

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

Д. О. МЕЛКУМЯН, В. Н. ПЕРСЕСЯН, С. Т. САРКИСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ ТРЕХТОЧЕЧНОЙ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАТФОРМЫ

Настоящая работа посвящена исследованию системы автоматической стабилизации пространственного положения платформы задающего узла—важнейшего элемента двухзеркальной сферической антенны [1], входящей в комплекс Государственного эталона поля излучения ГЭПИ-32/50.

Задающий узел состоит из оптического телескопа—гида с экваториальной монтировкой, снабженного звездным фотоэлектрическим датчиком, и плоского зеркального отражателя, обеспечивающего управление угловым положением антенны с помощью узконаправленного оптического луча. Так как результирующая угловая погрешность наведения антенны не должна превосходить 10—15 угловых секунд, то ясно, что платформа, несущая на себе задающий узел, должна быть стабилизирована в пространстве с точностью не хуже 1—5 угловых секунд.

Во ВНИИРИ разработана система трехточечной автоматической стабилизации платформы задающего узла антенны ГЭПИ-32/50 на базе гидростатического нивелира с прецизионным фотоэлектрическим датчиком уровня жидкости [2].

Положение платформы в пространстве регулируется при помощи трех винтовых механизмов, обеспечивающих перемещение трех точек платформы в вертикальном направлении, что позволяет осуществлять поворот платформы вокруг любых горизонтальных осей и ее перемещение в вертикальном направлении. Привод каждого винтового механизма выполнен в виде системы, в которой измерителем рассогласования является вышеназванный гидростатический нивелир.

Как известно, гидростатическое нивелирование, основанное на закономерностях сообщающихся сосудов, позволяет контролировать разность высотных отметок двух или нескольких точек, расстояние между которыми может достигать сотен метров. Точность гидростатического нивелирования зависит от точности измерения уровней жидкости в сосудах и от способа компенсации температурных погрешностей, которые неизбежны при длительной работе. Фотоэлектрический датчик уровня жидкости [2] обеспечивает преобразование уровня

жидкости в электрический сигнал с коэффициентом преобразования порядка $0,4 \div 0,5$ В/мм с высокой стабильностью нуля, не зависящей от температуры окружающей среды. Это и другие преимущества указанного датчика позволили создать на его базе автоматическую систему, способную обеспечить длительную стабилизацию платформ с точностью не хуже 2—3 угловых секунд.

Динамика системы, состоящей из трех однотипных каналов регулирования между которыми имеют место взаимные связи, исследована методом производной аргумента [3].

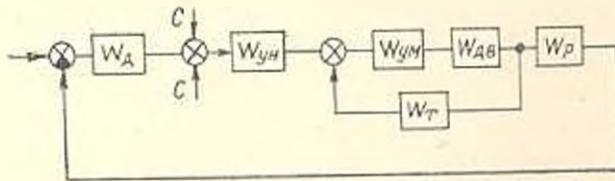


Рис. 1.

Структурная схема одного отдельного канала показана на (рис. 1). Здесь w_1 — передаточная функция датчика уровня жидкости, которая в первом приближении может быть представлена в виде безынерционного звена, т. е. $w_1 = K_1$. По экспериментально полученной статической характеристике датчика $K_1 = 0,4$ В/мм.

В качестве усилителя напряжения (w_{yn}) и усилителя мощности (w_{ym}) был использован серийно выпускаемый промышленностью электронный усилитель постоянного тока типа УЭД1-03. Нагрузкой усилителей является обмотка управления реверсивного асинхронного двигателя РД-09.

Усилители по сравнению с двигателем считаются безынерционными, поэтому передаточная функция усилителя равна постоянной величине — коэффициенту усиления

$$K_2 = 10^2 \div 10^4; \quad w_{yn} = K_{yn} = 10; \quad w_{ym} = K_{ym} = 250.$$

Внутри контура отдельного канала имеется тахометрическая обратная связь, которая улучшает устойчивость системы. Передаточная функция тахометрической связи имеет вид

$$w_2(s) = K_T s,$$

где K_T — крутизна выходной характеристики тахометрического моста в вольтах на радиан и секунду. Значение K_T было определено экспериментально и равно $3 \cdot 10^{-2}$ В·сек/рад.

По заданным техническим характеристикам двигателя получена передаточная функция исполнительного органа:

$$w_{du}(s) = K_{22} / s (T_{22}s + 1), \quad (1)$$

где $T_{22} = 0,11$ сек; $K_{22} = 17,28$ рад/В·сек; $K_0 = 9 \cdot 10^{-4}$ мм/рад.

В силу симметричного расположения датчиков и их идентичности коэффициенты перекрестных связей равны друг другу:

$$C_{11} = C_{21} = C_{31} = C_{12} = C_{22} = C_{32}.$$

Экспериментальным путем снята характеристика перекрестной связи, из которой получено $K_c = 0,05$ В/мм.

По структурной схеме отдельного канала запишем передаточную функцию замкнутой системы:

$$\Phi = \frac{w_{11} w_{12} w_{13} w_p w_1}{1 + w_{12} w_{21} w_1 + w_{13} w_{31} w_{21} w_1}. \quad (2)$$

Таким образом, характеристическое уравнение отдельного канала принимает вид

$$P(s) = T_{21}s + K_2s + K_1 = 0, \quad (3)$$

где

$$K_1 = K_2 K_{11} K_{12} K_{13} K_p = 15 \text{ 1/сек}; \quad K_2 = 1 + K_{12} K_{13} K_1 = 6,3.$$

Согласно методу производной аргумента [3] построим график функции

$$R(\omega) = \frac{d}{d\omega} |\arg P(i\omega)| = \frac{UV' - VU'}{U^2 + V^2}, \quad (4)$$

где

$$U = 15 - 0,11\omega^2; \quad V = 6,3\omega;$$

$$U' = -0,22\omega; \quad V' = 6,3.$$

По графику функции $R(\omega)$ (рис. 2) определим:

$$\max R(\omega) = 0,36 \text{ сек}; \quad \Omega = 0;$$

время переходного процесса $\tau \leq 3 \max R(\omega) = 1,08 \text{ сек};$

число колебаний $N \leq \Omega \cdot \max R(\omega) = 0;$

время первого максимума $t_u \approx \pi/\Omega = \infty;$

перерегулирование $\sigma \leq \exp(-\pi/N) = 0.$

Переходный процесс является апериодическим, и время переходного процесса порядка одной секунды вполне удовлетворяет техническим требованиям.

Критический коэффициент усиления $K_{cr} = 90 \frac{1}{\text{сек}}$, тогда как требуемая добротность системы гораздо меньше; для обеспечения точности 0,01 мм при скорости 0,5 мм/сек она равна 50 1/сек. Эксперименты на действующем лабораторном макете (платформа диаметром 1 м) показали, что система обладает показателями, близкими к расчетным.

Далее, составим структурную схему (рис. 3). Здесь

$$D = \begin{pmatrix} D_{11} & 0 & 0 \\ 0 & D_{21} & 0 \\ 0 & 0 & D_{31} \end{pmatrix}; \quad w = \begin{pmatrix} w_{11} & 0 & 0 \\ 0 & w_{21} & 0 \\ 0 & 0 & w_{31} \end{pmatrix}; \quad C = \begin{pmatrix} 0 & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & 0 & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & 0 \end{pmatrix}$$

квадратные матрицы, а X и Y —столбцовые матрицы третьего порядка.

Согласно структурной схеме передаточная функция разомкнутой многомерной системы имеет вид [4]

$$G(s) = w(s) [C(s) + D(s)], \quad (5)$$

а передаточная функция замкнутой системы

$$\Phi(s) = G(s)/(E + G(s)),$$

где E —единичная матрица.

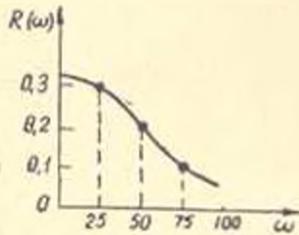


Рис. 2.

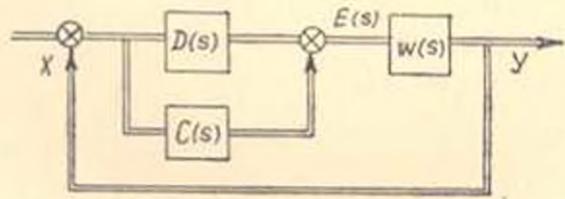


Рис. 3.

Характеристическое уравнение замкнутой многомерной системы определяется равенством [4]

$$\det(E + G(s)) = 0 \quad (6)$$

или в развернутом виде

$$\det \begin{pmatrix} 1 + w_{11}D_{11} & w_{11}C_{12} & w_{11}C_{13} \\ w_{22}C_{21} & 1 + w_{22}D_{22} & w_{22}C_{23} \\ w_{33}C_{31} & w_{33}C_{32} & 1 + w_{33}D_{33} \end{pmatrix} = 0. \quad (7)$$

В силу симметричности многомерной системы имеем:

$$\begin{aligned} w_{11} &= w_{22} = w_{33} = w = K_1/s(K_2 + T_{22}s); \\ C_{12} &= C_{21} = C_{31} = C_{13} = C_{23} = C_{33} = C = K_c; \\ D_{11} &= D_{22} = D_{33} = D_2 = D. \end{aligned} \quad (8)$$

Этот факт существенно упрощает вычислительные процедуры.

Раскрыв определитель характеристического уравнения, получим

$$(1 + wD)^3 + 1(wC)^3 - 3(wC)^2(1 + wD) = 0.$$

Подставив выражения передаточных функций, характеристическое уравнение принимает вид

$$P(s) = a_0s^4 + a_1s^3 + a_2s^2 + a_3s + a_4 = 0, \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} a_0 &= T_{22}^3; & a_1 &= 3T_{22}^2K_1; & a_2 &= 3T_{22}K_1^2 + 3K_1K_cT_{22}^2; \\ a_3 &= K_c^3 + 6K_1K_cK_2T_{22}; & a_4 &= 3K_1K_cK_2 + 3K_1(K_c^2 - K_2^2)T_{22}. \end{aligned}$$

$$a_3 = 3K_1^2(K_2^2 - K_2)K_7; \quad a_4 = (K_1^3(K_2^2 + 2K_2^2 - 3K_2K_7));$$

$$K_1 = K_{y0}K_{y1}K_pK_{20}; \quad K_2 = 1 + K_{y0}K_{y1}K_{20}K_7.$$

Согласно методу производной аргумента построим график функции $R(\omega)$ для различных значений коэффициента тахометрической связи ($K_7 = 0.01; 0.02; 0.03; 0.04$). Расчеты проводились на ЭВМ. График функции $R(\omega)$ (рис. 4) показывает, что при $K_7 = 0.01$ переходный процесс многомерной системы колебательный, так как функция $R(\omega)$ имеет максимум при частоте $\Omega = 10$, причем $\max R(\omega) = 0.16$.

Определим параметры качества в случае $K_7 = 0.01$.

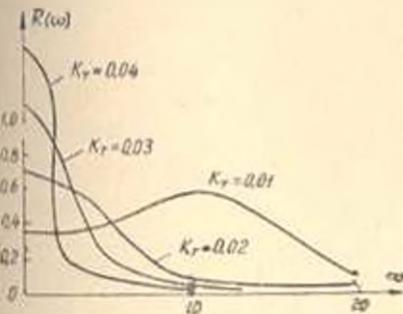


Рис. 4.

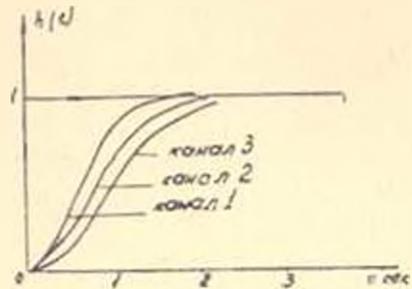


Рис. 5.

Время переходного процесса $\tau < 3\max R(\omega) = 1.38 \text{ сек}$; число колебаний $N \approx \Omega \max R(\omega) = 4.6$; время первого максимума $t_m \approx \pi/\Omega = 0.311 \text{ сек}$; перерегулирование $\sigma < \exp(-\pi/\Lambda) = 48\%$.

В остальных случаях переходный процесс многомерной системы получается аperiodическим, так как максимум функции $R(\omega)$ находится в начале координат ($\Omega = 0$). Однако при $K_7 = 0.04$ время переходного процесса ($\tau < 3\max R(\omega) = 4.65 \text{ сек}$) заметно увеличивается. Следовательно, целесообразно выбрать $K_7 = 0.02 - 0.03$.

Для случая $K_7 = 0.02$ переходные процессы в отдельных каналах представлены на рис. 5.

Всесоюзный научно-исследовательский институт
радиофизических измерений (ВНИИРИ)

Поступило 2.X 1976

Գ. Շ. ԽՈՎԵՐԿՅԱՆ, Վ. Կ. ՆԵՐՍԻՍՅԱՆ, Ս. Տ. ԽԱՐԿՅԱՆ

ՀԱՐՔԱԿԻ ԵՒՈՒԿԵՏ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՅՈՒՆԱՅԻՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԻ ԴԻԱԴՐՈՒԿԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ

Ա Վ Փ Ռ Փ Ո Մ

Հետազոտված է երկհայելի ղեղաձև անտենայի կարևորագույն մասի՝
տարածական դիրքի ավտոմատ կայունացման բաղաձափ համակարգի, դի-

նամակիան, որը մտնում է ճառագայթման դաշտի Պետական էտալոնի համալիր ГЭПИ—32/50-ի մեջ:

Համակարգի դինամիկան ուսումնասիրվում է արգումենտի անանցյալի մեթոդով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Геруни П. М., Саркисян Р. А. Система автоматического управления большими антеннами. «Радиотехника», № 3, 1964.
2. Петросян С. П., Сагателян О. А., Саркисян С. Т., Тагянская Я. С. Фотоэлектрическое устройство для измерения уровня жидкости, преимущественно в гидростатических инвертирах. Авторское свидетельство № 522410 от 19.12.71, «Бюллетень изобретений», № 27, 1976.
3. Մելкуյան Լ. Օ. Исследование САУ методом производной аргумента. Изв АН АрмССР, серия ТН, № 6, 1971.
4. Морозовский В. Г. Многовязные системы автоматического регулирования, М., «Энергия», 1970.