

## ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭМУ ПОПЕРЕЧНОГО ПОЛЯ В РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА

В. П. ЛАГУНОВ, В. М. РИККОНЕН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Широкое применение на практике получили системы автоматического регулирования (САР) с электромашинными усилителями поперечного поля (ЭМУ ПП).

В современных САР обычно требуется обеспечение устойчивости и малой установившейся погрешности, а также часто требуется обеспечение надлежащего протекания переходного процесса.

Задачи, поставленные при исследовании переходных процессов, могут быть самые разнообразные. Одной из них может быть задача по выбору параметров системы, в том числе и усилителя, такими, при которых переходный процесс удовлетворял бы предъявляемым к нему требованиям. При указанных исследованиях очень важно знать граничные значения параметров, характеризующих работу усилителя на границе двух смежных по качеству переходных процессов.

Указанные граничные значения параметров ЭМУ ПП могут быть получены из анализа системы уравнений, характеризующих динамические свойства усилителя. При линейном рассмотрении параметров указанная система имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}\Phi_1 &= \lambda_1(w_y i_y + w_k i_k - w_p i_2), \\ \Phi_2 &= \lambda_2 w_{я}(1-x) i_2, \\ U_y &= r_y i_y + \sigma_y w_y p \Phi_1, \\ e_2 &= c \Phi_1 = r_2 i_2 + \sigma_{я} w_{я} p \Phi_2,\end{aligned}\tag{1}$$

$$e_3 = c \Phi_2 + (\sigma_{я} w_3 - \sigma_k w_k) p \Phi_1 - r_k i_k,$$

$$0 = \sigma_k w_k p \Phi_1 + R_k i_k,$$

где

$$w_p = \pm x w_{я} + w_z + w_c; \quad w_3 = w_{я} - w_d; \quad R_k = r_k + r_{ш};$$

$\lambda_1, \lambda_2$  — магнитные проводимости по продольной и поперечной осям;

$\sigma_{я}, w_{я}$ , — коэффициент рассеяния и число витков обмотки якоря;  
 $w_c, w_z$  — фиктивные витки, соответствующие намагничивающим силам за счет потерь в стали якоря и реакции коммутационных токов в поперечной цепи;

$\sigma_y, r_y, w_y$ , — коэффициент рассеяния, активное сопротивление и число витков обмотки управления;

$\sigma_k, r_k, w_k$  — коэффициент рассеяния, активное сопротивление и число витков компенсационной обмотки;

$r_2$  — активное сопротивление поперечной цепи;

$x = \frac{2p\beta}{\pi}$  — относительное смещение с нейтрали щеток поперечной цепи.

Система уравнений (1) имеет характеристическое уравнение:

$$(1-x) T_1 T_2 z^2 + [T_1 + (1-x) T_2] z + k_p + 1 = 0, \quad (2)$$

где

$$T_1 = T_y + T_k$$

$T_y, T_k, T_2$  — постоянные времени обмоток управления, компенсационной и поперечной цепи якоря;

$k_p$  — коэффициент передачи обусловленный реакцией якоря по продольной оси усилителя за счет тока поперечной цепи якоря. Он равен

$$k_p = \frac{\lambda_1 C}{r_2} (\pm x w_{я} + w_z + w_c). \quad (3)$$

Для анализа качества переходного процесса ЭМУ исследуем характеристическое уравнение (2). Уравнение имеет два корня:

$$z_{1,2} = \frac{-[T_1 + (1-x) T_2] \pm \sqrt{[T_1 - (1-x) T_2]^2 - 4(1-x) T_1 T_2 k_p}}{2(1-x) T_1 T_2}. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что корни  $z_{1,2}$  для конкретного усилителя определяются двумя постоянными времени  $T_1, T_2$  и величиной коэффициента  $k_p$ . В процессе настройки работы усилителя могут меняться величины постоянной времени  $T_1$  и коэффициента  $k_p$ ; первая — за счет изменения степени компенсации и величины активного сопротивления, включенного в цепь обмотки управления, а второй за счет смещения щеток поперечной цепи с геометрической нейтрали. Причем  $T_1$  остается всегда положительной, а величина  $k_p$  может принимать как положительное, так и отрицательное значения. Отрицательным оно может быть при определенном смещении поперечных щеток против направления вращения якоря (перед  $x$  в уравнении 3 ставится знак минус).

В зависимости от соотношения этих параметров возможны три вида переходных режимов:

1. Колебательный режим.
2. Аперидический устойчивый режим.
3. Режим самовозбуждения.

Из (4) видно, что переход от колебательного режима к аперидическому устойчивому режиму характеризуется значением  $k_p$ , равным

$$k_p = \frac{[T_1 - (1-x) T_2]^2}{4(1-x) T_1 T_2} = \frac{[1 - (1-x) \gamma]^2}{4(1-x) \gamma}, \quad (5)$$

или, пренебрегая уменьшением поперечного потока при сдвиге щеток, величиной смещения поперечных щеток  $x$ , равной

$$x = \frac{w_c - w_z}{w_{я}} - \frac{r_2}{\lambda_1} \cdot \frac{(1-\gamma)^2}{4w_{я}\gamma}, \quad (6)$$

где  $\gamma = \frac{T_2}{T_1}$

Из (2 и 4) следует, что режим самовозбуждения наступает при  $k_p < -1$ , т. е. переход от аперидического устойчивого режима к режиму самовозбуждения характеризуется условием  $k_p = 1$ . Подставляя

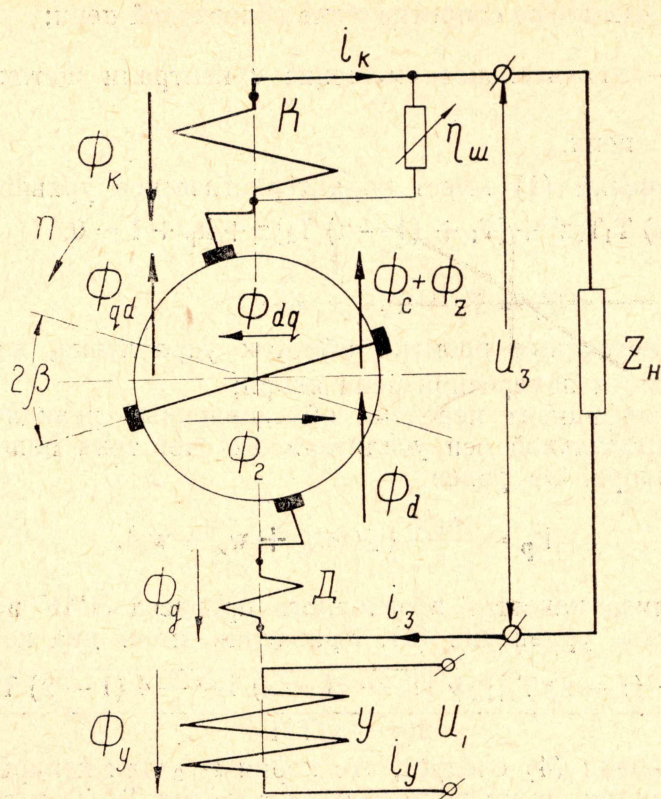


Рис. 1. Принципиальная схема ЭМУ ПП.

в последнее условие  $k_p$  согласно выражению (3), найдем величину смещения поперечных щеток  $x$  (щетki сдвинуты в этом случае против направления вращения). Она равна:

$$x = \frac{w_c + w_z}{w_y} + \frac{T_2}{\lambda_1 c w_y} \quad (7)$$

На плоскости с координатами  $x, \gamma$  по уравнениям (6, 7) построены кривые (рис. 2), которые характеризуют переход усилителя от одного вида переходного процесса к другому. Кривые построены для параметров усилителя ЭМУ-5П.

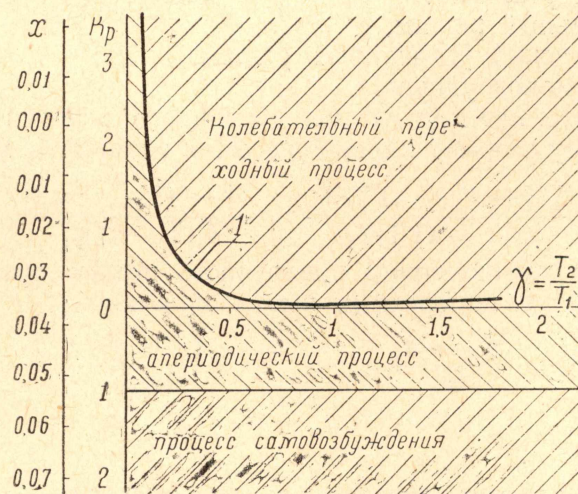


Рис. 2. Плоскость регулируемых параметров ЭМУ ПП.

Приведенная плоскость, которую можно назвать плоскостью регулируемых параметров ЭМУ, помогает наглядному представлению о влиянии их на качество переходного процесса, а выражения (6, 7) вскрывают влияние конструктивных параметров усилителя на указанные граничные условия.

Уравнение (7) показывает, что запас устойчивости усилителя возрастает с увеличением потерь в стали якоря, реакции коммутационных токов и активного сопротивления поперечной цепи, а также — с уменьшением магнитной проводимости по продольной оси.

### Выводы

1. Полученные граничные условия могут быть использованы при проектировании усилителей с целью расширения диапазона их устойчивой работы.

2. Приведенная плоскость регулируемых параметров ЭМУ ПП дает возможность выбрать оптимальный режим работы усилителя при эксплуатации.