токопроводах, питающих потребителя, может достигать более 10%. В связи с этим на шинах генераторов ТЭЦ должно осуществляться автоматическое регулирование напряжения.

В рассматриваемой схеме (рис. 1) нагрузка генераторов изменяется по взаимно независимым законам. Поскольку генераторы связаны между собой через секционный реактор при синтезе системы регулирования, необходимо учитывать взаимное влияние их напряжений.

Система управления обеспечивает инвариантность регулирования напряжения каждого из генераторов по отношению к нагрузке и задающему воздействию соседнего генератора.

Функциональная схема рассматриваемой связанной системы приведена на рис. 1, б.

Необходимым элементом структуры рассматриваемой системы автоматического регулирования генераторного напряжения является наличие самонастраивающихся управляющих блоков, формирующих алгоритмы управления [1], каждый из которых воздействует на систему автоматического регулирования напряжения генератора, питающего секцию с подключенной нагрузкой.

Используя результаты исследований синхронного генератора, как объекта регулирования [2], составим структурную схему исследуемой системы (рис. 2).

На структурной схеме введены следующие обозначения:  $k_{r1}$ ,  $k_{r2}$ ,  $k_{v1}$ ,  $k_{v2}$ ,  $k_{k1}$ ,  $k_{k2}$  — коэффициенты усиления синхронных генераторов, возбудителей и электромагнитных корректоров напряжений;  $k_{oc1}$ ,  $k_{oc2}$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  — коэффициенты усиления основных и гибких обратных связей;  $k_{yk1}$ ,  $k_{yk2}$  — коэффициенты усиления устройств компаундирования;  $a_{12}(p)$ ,  $a_{21}(p)$  — передаточные функции секционного реактора;  $x_{d1}$ ,  $x_{d2}$  — синхронные реактансы генераторов;  $T_{p1}$ ,  $T_{p2}$ ,  $T_{v1}$ ,  $T_{v2}$ ,  $T_{k1}$ ,  $T_{k2}$  — постоянные времени роторов синхронных генера-

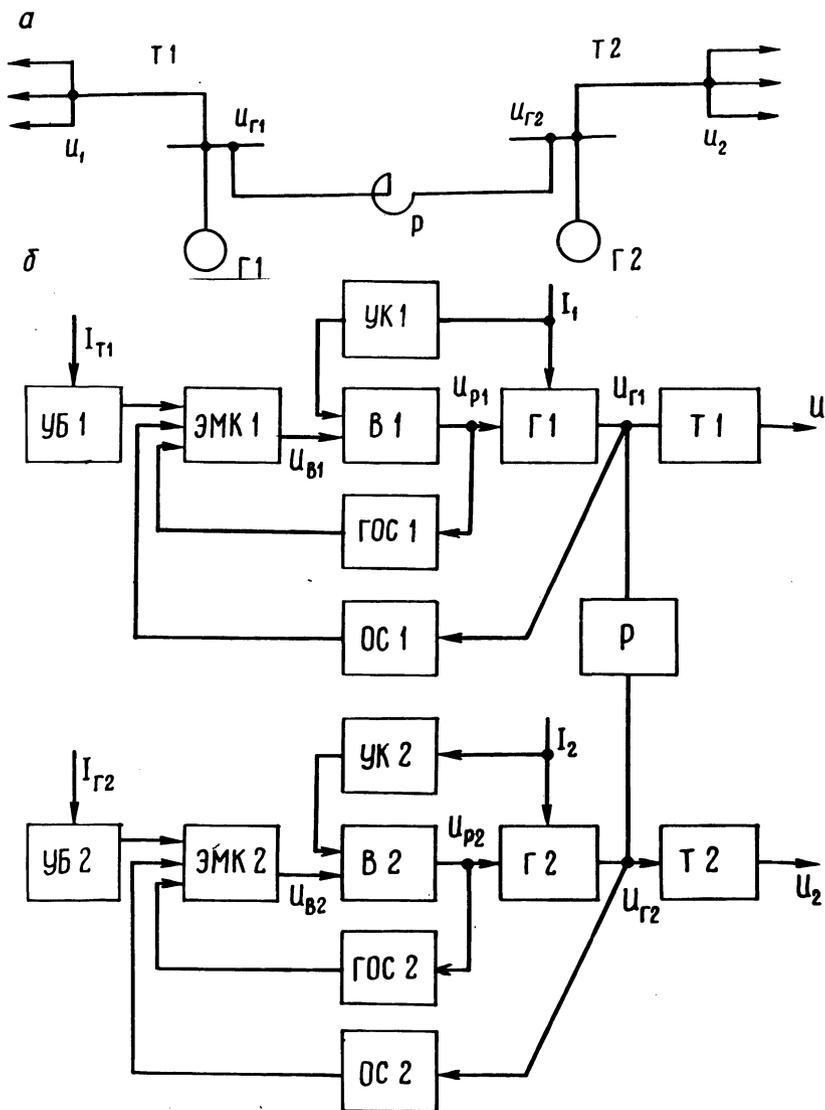


Рис. 1. Схема первичных соединений (а), функциональная схема связанной системы регулирования (б):

$\Gamma_1, \Gamma_2, B_1, B_2$ —синхронные генераторы и возбудители;  $T_1, T_2$ —токопроводы;  $P$ —секционный реактор;  $ЭМК1, ЭМК2$ —электромагнитные корректоры напряжений;  $УК1, УК2$ —устройства компаундирования;  $ОС1, ОС2, ГОС1, ГОС2$ —основные жесткие и стабилизирующие гибкие обратные связи;  $УБ1, УБ2$ —управляющие (задающие) блоки;  $U_{Г1}, U_{Г2}, U_1, U_2$ —напряжения на шинах генераторов и обмоток возбуждения возбудителей;  $I_1, I_2, J_{T1}, J_{T2}$ —токи статоров генераторов и токопроводов.

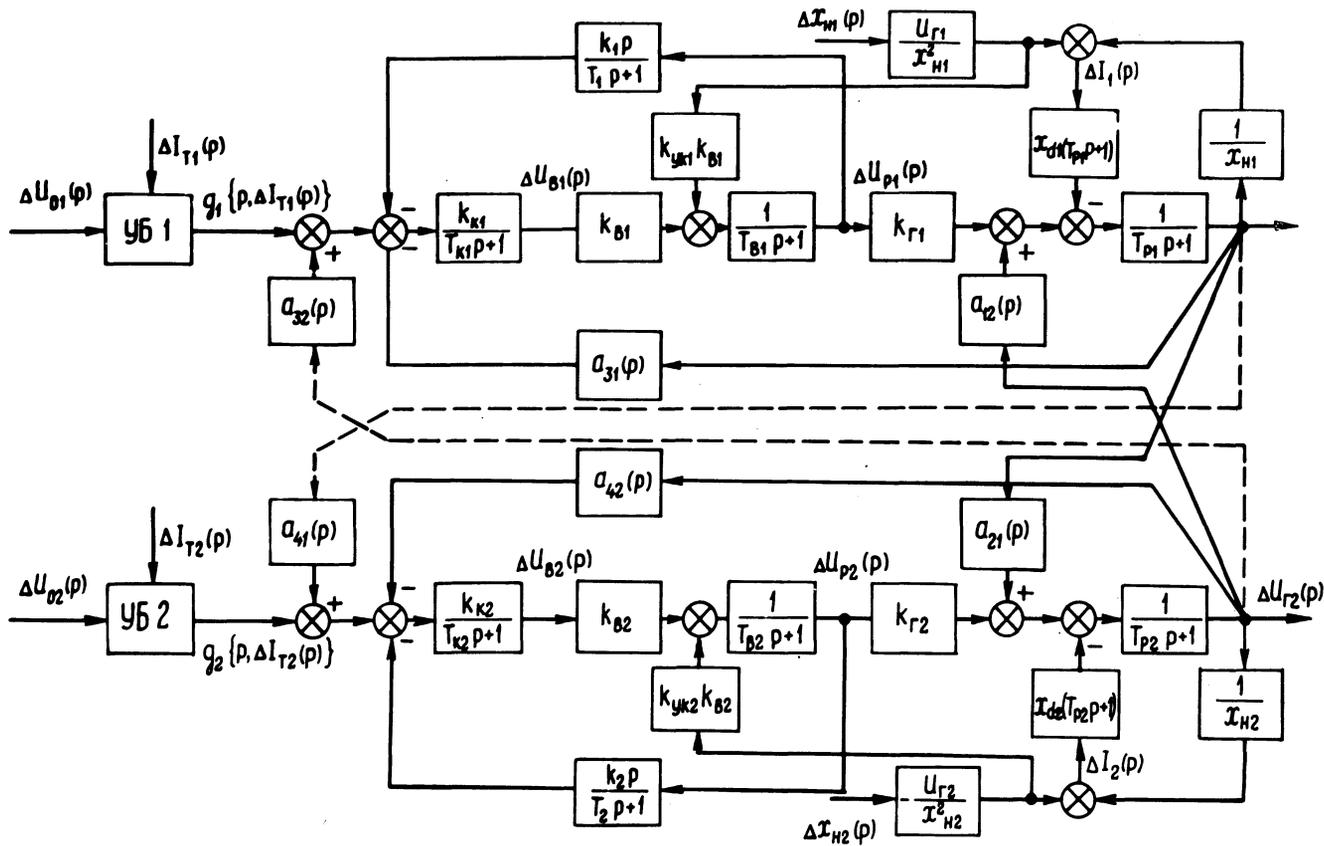


Рис. 2. Структурная схема связанной системы автоматического регулирования напряжений.

торов, возбудителей и корректоров напряжений;  $g_1\{p, \Delta I_{T1}(p)\}$ ,  $g_2\{p, \Delta I_{T2}(p)\}$  - изображения по Лапласу алгоритмов управляющих воздействий, обеспечивающих требуемый закон регулирования параметров с отрицательным статизмом:

$$\left. \begin{aligned} a_{12}(p) &= \frac{k_p(x_{d1} + x_{H1})(T_{p1} p + 1)}{x_{H1}}, & a_{21}(p) &= \frac{k_p(x_{d2} + x_{H2})(T_{p2} p + 1)}{x_{H2}} \\ a_{31}(p) &= k_{oc1} - \frac{k_{yK1}(T_{K1} p + 1)}{k_{K1} x_{H1}}, & a_{42}(p) &= k_{oc2} - \frac{k_{yK2}(T_{K2} p + 1)}{k_{K2} x_{H2}} \end{aligned} \right\}$$

Система уравнений, соответствующая структурной схеме имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} & \frac{(x_{d1} + x_{H1})(T_{p1} p + 1)}{x_{H1}} \Delta U_{r1}(p) - a_{12}(p) \Delta U_{r2}(p) + 0 + 0 - \\ & - k_{r1}(p) \Delta U_{p1}(p) + 0 = \frac{x_{d1} U_{r1}(T_{p1} p + 1)}{x_{H1}^2} \Delta x_{H1}(p), \\ & - a_{21}(p) \Delta U_{r1}(p) + \frac{(x_{d2} + x_{H2})(T_{p2} p + 1)}{x_{H2}} \Delta U_{r2}(p) + 0 + 0 + 0 - \\ & - k_{r2}(p) \Delta U_{p2}(p) = \frac{x_{d2} U_{r2}(T_{p2} p + 1)}{x_{H2}^2} \Delta x_{H2}(p), \\ & a_{31}(p) \Delta U_{r1}(p) + 0 + \frac{T_{K1} p + 1}{k_{K1}} \Delta U_{B1}(p) + 0 + \frac{k_1 p}{T_1 p + 1} \Delta U_{p1}(p) + 0 = \\ & = g_1\{p, \Delta I_{T1}(p)\}, \\ & 0 + a_{42}(p) \Delta U_{r2}(p) + 0 + \frac{T_{K2} p + 1}{k_{K2}} \Delta U_{B2}(p) + 0 + \frac{k_2 p}{T_2 p + 1} \Delta U_{p2}(p) = \\ & = g_2\{p, \Delta I_{T2}(p)\}, \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\begin{aligned}
 0 + 0 - k_{B1} \Delta U_{B1}(p) + 0 + (T_{B1}^{p+1}) \Delta U_{p1}(p) + 0 &= \\
 &= - \frac{k_{yK1} k_{B1} U_{r1}}{x_{H1}^2} \Delta x_{H1}(p), \\
 0 + 0 + 0 - k_{B2} \Delta U_{B2}(p) + 0 + (T_{B2}^{p+1}) \Delta U_{p2}(p) &= \\
 &= - \frac{k_{yK2} k_{B2} U_{r2}}{x_{H2}^2} \Delta x_{H2}(p).
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Анализ системы уравнений (2) показывает, что генераторное напряжение зависит не только от возмущений (нагрузки) управляющего воздействия в САР возбуждения генератора, питающего секцию, но и является функцией возмущений и управляющего воздействия соседнего генератора

$$\begin{aligned}
 \Delta U_{r1}(p) &= F_1 \left\{ g_1 [p, \Delta I_{T1}(p)], \Delta I_1(p), g_2 [p, \Delta I_{T2}(p)], \Delta I_2(p) \right\}, \\
 \Delta U_{r2}(p) &= F_2 \left\{ g_2 [p, \Delta I_{T2}(p)], \Delta I_2(p), g_1 [p, \Delta I_{T1}(p)], \Delta I_1(p) \right\}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Поэтому изменения напряжений на шинах генераторов вызваны и взаимным влиянием  $g_1 \{p, \Delta I_{T1}(p)\}$ ,  $\Delta I_1(p)$  на  $\Delta U_{r2}(p)$  и  $g_2 \{p, \Delta I_{T2}(p)\}$ ,  $\Delta I_2(p)$  на  $\Delta U_{r1}(p)$ .

Из решения системы уравнений (2) следует, что условиями абсолютной инвариантности  $\Delta U_{r1}(p)$  относительно  $g_2 \{p, \Delta I_{T2}(p)\}$  и  $\Delta I_2(p)$ ,  $\Delta U_{r2}(p)$  относительно  $g_1 \{p, \Delta I_{T1}(p)\}$  и  $\Delta I_1(p)$  является тождественное равенство нулю миноров  $a_{12}(p)$  и  $a_{21}(p)$  главного определителя системы

$$a_{12}(p) = 0, \quad a_{21}(p) = 0.
 \tag{4}$$

Для выполнения условий (4) необходимо синтезировать такие перекрестные связи, которые бы компенсировали взаимные влияния естественных связей в системе регулирования. В результате анализа главного характеристического определителя системы (2) находим искомые искусственные связи в системе регулирования:

$$a_{32}(p) = - \frac{a_{12}(T_{k1}^{p+1})(T_{b1}^{p+1})}{k_{r1} k_{b1} k_{k1}}, \quad (5)$$

$$a_{41}(p) = - \frac{a_{21}(p)(T_{k2}^{p+1})(T_{b1}^{p+1})}{k_{r2} k_{b2} k_{k2}}.$$

Перекрестные связи показаны на рис. 2 пунктиром. Эти связи обеспечивают необходимые условия осуществимости абсолютной инвариантности и имеют сложную структуру. Для независимого регулирования напряжений в установившихся режимах оказывается достаточно ввести жесткие компенсирующие связи. Условия статической инвариантности и соответствующие коэффициенты усиления безынерционных компенсирующих связей получим из (5) с учетом значений операторов из (1), положив  $p=0$ :

$$a_{32}(0) = - \frac{k_p(x_{d1} + x_{n1})}{k_{r1} k_{b1} k_{k1} x_{n1}}, \quad a_{41}(0) = - \frac{k_p(x_{d2} + x_{n2})}{k_{r2} k_{b2} k_{k2} x_{n2}}. \quad (6)$$

Введение синтезированных жестких перекрестных связей обеспечивает независимое регулирование напряжений на шинах генераторов в установившихся режимах.

### Л и т е р а т у р а

1. Лекаш М.Н. Самонастраивающиеся по принципу инвариантности системы автоматического регулирования напряжения. "Электричество", 1971, № 4. 2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М., 1970.

Е.Г. Поспелов

### ПРОХОЖДЕНИЕ БЛУЖДАЮЩИХ ВОЛН ЧЕРЕЗ УСТАНОВКИ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Продольная компенсация индуктивного сопротивления воздушных линий электропередач нашла широкое распространение в современных электрических системах: для повышения устойчивости протяженных систем электропередач [1], для регулирования напряжения электрических сетей и для оптимизации режимов в замкнутых электрических сетях.