

А.А. КАЗАНЧЯН, В.А. КАЗАНЧЯН

**ВОПРОСЫ ИЗМЕНЕНИЯ СТАТИЗМА В СИСТЕМАХ  
УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ**

Վերաբերված են ստատիզմի փոփոխման միջոցները լարման ավտոմատ  
վարչակողմից: Առաջարկվում են ստատիզմի փոփոխման երկու եղանակներ՝ սի  
գնալը, ստատիզմի առաջադրանքային արժեքին հասնում են փոփոխելով կոմպլեքսի  
փոխանցման գործակիցի մեծությունը: Տեսակարարի կայունության և անցելի գործիքների  
տեղի ցուցանիշների հետազոտությունները կատարվել են ժամանակակից րոմիտրիզացիո  
MATLAB ծրագրային փաթեթի օգնությամբ: Մյուս դեպքում, ստատիզմի առաջադրանքային  
արժեքին հասնում են՝ օգտագործելով վրդվող ազդանշան, որի շնորհիվ արժան  
ավտոմատ վարչակողմի ստատիզմ լարման ազդանշանի հետ մեկտեղ արվում է կոմպլե  
քսի:

Предлагаются два способа изменения статизма в автоматических  
регуляторах напряжения (АРН). В первом случае достигается необходимос  
значение статизма при изменении передаточного коэффициента системы.  
Стабильность и качество переходных процессов системы с этим передаточным  
коэффициентом исследованы с помощью компьютерного пакета программ  
MATLAB. Во втором случае требуемое значение статизма достигается  
использованием возмущающего воздействия, в результате чего ко входу АРН  
подаётся сигнал по току совместно с сигналом напряжения.

Ил. 4. Библиогр. 2 назв.

Statism variation means in automatic voltage regulators are discussed. Two  
methods of statism changes are proposed. In the first case, the given statism value is  
obtained by changing the transmission coefficient of the system. Stability and system  
transmission quality with this transmission coefficient are realized by modern computer  
package MATLAB. In the second case, the given statism value is reached by  
using an exciting signal and as a result the current signal is given to the input of  
automatic voltage regulators together with the voltage signal.

Il. 4. Ref. 2.

Обычно в энергосистемах допускаемое отклонение  
электрического напряжения, поставляемого потребителям, составляет  
±5% номинала для освещения и -10%, -5% для силовых нагрузок. По  
этой причине автоматические регуляторы напряжений генераторов  
(АРНГ), работающие в общей энергосистеме, настраиваются на  
статическую характеристику со значением статизма в пределах  
1-5% [1]. Под статизмом подразумевается относительное  
изменение напряжения генератора, когда ток нагрузки принимает  
значения от нуля до номинального значения. При этом напряжение  
генератора падает на 5%.

Как известно, АРНГ имеют следующую функциональную схему  
(рис.1)

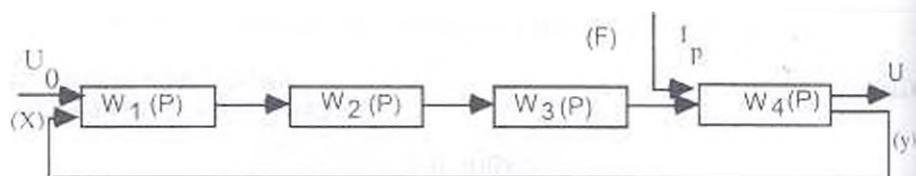


Рис. 1

Нетрудно заметить, что

$$W'_{1y}(P) = W_{1y}(P) / (1 + W(P)), \quad (1)$$

где  $W(P) = W_1(P)W_2(P)W_3(P)W_4(P)$ .

Здесь  $W_1(P)$ ,  $W_2(P)$ ,  $W_3(P)$ ,  $W_4(P)$ ,  $W_{1y}(P)$  - передаточные функции измерительного звена, усилителя, исполнительного механизма, синхронного генератора, звеньев, начиная со звена, к которому приложено возмущающее воздействие (ток нагрузки), и до выхода.

Современные АРН, как правило, не содержат интегрирующих звеньев. Однако и генератор, и все элементы АРН имеют передаточные функции вида  $W_i(P) = K_i / (T_i P + 1)$ . Следовательно, в статическом режиме, т.е. при  $P=0$ , получаем  $W_i(0) = K_i$ , а выражение (1) принимает вид  $W'_{1y} = K_{1y} / (1 + K)$ . Откуда нетрудно

получить, что  $Y = F \frac{K_{1y}}{1 + K}$ , где  $K = K_1 K_2 K_3 K_4 K_{1y}$ ,  $K_{1y}$  - коэффициент передачи в передаточной функции  $W_{1y}(P)$  [2].

Если в качестве  $Y$  взять относительное изменение напряжения  $\Delta U$ , а в качестве возмущающего воздействия  $F$  - относительное изменение тока  $\Delta I_p$ , то получим

$$\Delta U' / \Delta I_p = K_{1y} / (1 + K), \quad (2)$$

т.е. выражение для статизма регулирования:

$$S = K_{1y} / (1 + K). \quad (3)$$

Исходя из последнего соотношения и учитывая, что  $K > 1$ , можно утверждать, что статизм регулирования обратно пропорционален значению коэффициента передачи системы.

Из выражения (3) следует, что для изменения статизма нужно изменить величину знаменателя (т.е. коэффициент передачи системы  $K$ ) и числителя.

Рассмотрим эти два случая подробно.

**Изменение статизма по знаменателю (параметру  $K$ )**

Обычно у турбогенераторов постоянная времени  $T_r$  колеблется в пределах 2.5...5 с, а у гидрогенераторов - в пределах 5...10 с. Возьмем генератор с параметрами  $K_r = 1$  и  $T_r = 5$  с. Передаточная функция будет иметь вид

$$W_r(P) = K_r / (T_r P + 1) = 1 / (5P + 1), \quad (4)$$

для подобного объекта

$$K_{ty} = K_r = 1. \quad (5)$$

Поэтому статизм определяется следующим выражением:

$$S = 1/(1+K). \quad (6)$$

Допустим, при проектировании АРН поставлена задача обеспечить величину статизма  $S = 0,03$ . (Это означает, что на выходе генератора напряжение отклонится от номинального не более чем на 3%). Обсудим вопрос о том, какими параметрами должна обладать подобная система, чтобы быть устойчивой и удовлетворять качественным показателям переходного процесса. Из (6) следует:  $K=32$ . Обычно при проектировании АРН коэффициент передачи принимается равным  $K = 0,5K_{гр.ин}$  (исходя из критерия устойчивости Найквиста). Следовательно,  $K_{гр.ин} = 64$ .

При  $K = K_{гр.ин}$  имеем  $U(w) = -1$ ,  $V(w) = 0$ ,  $W(jw) = U(w) + jV(w)$ , где  $W(jw)$  - амплитудно-фазо-частотная характеристика системы.

В АРН обычно можно пренебречь постоянными времени усилителей. Тогда передаточная функция разомкнутой системы АРН примет вид

$$W(P) = W_1(P)W'_{гр}(P)W_2(P)W_T(P).$$

Подставляя значения  $W_1(P) = K_s / (T_1 P + 1)$  и заменяя  $P$  на  $jw$ , а также учитывая, что при  $K = K_{гр.ин} \cdot 0,5$  -  $U(w) = -1/2$ ,  $V(w) = 0$ , получим

$$\frac{1}{2} K_{гр.ин} = \frac{1}{2} \frac{T_2 + T_3}{T_1} + \frac{1}{2} \frac{T_1 + T_2}{T_2} + \frac{1}{2} \frac{T_2 + T_3}{T_1} + 1, \quad (7)$$

где  $T_1, T_2, T_3$  - постоянные времени измерительного устройства, системы возбуждения (т.е. исполнительного механизма), генератора.

Произведя в (7) замену

$$T_2 = ZT_1 \text{ и } T_3 = 5, \quad (8)$$

получим

$$(Z + Z^2)T_1^2 + (5Z^2 - 310Z + 5)T_1 + 25(Z + 1) = 0. \quad (9)$$

Уравнение (9) дает множество решений  $(T_1, T_2, 5)$ , в каждом из которых рассмотренная система устойчива, причем АФЧХ проходит через точку  $(-0,5; j0)$ .

Ниже приведен лишь неполный список названных решений:

$Z = 30,4$	$T_1 = 0,17$	$T_2 = 5,17$	$T_3 = 5$
$Z = 20$	$T_1 = 0,1267$	$T_2 = 2,535$	$T_3 = 5$
$Z = 15$	$T_1 = 0,1145$	$T_2 = 1,717$	$T_3 = 5$
$Z = 10$	$T_1 = 0,106$	$T_2 = 1,06$	$T_3 = 5$
$Z = 4$	$T_1 = 0,108$	$T_2 = 0,434$	$T_3 = 5$
$Z = 3$	$T_1 = 0,1138$	$T_2 = 0,3414$	$T_3 = 5$
$Z = 2$	$T_1 = 0,1262$	$T_2 = 0,252$	$T_3 = 5$
$Z = 1$	$T_1 = 0,166$	$T_2 = 0,1666$	$T_3 = 5$

Однако пока неясно, которые из них удовлетворяют качественным показателям переходного процесса. Для этого исследуем переходные процессы в указанных случаях, применяя современный пакет программы MATLAB и совмещая его с рассмотрением вопроса устойчивости. На рис. 2 изображены четыре случая из перечисленных, причем удовлетворяющие условиям устойчивости, т.к. их АФЧХ проходят через точку  $(-0,5; j(0))$ .

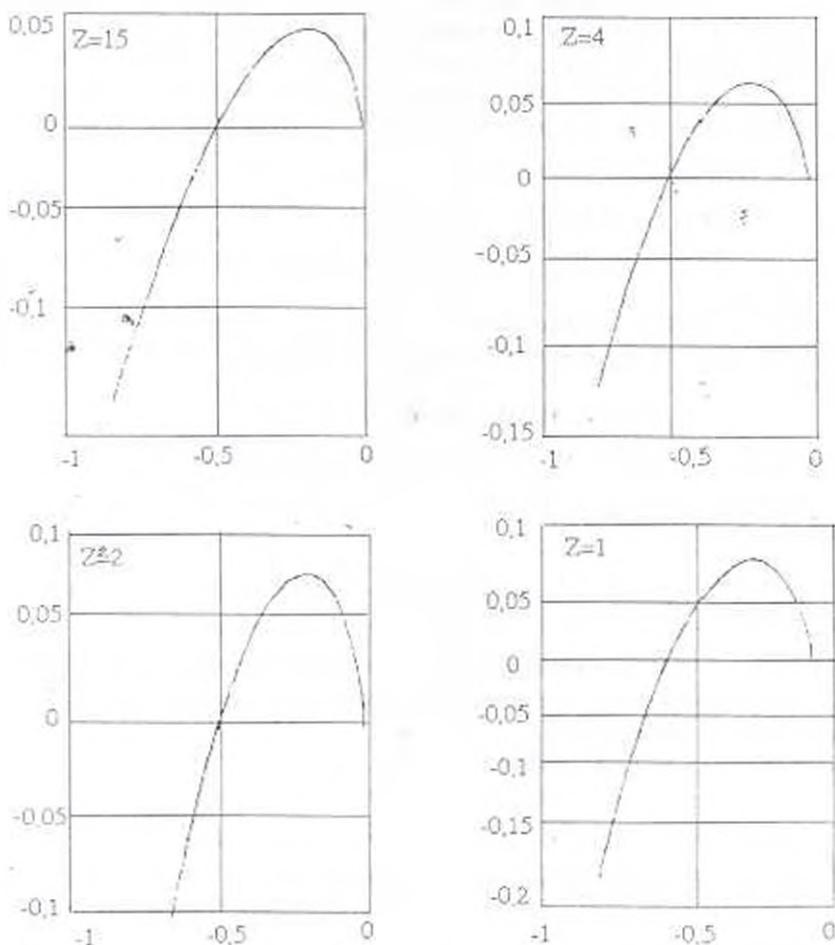


Рис. 2

На рис. 3 изображены исследованные с помощью того же пакета переходные процессы в тех же самых четырех случаях. Нетрудно сделать вывод, что требуемыми показателями качества обладает переходный процесс на последнем графике (рис. 3 г). Следовательно, в данном случае лучшей из имеющихся является тройка параметров  $(0,166; 0,166; 5)$ .

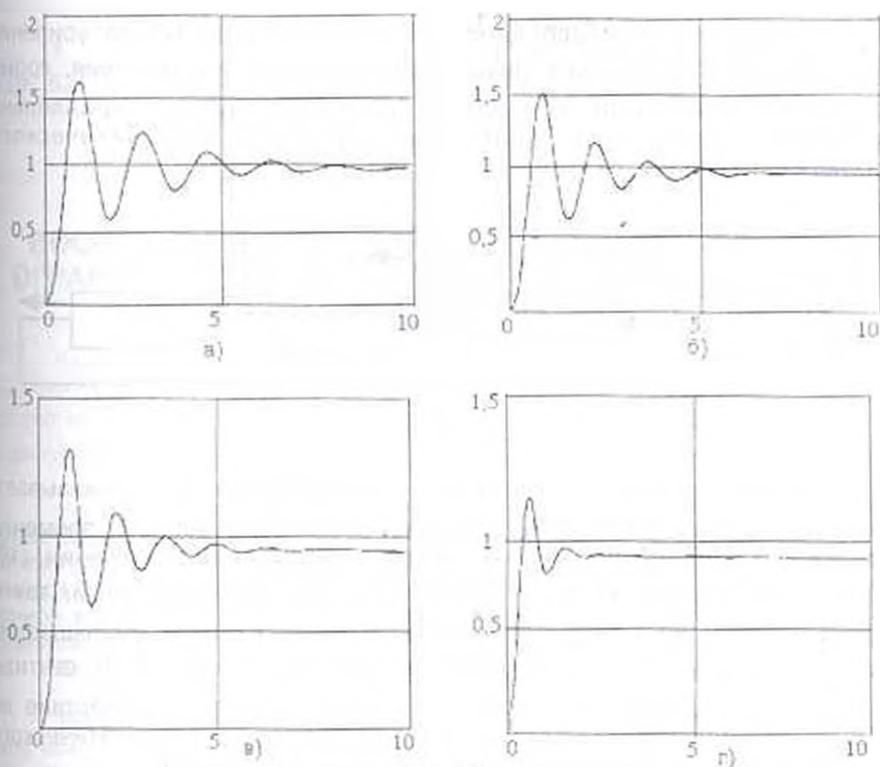


Рис. 3

Данные исследования свидетельствуют о том, что можно достичь обеспечения заданного значения статизма, изменяя величину коэффициента передачи системы. В выпускаемых современных АРН каждое звено, входящее в их состав, имеет свой коэффициент передачи и постоянную времени, поэтому, чтобы обеспечить нужное  $K_{уст}$ , необходимо ввести в систему жесткую обратную связь (обычно ее вводят в цепи усилителя), а для обеспечения величины  $T_{уст}$  - гибкие обратные связи.

**Изменение статизма по числителю.** Как было отмечено выше, статизм в автоматических регуляторах напряжения можно изменить за счет изменения коэффициента передачи. Этот метод в основном не употребляется, т.к. от  $K_{уст}$  зависят другие характеристики регулирования. Его выбирают, исходя из условий точности и устойчивости системы. Второй способ изменения статизма основан на использовании возмущающего воздействия. Из [6] видно, что изменения статизма можно достичь также за счет изменения числителя этого выражения. Здесь ясно, что нельзя менять коэффициент  $K_{об}$ , т.к. он задан для конкретного объекта. Изменения числителя можно достичь путем добавления нового компонента в числитель, т.е.

$$S = K_{1n} + K_{1m} / (1 - K). \quad (10)$$

Наличие в числителе дополнительного коэффициента усиления  $K_{Fny}$  указывает на то, что сигнал возмущающего воздействия, кроме того, что влияет на генератор (основной путь), параллельно проходит через ряд элементов системы автоматического регулирования (рис. 4).

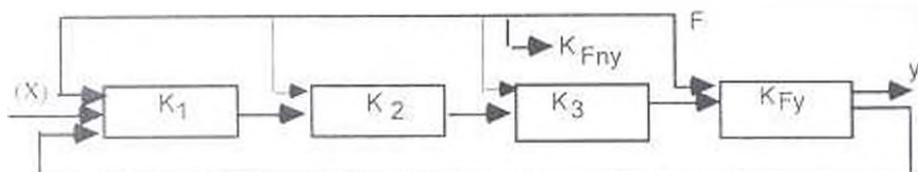


Рис. 4

Как видно из рис. 4, индекс  $y$  коэффициента  $K_{Fny}$  показывает, что сигнал возмущающего воздействия  $F$  проходит через  $n$  элементы автоматического регулятора к выходу системы. В выражении (10) перед коэффициентом  $K_{Fny}$  может быть как положительный, так и отрицательный знак. При отрицательном знаке статизм уменьшается, при положительном - увеличивается. При  $K_{Fny} + (-K_{Fny}) = 0$  статизм системы равен нулю. Это значит, что возмущающее воздействие не влияет на величину выходного сигнала. В теории автоматического регулирования это именуется компенсацией возмущения.

Таким образом, кроме сигнала напряжения, на вход АРН должен подаваться также сигнал по току. Для последнего разработан ряд электрических схем.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Козиса В.Л., Овчаренко Н.И. Автоматика электроэнергетических систем. - М. Энергоиздат, 1981. - 484 с.
- 2 Беркович М.А., Комаров А.Н. Основы автоматике энергосистем. - М. Энергоиздат, 1981. - 660 с.