

В ряде работ [1,2] дан анализ статической погрешности измерительных систем. При анализе обычно принимают параметры элементов и коэффициенты передачи отдельных блоков измерительных систем неизменными. При такой постановке задачи невозможно выявить причины возникновения погрешностей измерительных систем.

Фактически точностные характеристики измерительных систем (погрешность, вариации, нечувствительность, порог чувствительности и непостоянство показаний) формируются путем воздействия на элементы систем всевозможных случайных внешних возмущающих факторов, возникающих в процессе их производства, хранения и эксплуатации. К таким внешним возмущающим факторам можно отнести изменения температуры, влажности, запыленности, загазованности, электрических, магнитных, радиационных полей и т. д.

В данной работе не рассматриваются изменения статических точностных характеристик, связанные со случайными характеристиками входного сигнала и погрешности типа «наводок», а делается попытка определить их изменения от воздействия внешних возмущающих факторов и процесса старения на элементы измерительных систем. Причем параметры элементов систем и передаточные коэффициенты блоков рассматриваются как случайные величины. Это означает, что если измерительная система содержит элементы $S_1, \dots, S_j, \dots, S_m$, то в результате действия на них внешних возмущающих факторов $\theta_1, \dots, \theta_i, \dots, \theta_p$ и процесса старения, номинальные значения элементов могут изменяться и будут представлять функцию истинного значения элемента при нормальных условиях S_{j0} , возмущений $\theta_1, \dots, \theta_p$ и времени t [3, 4];

$$S_j = S_j(S_{j0}, \theta_1, \dots, \theta_p, t). \quad (1)$$

Изменение номинального значения элемента со временем и от воздействия внешних возмущающих факторов приводит к изменению выходного параметра измерительной системы

$$P_c = P_c(S_1, \dots, S_j, \dots, S_m). \quad (2)$$

Разброс истинных значений элементов и отклонений их от номинальных значений в результате действия внешних возмущений и процесса старения, как правило [5—7], в производственной и эксплуатационной практике невелик, поэтому функция в правой части выражения (1) может быть линеаризована в окрестности S_j и нормальных значений возмущений $\theta_1, \dots, \theta_p$ [3, 4]:

$$S_j = S_j(\bar{S}_j, \bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_p, t_p) + \frac{\partial S_j}{\partial S_{j0}} (S_{j0} - S_j) + \sum_{i=1}^p \frac{\partial S_j}{\partial \theta_i} (\theta_i - \bar{\theta}_i) + \frac{\partial S_j}{\partial t} (t - t_0), \quad (3)$$

где $S_j(\bar{S}_j, \bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_p, t_0) = \bar{S}_j$ — номинальное значение элемента при нормальных условиях;
 t_0 — момент измерения параметра элемента.

Так как частные производные в выражении (3) берутся в точке, где значения аргументов равны их нормальным величинам, то $\frac{\partial S_j}{\partial S_{j0}} = 1$, а выражение (3) примет вид

$$S_j = k_{jr} \bar{S}_j, \quad (4)$$

где k_{jr} — чувствительность элемента к условиям производства, хранения, транспортировки и эксплуатации;

$$k_{jr} = 1 + k_{j\Delta} + k_{j\theta_i} + k_{jt}; \quad (5)$$

$k_{j\Delta} = \frac{\Delta S_j}{\bar{S}_j}$ — чувствительность элемента к процессу производства (к производственному допуску);

$k_{j\theta_i} = \frac{\sum_{i=1}^p \delta_{j\theta_i} S_j}{\bar{S}_j}$ — чувствительность элемента к воздействию внешних возмущений;

$k_{jt} = \frac{\delta_{jt} S_j}{\bar{S}_j}$ — чувствительность элемента к воздействию процесса старения;

ΔS_j — погрешность параметра элемента S_j , полученная в процессе производства при нормальных условиях;

$\sum_{i=1}^p \delta_{j\theta_i} S_j$ — приращение параметра элемента S_j от воздействия возмущения θ_i ;

$\delta_{jt} S_j$ — приращение параметра элемента S_j от воздействия процесса старения.

Как видно из выражений (4) и (5), отклонение значения элемента S_j в момент времени t от номинального, указанного в паспорте, состоит из производственного допуска и приращений параметра, вызванных действием возмущений и времени.

Подставляя выражение (4) в формулу (2) и линеаризуя P_c в окрестности нормальных значений аргументов, получим

$$P_c = \bar{P}_c + \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} k_{j\Delta} \bar{S}_j + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} k_{j\delta_{0i}} \bar{S}_j + \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} k_{j\delta_t} \bar{S}_j, \quad (6)$$

где \bar{P}_c — номинальное значение выходного параметра измерительной системы при нормальных условиях.

Произведя ряд математических преобразований, получим выражение для относительной погрешности измерительной системы с учетом производственного допуска, влияния внешних возмущающих факторов и процесса старения:

$$\Delta\psi_{\text{пс}} = \frac{1}{\bar{P}_c} \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} k_{j\Delta} \bar{S}_j + \frac{1}{\bar{P}_c} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} k_{j\delta_{0i}} \bar{S}_j + \frac{1}{\bar{P}_c} \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} k_{j\delta_t} \bar{S}_j, \quad (7)$$

или

$$\Delta\psi_{\text{пс}} = \Delta\psi_{\text{пс}} + \sum_{i=1}^p \delta_{0i} \psi_{\text{пс}} + \delta_t \psi_{\text{пс}}, \quad (8)$$

где $\Delta\psi_{\text{пс}} = \frac{1}{\bar{P}_c} \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} k_{j\Delta} \bar{S}_j$ — относительная погрешность системы, полученная в процессе производства при нормальных условиях;

$\sum_{i=1}^p \delta_{0i} \psi_{\text{пс}} = \frac{1}{\bar{P}_c} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} k_{j\delta_{0i}} \bar{S}_j$ — относительное приращение погрешности системы от воздействия внешних возмущающих факторов

на ее элементы; $\delta_t \psi_{\text{пс}} = \frac{1}{\bar{P}_c} \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} k_{j\delta_t} \bar{S}_j$ — относительное приращение погрешности системы от воздействия процесса старения на ее элементы.

Измерительные системы используются в различных условиях эксплуатации, обычно отличающихся от нормальных, поэтому θ_i и $\Delta\theta_i$ являются случайными величинами. Как показали экспериментальные исследования, коэффициенты $k_{j\Delta}$, $k_{j\delta\theta_i}$, $k_{j\delta t}$, а следовательно, и k_{jz} являются также случайными величинами. Время t тоже может рассматриваться как случайная величина. Это означает, что рассмотрение элемента S_j может происходить в любой момент времени, выбранный случайным образом. Следовательно, и $\Delta\psi_{\text{пс}}$ будет величиной случайной, характеризующейся математическим ожиданием и дисперсией. Математическое ожидание $\Delta\psi_{\text{пс}}$ определяет погрешность, которая возникает при изменении средних значений возмущений

$$M(\Delta\psi_{\text{пс}}) = \frac{1}{\bar{P}_c} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} \bar{S}_j M k_{j\delta\theta_i} + \frac{1}{\bar{P}_c} \sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} k_{j\delta t} \bar{S}_j. \quad (9)$$

Выражение (9) получено из формулы (7) при замене случайных аргументов их математическими ожиданиями. При этом член в выражении (7), учитывающий относительную погрешность системы, полученную в процессе производства при нормальных условиях, обращается в нуль, если

$$M(k_{j\Delta}) = 0.$$

Используя теорему о дисперсиях функции независимых случайных величин и выражение (7), получим

$$D(\Delta\psi_{\text{пс}}) = \frac{1}{\bar{P}_c^2} \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial P_c}{\partial S_j} \bar{S}_j \right)^2 D K_{j\Delta} + \frac{1}{\bar{P}_c^2} \sum_{i=1}^p \left(\sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} \bar{S}_j \right)^2 D k_{j\delta\theta_i}. \quad (10)$$

В основном для всех измерительных систем перед пуском их в эксплуатацию предусматривается наладка ($k_{j\delta\theta_i} = M k_{j\delta\theta_i}$), поэтому первое слагаемое в (10) обращается в нуль, а выражение (10) приобретает следующий вид:

$$D(\Delta\psi_{\text{пс}}) = \frac{1}{\bar{P}_c^2} \sum_{i=1}^p \left(\sum_{j=1}^m \frac{\partial P_c}{\partial S_j} \bar{S}_j \right)^2 D k_{j\delta\theta_i}. \quad (11)$$

Аналогично определяются и остальные точностные характеристики измерительной системы — вариация показаний, нечувствительность и порог чувствительности. Что же касается непостоянства показаний, то необходимо учитывать значение параметров элементов для начала контролируемого периода (t_1):

$$S_{jt_1} = k_{jrt_1} \bar{S}_j, \quad (12)$$

и для конца контролируемого периода (t_2):

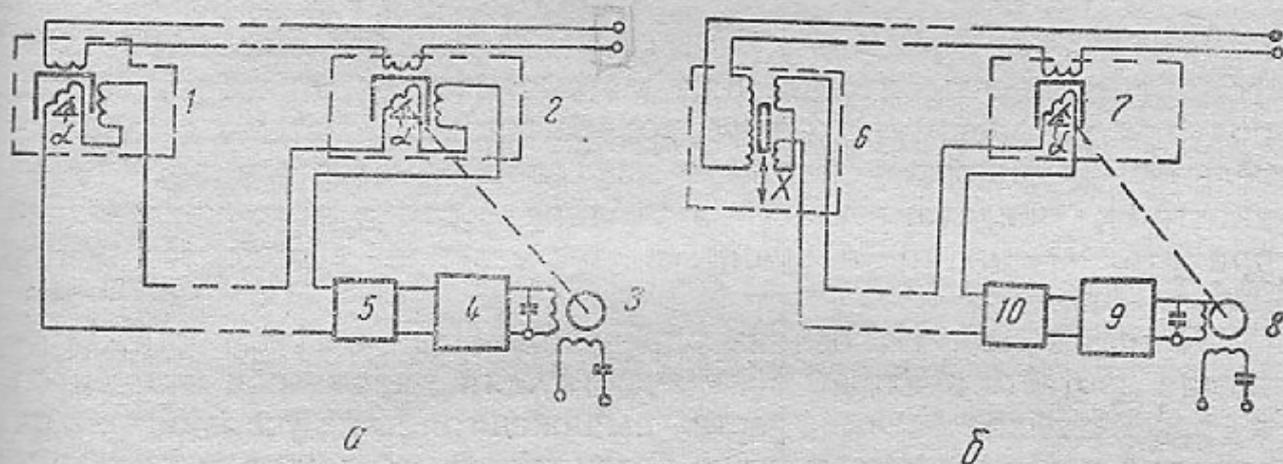
$$S_{jt_2} = k_{jrt_2} \bar{S}_j. \quad (13)$$

Здесь k_{jrt_1} определяется по формуле (5), а k_{jrt_2} по формуле

$$k_{jrt_2} = k_{jrt_1} + k_{jrst_1} \quad (14)$$

где $k_{j,\Delta t}$ — чувствительность элемента S_j к нестабильности своих параметров за контролируемый период.

Подход к статическим точностным характеристикам измерительных систем, применяемый в данной работе, может быть использован для исследования ферродинамических, дифференциально-трансформаторных, реостатных, частотных и других измерительных систем. Результаты работы показывают, что достаточно полное описание точностных свойств измерительных систем



Ферродинамические измерительные автокомпенсационные схемы: а — с измерительным ферродинамическим преобразователем; б — с дифференциально-трансформаторным преобразователем; 1, 2, 7 — ферродинамические преобразователи; 3, 8 — электродвигатели; 4, 9 — электронные усилители; 5, 10 — делители напряжения.

может быть получено на основании сравнительно небольшого числа статических характеристик их элементов, а также можно выяснить, какие именно характеристики являются необходимыми. Точностные характеристики измерительных систем могут быть получены и в предположении, что внешним возмущениям и процессу старения элементов подвержены только первичные или вторичные приборы измерительной системы. Кроме того, применяемый подход к исследованию работы системы позволяет независимо от конкретных значений вероятностных характеристик предложить некоторые схемные методы улучшения метрологических свойств измерительных систем и в ряде случаев оценить эффективность этих улучшений, а также производить сравнение различных систем.

В качестве примера использования описанного метода рассмотрим определение точностных характеристик для ферродинамических измерительных автокомпенсационных схем (см. рисунок).

Как для любой автокомпенсационной измерительной системы, так и для ферродинамической перед определением статических

точностных характеристик необходимо найти уравнение покоя системы, которое определяется из уравнения баланса моментов [3]:

$$|N| \leq |N_m|, \quad (15)$$

где N — пусковой момент двигателя;

N_m — момент трения в системе, приведенной к валу двигателя.

Значения N и N_m определяются по известным выражениям [3]. В результате получаем зависимость

$$M_0 = f(\alpha), \quad (16)$$

где M_0 — взаимоиндуктивность;

α — угол поворота рамки ферродинамического преобразователя.

Используя выражения (15), (16) и параметры элементов схем (см. рисунок), произведя ряд математических преобразований, получим уравнения покоя ферродинамической системы с измерительным ферродинамическим и дифтрансформаторным преобразователями, представленными в таблице. Если в этих уравнениях принять $\sigma = 0$, то получим и достаточное уравнение покоя (см. таблицу).

Погрешность. Исходя из определения для погрешности, принимая соответствующие обозначения для параметров элементов и рассматривая левые части выражения для условий покоя системы как функцию многих переменных, разложив в ряд Тейлора сначала по степеням погрешностей параметров, а затем по степеням малых приращений погрешности от воздействия на элементы внешних возмущений и процесса старения, вычитая из полученных выражений начальные условия, получим выражения для погрешности ферродинамических автокомпенсационных схем (см. таблицу).

Вариация показаний. Исходя из определения для вариации показаний, очевидно, что для прямого хода необходимо принять: для автокомпенсационной измерительной системы с измерительным ферродинамическим преобразователем

$$\alpha_1 = \alpha'; \quad \text{sign } \Omega = 1; \quad \sigma = 1;$$

и с измерительным дифференциально-трансформаторным преобразователем

$$x_1 = x'; \quad \text{sign } \Omega = 1; \quad \sigma = 1,$$

а для обратного хода соответственно

$$\alpha_1 = \alpha''; \quad \text{sign } \Omega = -1; \quad \sigma = 1;$$

$$x_1 = x''; \quad \text{sign } \Omega = -1; \quad \sigma = 1.$$

Тогда получим по два уравнения покоя для прямого и обратного хода. Вычитая соответственно из первых вторые и произведя ряд математических преобразований, получим выражения для относительного значения вариации показаний с учетом допуска на производство, влияние внешних возмущений и процесса старения на элементы системы (см. таблицу).

| Наименование характеристики | Система с измерительным ферродинамическим преобразователем | Система с измерительным дифференциально-трансформаторным преобразователем |
|-----------------------------------|---|--|
| 1 | 2 | 3 |
| Условия покоя системы | $k_{M_1} \bar{M}(\alpha) \cos k_{\eta_1} \bar{\eta}_1 - k_{M_2} \bar{M}(\alpha) \times$ $\times \cos k_{\eta_2} \bar{\eta}_2 + \frac{k_{Z_1} \bar{Z}_1}{k_{\omega} \bar{\omega}} k_{U_{01}} \bar{U}_{01} =$ $= \frac{\sigma k_{Z_1} \bar{Z}_1}{k_{\omega} \bar{\omega}} \left[-k_{n_{mn}} \bar{n}_{mn} \text{sign } N + \right.$ $\left. + (k_{n_{mn}} \bar{n}_{mn} - k_{n_{mg}} \bar{n}_{mg}) \text{sign } \Omega \right]$ | $k_{M_1} \bar{M}(x) \cos k_{\eta_{102}} \bar{\eta}_{102} - k_{M_2} \times$ $\times \bar{M}(\alpha) \cos k_{\eta_2} \bar{\eta}_2 + \frac{k_{Z_2} \bar{Z}_2}{k_{\omega} \bar{\omega}} \times$ $\times k_{U_{02}} \bar{U}_{02} + k_{M_H} \bar{M}_H \times$ $\times \cos k_{\eta_{02}} \bar{\eta}_{02} = \frac{\sigma k_{Z_2} \bar{Z}_2}{k_{\omega} \bar{\omega}} \times$ $\times \left[-k_{n_{mn}} \bar{n}_{mn} \text{sign } N + (k_{n_{mn}} \times \right.$ $\left. \times \bar{n}_{mn} - k_{n_{mg}} \bar{n}_{mg}) \text{sign } \Omega \right]$ |
| Достаточные условия покоя системы | $k_{M_1} \bar{M}(\alpha) \cos k_{\eta_1} \bar{\eta}_1 - k_{M_2} \bar{M}(\alpha) \times$ $\times \cos k_{\eta_2} \bar{\eta}_2 + \frac{k_{Z_1} \bar{Z}_1}{k_{\omega} \bar{\omega}} k_{U_{01}} \bar{U}_{01} =$ $= 0$ | $k_{M_1} \bar{M}(x) \cos k_{\eta_{102}} \bar{\eta}_{102} - k_{M_2} \bar{M} \times$ $\times (\alpha) \cos k_{\eta_2} \bar{\eta}_2 + \frac{k_{Z_2} \bar{Z}_2}{k_{\omega} \bar{\omega}} k_{U_{02}} \times$ $\times \bar{U}_{02} + k_{M_H} \bar{M}_H \cos k_{\eta_{02}} \bar{\eta}_{02} = 0$ |
| Погрешность системы | $\Delta \psi_{\text{пс1}} = \Delta \psi_{\text{пс1}} + \sum_{i=1}^p \delta_{\theta_i} \psi_{\text{пс1}} +$ $+ \delta_t \psi_{\text{пс1}} = \left[k_{m_{10}} \bar{m}_{10} (1 - k_{\Delta \eta_1} \times \right.$ $\times \Delta \eta_1 \text{tg } \eta_1) \cos \bar{\eta}_1 +$ $+ \frac{k_{Z_1} \bar{Z}_{1\sigma}}{k_{\omega} \bar{\omega} \bar{A} \bar{M}'(\alpha)} (k_{n_m} \bar{n}_m -$ $\left. - k_{n_{mg}} \bar{n}_{mg} \text{sign } \Omega_{\text{уст}}) \right] \times$ $\times \sec \bar{\eta}_2 : (1 - k_{\Delta \eta_2} \Delta \eta_2 \text{tg } \bar{\eta}_2) -$ $- k_{m_{20}} \bar{m}_{20}$ | $\Delta \psi_{\text{пс2}} = \left[k_{m_{120}} \bar{m}_{120} (1 - \right.$ $- k_{\Delta \eta_{102}} \Delta \bar{\eta}_{102} \text{tg } \bar{\eta}_{102}) \cos \bar{\eta}_{102} +$ $+ \frac{k_{Z_2} \bar{Z}_{2\sigma}}{k_{\omega} \bar{\omega} \bar{A} \bar{M}'(\alpha)} (k_{n_m} \bar{n}_m - k_{n_{mg}} \times$ $\left. \times \bar{n}_{mg} \text{sign } \Omega_{\text{уст}}) \right] \sec \bar{\eta}_{202} : (1 -$ $= k_{\Delta \eta_{102}} \Delta \eta_{102} \text{tg } \bar{\eta}_{102}) -$ $- k_{m_{20}} \bar{m}_{20}$ |
| Вариация показаний | $\Delta \psi_{\text{вс1}} = \frac{2k_{Z_1} \bar{Z}_1}{k_{\omega} \bar{\omega} \bar{A} \bar{M}'(\alpha)} (k_{n_{mn}} \times$ $\times \bar{n}_{mn} - k_{n_{mg}} \bar{n}_{mg}) : (1 - k_{\Delta \eta_1} \times$ $\times \Delta \eta_1 \text{tg } \bar{\eta}_1) \cos \bar{\eta}_1$ | $\Delta \psi_{\text{вс2}} = \frac{2k_{Z_2} \bar{Z}_2}{k_{\omega} \bar{\omega} \bar{X} \bar{M}'(x)} \times$ $\times (k_{n_{mn}} \bar{n}_{mn} - k_{n_{mg}} \bar{n}_{mg}) : (1 -$ $- k_{\Delta \eta_{102}} \Delta \eta_{102} \text{tg } \bar{\eta}_{102}) \cos \bar{\eta}_{102}$ |

| Наименование характеристики | Система с измерительным ферродинамическим преобразователем | Система с измерительным дифференциально-трансформаторным преобразователем |
|-----------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Нечувствительность системы | $\Delta\psi_{\text{нел}} = \frac{2k_{Z_1}\bar{Z}_1}{k_{\omega}\bar{\omega}\bar{A}\bar{M}'(\alpha)} k_{n_{mn}} \times$ $\times \bar{n}_{mn} : (1 - k_{\Delta\eta_1}\Delta\eta_1 \text{tg } \bar{\eta}_1) \times$ $\times \cos \bar{\eta}_1$ | $\Delta\psi_{\text{нел}2} = \frac{2k_{Z_2}\bar{Z}_2}{k_{\omega}\bar{\omega}\bar{X}\bar{M}'(x)} k_{n_{mn}} \times$ $\times \bar{n}_{mn} : (1 - k_{\Delta\eta_{102}}\Delta\eta_{102} \times$ $\times \text{tg } \bar{\eta}_{102}) \cos \bar{\eta}_{102}$ |
| Порог чувствительности | $\Delta\psi_{\text{нел}} = \frac{k_{Z_1}\bar{Z}_1}{k_{\omega}\bar{\omega}\bar{A}\bar{M}'(\alpha)} \times$ $\times (k_{n_{mn}}\bar{n}_{mn} - k_{n_{mg}}\bar{n}_{mg}) : (1 -$ $- k_{\Delta\eta_1}\Delta\eta_1 \text{tg } \bar{\eta}_1) \cos \bar{\eta}_1$ | $\Delta\psi_{\text{нел}2} = \frac{k_{Z_2}\bar{Z}_2}{k_{\omega}\bar{\omega}\bar{X}\bar{M}'(x)} \times$ $\times (k_{n_{mn}}\bar{n}_{mn} - k_{n_{mg}}\bar{n}_{mg}) : (1 -$ $- k_{\Delta\eta_{102}}\Delta\eta_{102} \text{tg } \bar{\eta}_{102}) \cos \bar{\eta}_{102}$ |
| Непостоянство показаний | $\delta_{\Delta t}\psi_{\text{нел}} = \left\{ \left[\delta_{\Delta t}m_1(\psi) - k_{m_1} \times \right. \right.$ $\times \bar{m}(\psi) \delta_{\Delta t}\eta_1 \text{tg } \bar{\eta}_1 \left. \right] \cos \bar{\eta}_1 +$ $+ k_{m_2}m(\psi) \delta_{\Delta t}\eta_2 \sin \bar{\eta}_2 +$ $+ \frac{k_{Z_1}\bar{Z}_1\delta_{\Delta t}U_{01} + k_{U_{01}}\bar{U}_{01} \times}{k_{\omega}\bar{\omega}}$ $\times \frac{\delta_{\Delta t}Z_1}{k_{\omega}\bar{\omega}} \left. \right\} : \cos \bar{\eta}_2 (1 - k_{\Delta\eta_2} \times$ $\times \Delta\eta_2 \text{tg } \bar{\eta}_2) - \delta_{\Delta t}m_2(\psi) -$ $- k_{\Delta\psi_{\text{нел}}}\Delta\psi_{\text{нел}}$ | $\delta_{\Delta t}\psi_{\text{нел}2} = \left\{ \left[\delta_{\Delta t}m_{12}(\psi) - \right. \right.$ $- k_{m_{12}}\bar{m}(\psi) \text{tg } \bar{\eta}_{102} \left. \right] \cos \bar{\eta}_{102} +$ $+ k_{m_2}\bar{m}_2(\psi) \delta_{\Delta t}\eta_{202} \sin \bar{\eta}_{202} +$ $+ \frac{k_{Z_2}\bar{Z}_2\delta_{\Delta t}U_{02} + k_{U_{02}} \times}{k_{\omega}\bar{\omega}}$ $\times \frac{\bar{U}_{02}\delta_{\Delta t}Z_2}{k_{\omega}\bar{\omega}} \left. \right\} : \cos \bar{\eta}_{202} (1 -$ $- k_{\Delta\eta_{202}}\Delta\eta_{202} \text{tg } \bar{\eta}_{202}) -$ $- \delta_{\Delta t}m_2(\psi) - k_{\Delta\psi_{\text{нел}2}}\Delta\psi_{\text{нел}2}$ |

Нечувствительность. Исходя из определения для нечувствительности, необходимо принять для нижней границы покоя системы для автокомпенсационной измерительной системы с измерительным ферродинамическим преобразователем

$$\alpha_1 = \alpha'; \quad \text{sign } N = 1; \quad \sigma = 1$$

и с измерительным дифференциально-трансформаторным преобразователем

$$x_1 = x''; \quad \text{sign } N = 1; \quad \sigma = 1$$

и для верхней границы покоя соответственно,

$$\alpha_1 = \alpha''; \quad \text{sign } N = -1; \quad \sigma = 1;$$

$$x_1 = x''; \quad \text{sign } N = -1; \quad \sigma = 1.$$

Тогда получим для каждой системы по два уравнения покоя: одно для нижней границы, а второе для верхней.

Вычитая выражения для нижней границы из выражений для верхней и произведя ряд математических преобразований, получим выражения для относительной нечувствительности рассматриваемых автокомпенсационных систем (см. таблицу).

Порог чувствительности. Чтобы найти порог чувствительности автокомпенсационных схем, необходимо сначала принять для автокомпенсационной измерительной системы с измерительным ферродинамическим преобразователем

$$\alpha_1 = \alpha'; \quad \text{sign } \Omega = 1; \quad \text{sign } N = 1; \quad \sigma = 1$$

и с измерительным дифференциально-трансформаторным преобразователем

$$x_1 = x'; \quad \text{sign } \Omega = 1; \quad \text{sign } N = 1; \quad \sigma = 1,$$

а затем соответственно

$$\alpha_1 = \alpha''; \quad \text{sign } N = 1; \quad \sigma = 1;$$

$$x_1 = x''; \quad \text{sign } N = 1; \quad \sigma = 1.$$

Тогда получим по два уравнения покоя для каждой системы. Вычитая из первых вторые, произведя ряд математических преобразований, получим выражения для относительного значения порога чувствительности рассматриваемых систем (см. таблицу).

Непостоянство показаний. Если рассматривать время как один из внешних факторов, воздействующих на систему в целом и на ее элементы, а нестабильность их параметров — как результат воздействия, то, используя (1), можем записать значение параметра элемента для начала контролируемого периода (t_1):

$$S_{jt_1}(\Delta, 0, t_1) = k_{jt_1} S_j, \quad (17)$$

и для конца контролируемого периода (t_2):

$$S_{jt_2}(\Delta, 0, t_1, \Delta t) = \bar{S}_j(k_{jt_1} + k_{j\Delta t}). \quad (18)$$

Используя выражения для необходимого и достаточного условия покоя системы, учитывая при этом (17) и (18), производя ряд математических преобразований, получим выражения для относительного изменения показаний системы со временем (см. таблицу).

Математические ожидания и дисперсии точностных характеристик измерительной системы определяются по формулам (9) и (11).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сотсков Б. С. Основы теории и расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники. М., «Высшая школа», 1970. 272 с.
2. Галинкевич Т. А. Оценка надежности сложных технических систем в процессе их производства. — В сб.: О надежности сложных технических систем. М., «Сов. радио», 1966, с. 223—232.
3. Данильченко В. П. Анализ статических точностных характеристик автокомпенсационных измерительных схем ферродинамической системы. — В сб.: Вопросы автоматического контроля и управления в нефтедобыче. Вып. 2, Казань, 1972, с. 156—167.
4. Данильченко В. П. Метрологические вопросы технического проектирования, производства и эксплуатации контрольно-измерительной аппаратуры. — В сб.: Повышение технического уровня изделий и эффективность производства. М., Изд-во стандартов, 1971, с. 119—125.
5. Данильченко В. П. Надійність виробництва та експлуатації приладів і пристроїв частотно-ферродинамічної системи. — В зб.: Надійність та вік машин. Харків, «Прапор», 1967, с. 69—121.
6. Данильченко В. П. Основные статические характеристики колокольных дифманометров. — В сб.: Приборы и системы автоматики. Вып. 25, Харьков, с. 15—28.
7. Данильченко В. П. Основные статические характеристики мембранных дифманометров. — В сб.: Приборы и системы автоматики. Вып. 25, Харьков, 1973, с. 94—110.

УДК 62—501.21

О статических точностных характеристиках измерительных систем. Данильченко В. П. Сб. «Автоматизированные системы управления и приборы автоматики», вып. 34, 1975, с. 27—36.

Рассмотрены факторы, влияющие на точность измерения и передачу на расстояние информации измерительной системой. Разработана методика определения статических точностных характеристик с учетом влияния внешних возмущающих факторов и процесса старения на элементы системы. Определены математические ожидания и дисперсии точностных характеристик. Предложена область применения рассмотренной методики. Приведен практический пример определения статических точностных характеристик для ферродинамической измерительной системы.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. 7.