ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXIX, № 1, 1976 Серия технических наук

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

К. М. МЕЛКОНЯН

УВЕЛИЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ СЛЕЖЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КУПОЛОМ ТЕЛЕСКОПА АТЗ-2,6 *м* ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО МОСТА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ОТСЧЕТА

К системе управления куполом телескопа АТЗ-2,6 *м* предъявляются высокие требования по точности и скорости отслеживания. Установленная одноотсчетная синхроннаследящая система не может обеспечить указанных требований и отработать углы, равные 1′. Наличие механических редукторных передач вносит нелинейности в систему управления и делает систему склонной к периодическим движениям при углах меньших 6′. Это нежелательно. Поэтому возникла необходимость применения системы точного отсчета, способной отрабатывать углы, меньшие 6′, и не требующей коренной перестройки установленных узлов и механизмов.

В отличие от применяемых двухотсчетных синхроннаследящих систем [1] рассматривается двухотсчетная следящая система, в которой системой точного отсчета является автоматический мост переменного тока (рис. 1). В качестве датчика используется дифференциальный датчик-преобразователь (ДИД), преобразующий управляющее воздействие в комплексное (полное) сопротивление Z_x, равное $Z_x = R_x + jX_x$ (R_x, X_x—соответственно активная и реактивная составляющие сопротивления датчика). В области малых углов датчик типа ДИД обладает линейной характеристикой и высокой чувствительностью (рис. 2) [3]. Датчик включается в измерительное плечо моста Уитстона, а в сравниваемое плечо включается автоматически подстраиваемое сопротивление Z_2, равное $Z_2 = R_2 + jX_2$. Составляющие R_2 и X_2 подстраиваются в процессе уравновешивания до достижения равенств: $R_2 = R_x$; $X_2 = X_x$.

В другие плечи моста Уитстона включены балансные сопротивления $Z = R$. При возникновении рассогласования: $\Delta Z = \Delta R + j\Delta X$, $\Delta R = R_x - R_2$ и $\Delta X = X_x - X_2$, нарушается равновесие мостовой цепи, и на измерительной диагонали появляется напряжение разбаланса $\dot{E}$. После усиления в усилителе V напряжение $\dot{E}$ поступает на пару фазочувствительных индикаторов ФЧИ, разлагающих вектор напряжения $\Delta\dot{U}$ на составляющие M_1 и M_2, представляющие собой проекции сигнала на опорные напряжения U_{01} и U_{02} ФЧИ и пропорциональные ΔR и ΔX. При

изменении входного сигнала $\alpha_{вх}$ изменяется, в основном, реактивная составляющая M_2. Активная составляющая ΔR меняется незначительно. Поэтому в систему управления куполом телескопа поступает только реактивная составляющая, преобразованная в сигнал M_2. Активная составляющая позволяет учесть ошибку преобразования и повысить точность слежения системы точного отсчета. В области отслеживания углов, меньших 6°, система линейная и обладает хорошими динамическими характеристиками. В автоматическом мосте отрабатываются обе составляющие полного сопротивления ΔZ, а результаты

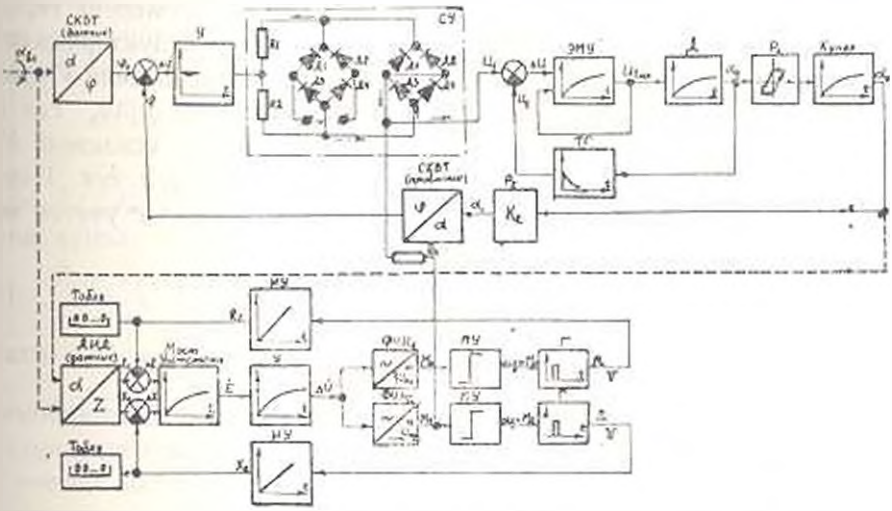
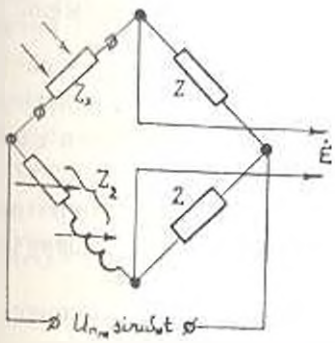


Рис. 1. Двухотсчетная система управления куполом телескопа АТЗ—2,6 м
ПУ—переключающее устройство; ГИ—генератор импульсов; ПУ—бесконтактное исполнительное устройство



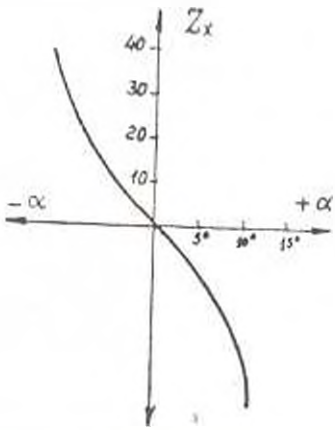


Рис. 2. Схема моста и характеристика датчика-преобразователя (ДПД)

измерения выводятся на табло. Способ одновременного уравновешивания позволяет повысить быстродействие автоматического моста до 10^{-2} *сек*.

Условием подключения системы точного отсчета является неравенство $U_1 < U_2$, где U_1 — сигнал на выходе усилительного устройства.

Для исследования поведения двухотсчетной автоматической системы управления куполом телескопа динамика системы грубого отсчета и динамика системы точного отсчета рассмотрены в отдельности.

Для анализа динамики системы грубого отсчета (СГО) получена передаточная функция линейной части системы и применена гармоническая линеаризация нелинейности механических редукторных передач. Передаточная функция преобразовательного усилителя *У* представляет собой передаточный коэффициент k_t ($k_t = I_1(p)/\Delta\varphi$, где I_1, $\Delta\varphi$ — соответственно выходной ток и угол на входе усилителя *У*). Для выбранного усилительного блока $k_t = 1{,}6 \cdot 10^{-4}$ *а/угл. сек*. Передаточная функция электромашинного усилителя (ЭМУ) с учетом обратной связи по напряжению равна:

$$W_э(p) = k_u \cdot [T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2) p + 1 + k_u]^{-1}, \qquad (1)$$

где $k_u = \dfrac{U_н}{I_н R_y}$ — коэффициент усиления по напряжению; $U_н$ — номинальное напряжение питания; $I_н$ — номинально допустимый ток обмотки управления; R_y — омическое сопротивление обмотки;

$T_1 = \dfrac{L_y}{R_y}$ и $T_2 = \dfrac{U_н}{k_e \omega^2 \Phi_y}$ — постоянные времени;

L_y — индуктивность обмотки управления; k_e — постоянная; ω — частота вращения; Φ_y — магнитный поток управления.

Для ЭМУ типа ЭМУ 110 4А

$$W_э(p) = 52 \cdot (0{,}002\, p^2 + 0{,}1\, p + 53)^{-1}. \qquad (2)$$

Передаточная функция двигателя имеет вид:

$$W_д(p) = k_д \cdot (T_я T_м p^2 + T_м p + 1)^{-1}, \qquad (3)$$

где $k_д$ — коэффициент усиления двигателя; $T_я$ — постоянная времени якорной цепи; $T_м$ — электромеханическая постоянная времени:

$$k_д = \frac{1}{c_e}; \qquad T_я = \frac{L_я}{R_я}; \qquad T_м = \frac{JR_я}{c_e^2};$$

c_e — постоянная; $L_я$ и $R_я$ — соответственно индуктивность и омическое сопротивление якорной цепи; J — момент инерции;

$R_я = 1{,}2(R_я + R_{доб} + R_щ)$ — эквивалентное омическое сопротивление; $R_{доб}$ и $R_щ$ — соответственно омические сопротивления добавочных полюсов и щеток.

Двигатель типа ПБСТ—43 имеет передаточную функцию:

$$W_д(p) = 4{,}38 \cdot (2{,}158 \cdot 10^{-1} p^2 + 2{,}6 \cdot 10^{-3} p + 1)^{-1}. \qquad (4)$$

Тахогенератор расположен на валу исполнительного двигателя и представляет дифференцирующее звено с передаточной функцией

$$W_т(p) = k_т p, \tag{5}$$

где $k_т = E_{вых}/\omega$ — коэффициент усиления; $E_{вых}$ — э. д. с. якорной обмотки тахогенератора.

Для тахогенератора типа ТД—102

$$W_т(p) = 32p. \tag{6}$$

Передаточные числа редукторов P_1 и P_2 соответственно равны: $k_1 = 4440$ и $k_2 = 72$. Купол телескопа связан с валом двигателя через редукторную передачу. Передаточная функция вращающейся части купола равна:

$$W_к(p) = \frac{1}{1+T_к p}; \qquad T_к = J_к \frac{\omega}{M_к}, \tag{7}$$

где $T_к$, $J_к$, $M_к$ — соответственно постоянная времени, момент инерции купола и момент на валу двигателя.

Для купола телескопа АТЗ—2,6 *м*

$$W_к(p) = \frac{1}{1+0{,}2p}. \tag{8}$$

Вращающиеся трансформаторы (СКВТ) представляют собой безынерционные звенья с коэффициентом преобразования $k_с = 0{,}565$. С учетом выражений (1)÷(8) получена передаточная функция линейной части СГО:

$$W_{лч}(p) = \frac{12}{(1+0{,}2p)(1+23{,}9p)}. \tag{9}$$

Линейная часть системы устойчива, так как по критерию Рауса-Гурвица алгебраические дополнения Δ_1 и Δ_2 определителя матрицы характеристического уравнения $p^2 + 0{,}504p + 0{,}0209 = 0$ положительны. Кроме того, характеристика передаточной функции носит апериодический характер, так как частота собственных колебаний $\omega_к$ меньше коэффициента h, характеризующего степень затухания свободных колебаний ($\omega_к^2 < h^2$, так как $0{,}0209 < 0{,}0634$).

Зубчатая передача является нелинейностью типа „люфт". Для линеаризации применен метод гармонической линеаризации нелинейности и получен линеаризованный коэффициент усиления нелинейности типа „люфт"

$$F_л(A) = \frac{1}{\pi}\left[\frac{\pi}{2} + \arcsin\left(1-\frac{2d}{A}\right) + 2\left(1-\frac{2d}{A}\right)\sqrt{\frac{d}{A}\left(1-\frac{d}{A}\right)}\right] +$$

$$+ j\frac{4\gamma}{\pi A}\left(1-\frac{d}{A}\right). \tag{10}$$

Включение нелинейности приводит к появлению периодических режимов, условие возникновения которых имеет вид:

$$W_{л.ч}(j\omega_0)\cdot F_н(A)=-1, \qquad (11)$$

где ω_0, A, $W_{л.ч}(j\omega_0)$ — соответственно частота колебаний, амплитуда колебаний и частотная характеристика линейной части системы при $p=j\omega_0$. Анализ условия (11) позволил получить зависимости амплитуды A и частоты ω_0 колебаний, возникающих в нелинейной системе СГО, от величины зоны нечувствительности d нелинейного звена

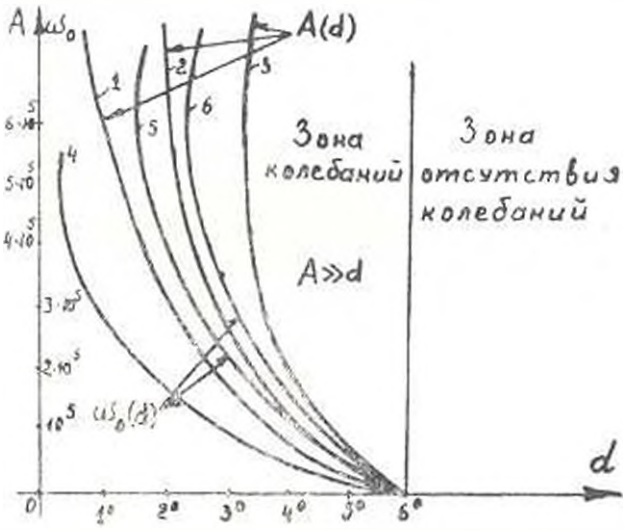


Рис. 3. Зависимости амплитуды (A) и частоты (ω_0) колебаний от величины зоны нечувствительности (d) при разных значениях коэффициента усиления K: 1 и 4 — при $K=12$, 2 и 5 — при $K=40$; 3 и 6 — при $K=75$.

(рис. 3). При зоне нечувствительности, равной 6° поворота вала двигателя, амплитуда и частота колебаний равны 0. Можно показать, что при уменьшении зоны нечувствительности возникают устойчивые колебания, снижающие точность и качество отработки возмущения системой СГО. Таким образом, для данного коэффициента усиления системы K она отрабатывает углы, большие и равные 6°. При увеличении K для данной зоны увеличивается амплитуда и частота колебаний (рис. 3). При уменьшении зоны d для выбранного K колебания возрастают до бесконечности. Поэтому для отработки углов, меньших 6°, необходимо подключить систему точного отсчета (СТО).

Передаточная функция линейной части системы равна:

$$W(p)=k_{зад}\cdot k_c\cdot k_y\cdot k_1\cdot k_2\cdot W_м(p)\cdot W_y(p)\cdot\frac{1}{(1+T_1p)(1+T_2p)}, \qquad (12)$$

где $k_{зад}$, $W_м(p)$, $W_y(p)$ — соответственно коэффициент преобразования датчика, передаточные функции мостовой цепи и усилителя Y.

$$W_{\text{м}}(p) = k_{\text{м}} \frac{\xi_1 + \xi_2 p}{1 + \tau p}; \quad k_{\text{м}} = \frac{R}{R + R_0}; \qquad \tau = \frac{L_0}{R + R_0};$$

$$\xi_1 = \frac{U_{\text{м}m}}{R + R_0} \left[\frac{1}{R} - \frac{R_0}{R(R + R_0)} - \frac{\omega_{\text{п}} L_0}{\omega_{\text{п}}^2 L_0^2 + (R + R_0)^2} \right];$$

$$\xi_2 = U_{\text{м}m} \left[\frac{1}{R} - \frac{\omega_{\text{п}} L_0}{\omega_{\text{п}}^2 L_0^2 + (R + R_0)^2} \right], \tag{13}$$

где $U_{\text{м}m}$, R, R_0, L_0 $\omega_{\text{п}}$ — соответственно напряжение питания моста, омическое сопротивление балансных сопротивлений Z и начальные значения омического и индуктивного сопротивлений, частота питания цепи.

Для увеличения помехозащищенности усилитель У выбран инерционным:

$$W_{\text{у}}(p) = \frac{k_{\text{у}}}{1 + T_{\text{у}} p}, \tag{14}$$

где $k_{\text{у}}$, $T_{\text{у}}$ — соответственно коэффициент усиления и постоянная времени усилителя.

Для данного случая с учетом выражений (13) и (14) передаточная функция СТО равна:

$$W(p) = \frac{0{,}108 \cdot 10^{-3}(1 + 10^{3} p)}{(1 + 10^{-4} p)(1 + 10^{-3} p)(1 + 0{,}2 p)(1 + 23{,}9 p)}. \tag{15}$$

Система СТО устойчива, так как согласно критерию Рауса-Гурвица определитель матрицы характеристического уравнения

$$4{,}78 \cdot 10^{-7} p^4 + 71{,}9 p^3 + 4{,}8064 p^2 + 21{,}1 p + 1 = 0$$

имеет положительные дополнения. Можно показать, что при выполнении условия (11) зона нечувствительности для $A = 0$ равна $d = 0{,}574\ K$, где $K = 0{,}003$. Следовательно, зона нечувствительности СТО равна 37′12″. Требование к пределу отработки углов составляет 1°. Кроме того, преимуществом рассматриваемой двухотсчетной системы управления является отсутствие дополнительных редукторных передач, вносящих нелинейности в систему управления и малое время отработки углов (до 0,6 *сек*).

Таким образом, отслеживание углов, больших 6′, рекомендуется отрабатывать системой СТО, а отслеживание углов, меньших 6′, отрабатывать системой СТО. В этом случае двухотсчетная следящая система управления куполом телескопа АТЗ—2,6 *м* имеет устойчивый режим работы, в котором отсутствуют периодические движения.

ВНИИэлектропривод

Поступило 10 V 1973

Կ. Մ. ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ

ԱՏՁ—2.6 մ ՀԵՌԱԴԻՏԱԿԻ ԳՄԲԹԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՍԻՍՏԵՄԻ ՀԵՏԵՎՄԱՆ ԱՇՏՈՒՄՅԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԻ ՃՇԳՐԻՏ ՀԱՇՎԱՆՔԻ ՍԻՍՏԵՄՈՒՄ ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ԱՎՏՈՄԱՏ ԿԱՄՐՋԱՆ ՕԳՏԱԳՈՐԾԵԼՈՎ

Ամփոփում

Հոդվածում առաջարկվում է հեռադիտակի գմբեթի կառավարման համար օգտագործել երկկոնուրային սինխրոն հետող ավտոմատ սխեման՝ ի տարբերություն հայտնի սխեմաների. առաջարկվող սխեմանը հնարավորություն է տալիս դզալի չափով բարձրացնել հետևող սարքի ճշտությունը՝ հաշվանքի կոպիտ և ճշգրիտ սխեմաների միջև մեխանիկական կապը չօգտագործելով։ Բացի այդ, առաջարկված սխեմն ունի բարձր դինամիկական բնութագրեր։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Старшов К. Я., Михайлов Н. Н.* Синхронные передачи и следящие системы. Изд. «Машиностроение», М., 1971.
2. *Орнатский П. П.* Автоматические измерения и приборы. Киев, 1973.
3. *Стуфлер Ф. Л.* Электромеханические датчики и преобразователи неэлектрических величин. Изд. «Энергия», М.—Л., 1965.
4. Основы автоматического управления (под редакцией Пугачева В. С.). Изд. «Наука», М., 1968.