

Напряжение неравновесия \dot{U}_{cd} мостовой измерительной цепи M усиливается усилителем Y , выпрямляется амплитудным детектором АД и подается на устройство управления УУ, которое формирует управляющее напряжение U_y и управляет ключом K , поочередно подключающим исполнительные элементы к каналу регулирования.

Рассмотрим принцип действия устройства. Предположим, что в исходном состоянии мостовая измерительная цепь не уравновешена и ключ находится в положении 1. Тогда исполнительный элемент ИЭ $_p$ будет изменять параметр p . Если при этом напряжение неравновесия $|\dot{U}_{cd}|$ увеличивается, то устройство управления формирует сигнал реверса и параметр p начнет изменяться в обратном направлении до перехода напряжения $|\dot{U}_{cd}|$ через минимум, что вызовет второй сигнал реверса. После второго сигнала реверса ключ K перебрасывается из положения 1 в положение 2 и система осуществляет минимизацию напряжения $|\dot{U}_{cd}|$ по параметру q .

Для улучшения метрологических и динамических свойств моста устройство управления выполняется таким образом, чтобы управляющее напряжение U_y (скорость регулирования параметров p и q) было пропорционально модулю напряжения неравновесия мостовой цепи [3], а пробные и рабочие движения были совмещены.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Фельдбаум. Вычислительные устройства в автоматических системах. М., Физматгиз, 1959.
2. М. Б. Лейтман, Г. А. М. Али-Заде и Ю. В. Троицкий. Автоматический мост переменного тока. Авторское свидетельство № 177966. Бюллетень изобретений, 1966, № 2.
3. Ф. Б. Гриневич, М. А. Ахметьев. Автоматический экстремальный мост переменного тока с поочередным уравниванием. Авторское свидетельство № 187884. Бюллетень изобретений, 1966, № 21.
4. Ф. Б. Гриневич. Автоматические мосты переменного тока. РИО СО АН СССР, Новосибирск, 1964

Поступила в редакцию
25 мая 1966 г.

УДК 621.317.727.2.016.35

С. Г. РАБИНОВИЧ
(Ленинград)

УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ФОТОГАЛЬВАНОМЕТРИЧЕСКИХ АВТОКОМПЕНСАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ

Автоколебания фотогальванометрических автокомпенсационных приборов (ФАП) чаще всего возникают из-за инерционности схемы управления. Характеристическое уравнение, необходимое для анализа устойчивости этих приборов и учитывающее постоянную времени управления, в наиболее удобном виде приведено в [1]:

$$(J s^2 + P s + W_M)(\tau s + 1) + W_{эл} = 0, \quad (1)$$

где J, P, W_M — соответственно момент инерции, коэффициент успокоения и удельный механический устанавливающий момент гальванометра;

s — оператор Лапласа;

τ — постоянная времени схемы управления;

$W_{эл}$ — удельный электрический устанавливающий момент, возникающий у гальванометра благодаря отрицательной обратной связи; формулы для вычисления $W_{эл}$ приведены в [2, 3].

Выражение (1) удобно для анализа устойчивости, так как справедливо для самых различных фотогальванометрических автокомпенсационных приборов: компенсаторов тока, компенсаторов напряжения, компенсаторов механических моментов, стабилизаторов и др. Во всех этих случаях удельный электрический устанавливающий момент определяется разными формулами, однако влияние его на динамику прибора остается одним и тем же.

Исследуем уравнение (1), для чего предварительно преобразуем его в канонический вид:

$$\left(s^2 + \frac{P}{J} s + \frac{W_M}{J}\right) (\tau s + 1) + \frac{W_{ЭЛ}}{J} = 0;$$

$$\tau s^3 + \left(1 + \tau \frac{P}{J}\right) s^2 + \left(\frac{P}{J} + \frac{W_M}{J} \tau\right) s + \frac{W_M + W_{ЭЛ}}{J} = 0.$$

Введем обозначения:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{W_M + W_{ЭЛ}}{J}} \text{ — собственная свободная частота колебаний подвижной части гальванометра с учетом обратной связи};$$

$$\beta = \frac{P}{2 \sqrt{J(W_M + W_{ЭЛ})}} \text{ — степень успокоения колебаний подвижной части гальванометра с учетом обратной связи};$$

$$\gamma_0 = \frac{W_M}{W_M + W_{ЭЛ}} \text{ — основной показатель точности ФАП, обычно называемый погрешностью некомпенсации или статизмом.}$$

Заметим далее, что $\frac{P}{J} = 2\beta\omega_0$ и $\frac{W_M}{J} = \gamma_0\omega_0^2$. В результате имеем

$$\tau s^3 + (1 + 2\beta\omega_0\tau)s^2 + (2\beta + \gamma_0\omega_0\tau)\omega_0 s + \omega_0^2 = 0.$$

Для анализа устойчивости системы составим неравенство Гурвица

$$(1 + 2\beta\omega_0\tau)(2\beta + \gamma_0\omega_0\tau)\omega_0 - \tau\omega_0^3 > 0. \quad (2)$$

Введем относительную постоянную времени схемы управления $\kappa = \omega_0\tau$. Неравенство (2) примет вид

$$(1 + 2\beta\kappa)(2\beta + \gamma_0\kappa) - \kappa > 0.$$

Разделив обе части неравенства на κ , получим

$$(1 + 2\beta\kappa) \left(\gamma_0 + \frac{2\beta}{\kappa} \right) > 1.$$

Отсюда, оставив в левой части неравенства члены с κ , находим

$$2\beta \left(\frac{1}{\kappa} + \gamma_0 \kappa \right) > (1 - 4\beta^2 - \gamma_0). \quad (3)$$

Во всех случаях $\gamma_0 \ll 1$. Поэтому в правой части неравенства (3) γ_0 опустим и в окончательной форме неравенство запишем следующим образом:

$$\left(\frac{1}{\kappa} + \gamma_0 \kappa \right) > \frac{1 - 4\beta^2}{2\beta}. \quad (4)$$

Неравенство (4) показывает, что при $\beta \geq 0,5$ система всегда устойчива. Этот простой и практически важный вывод ранее был получен для частного случая сравнительно малых значений κ [1]. Теперь видно, что это условие устойчивости ФАП справедливо для всех случаев, которым соответствует исходное характеристическое уравнение (1).

Если $\beta < 0,5$, то анализ устойчивости должен выполняться по неравенству (4). При $\kappa \gg 1$ последнее можно упростить:

$$\frac{1}{\kappa} > \frac{1 - 4\beta^2}{2\beta}.$$

Если же $\gamma_0 \kappa \gg \frac{1}{\kappa}$, то

$$\gamma_0 \kappa > \frac{1 - 4\beta^2}{2\beta}.$$

Последний случай соответствует ФАП с весьма инерционной схемой управления. Примерами таких устройств могут служить длиннопериодные ФАП, возможность осуществления которых показана в [4], а также многочисленные фотогальванометрические регуляторы инерционных объектов, например регуляторы температуры печей.

Интересно заметить, что при $\beta \geq 0,5$ устойчивость ФАП не зависит от жесткости растяжек гальванометра. При $\beta < 0,5$ и $\kappa \gg 1$ удельный механический противодействующий момент гальванометра влияет на устойчивость системы.

Полученные выводы можно распространить на гальванометрические компенсационные приборы с индукционными и другими преобразователями, если для них остается справедливым характеристическое уравнение (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Г. Рабинович. Фотокомпенсационные стабилизаторы постоянного тока и напряжения.— Измерительная техника, 1957, № 1.
2. Л. Ф. Куликовский, А. М. Мелик-Шахназаров, С. Г. Рабинович, Б. А. Селибер. Гальванометрические компенсаторы. М.—Л., «Энергия», 1964.
3. С. Г. Рабинович. Фотогальванометрические компенсационные приборы. М.—Л., «Энергия», 1964.
4. С. Г. Рабинович. Длиннопериодные фотогальванометрические автокомпенсационные приборы.— Исследования в области электрических измерений, ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. Труды ин-тов Госкомитета стандартов, мер и измерительных приборов, вып. 82 (142). М., Стандартгиз, 1965.

*Поступила в редакцию
21 июля 1966 г.*