

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОДНОГО СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ДВУХ ОБЪЕКТОВ

В. И. ЛУКОВНИКОВ

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры электрооборудования АЭМФ)

Известен эффективный метод определения угла относительного разворота  $\Psi$  двух объектов вокруг общей оси с помощью корреляции оптического изображения одного из них со своим эталоном (маской), расположенном на другом, когда эталону придаются крутильные колебания [1]. Относительная погрешность определения  $\Psi$  при этом будет определяться уравнением

$$\delta U_{\Psi} = \delta U_{оэ} + \delta t_{эмч}, \quad (1)$$

где  $\delta U_{оэ}$  — относительная погрешность, вносимая оптико-электронной частью устройства, реализующего указанный способ измерения  $\Psi$ , а  $\delta t_{эмч}$  — относительная погрешность электромеханической части устройства, обеспечивающей определенный закон колебания (сканирования) эталона.

Величина  $\delta U_{оэ}$  определяется шумами, старением элементов, дрейфом рабочих точек, фазовыми сдвигами и т.д. и обычно значительно меньше, чем величина  $\delta t_{эмч}$ , которая зависит от неточности закона сканирования.

Для искаженного синусоидального закона сканирования

$$\varphi(t) = \varphi_m (1 + \delta\varphi_m) \sin[2\pi f_{кол} (1 + \delta f_{кол}) t] + \varphi_m \cdot \delta\varphi$$

нетрудно получить в случае определения  $\Psi$  через опорный импульс (первый способ по [1])

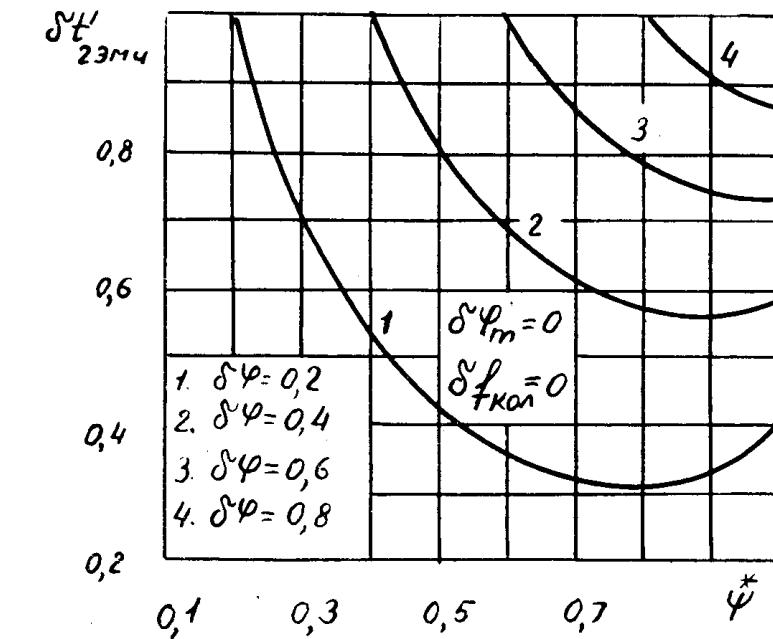
$$\delta t'_{1эмч} = 1 - \{ \arcsin[(\Psi^* - \delta\varphi)(1 + \delta\varphi_m)^{-1}] + \arcsin[\delta\varphi(1 + \delta\varphi_m)^{-1}] \} [(1 + \delta f_{кол}) \arcsin \Psi^*]^{-1}, \quad (2)$$

а в случае использования тактовых импульсов (второй способ по [1])

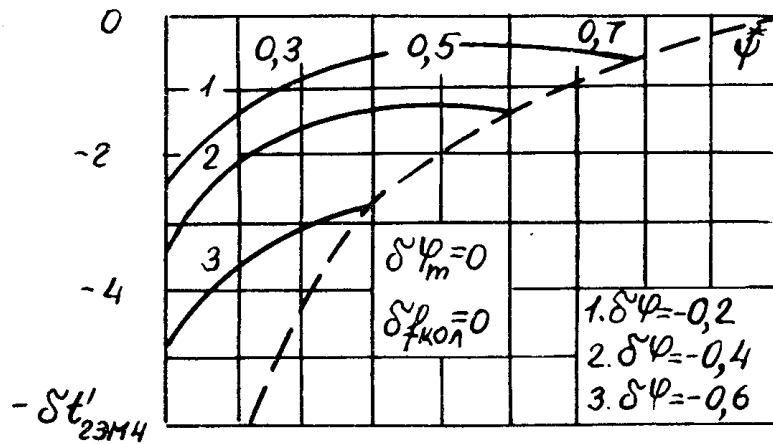
$$\delta t'_{2эмч} = 1 - \arcsin[(\Psi^* - \delta\varphi)(1 + \delta\varphi_m)^{-1}] \cdot (1 + \delta f_{кол}) \cdot \arcsin \Psi^*]^{-1}, \quad (3)$$

где  $\varphi_m$ ,  $\delta\varphi_m$ ,  $f_{кол}$ ,  $\delta f_{кол}$  — величина и относительная погрешность от изменения амплитуды и частоты колебаний,  $\delta\varphi$  — относительная погрешность от изменения положения оси отсчета угла колебаний  $\varphi$ .





а)



б)

Рис. 2

пользу треугольного, поскольку при его использовании ошибка  $\delta\psi$  не вносит вклада в общую погрешность  $\delta t'_{1эмч}$ , если применен первый способ определения  $\Psi$ . Однако синусоидальный закон сканирования является оптимальным с точки зрения динамики.

Сравнение способов определения  $\Psi$  подтверждает более высокую точность первого для обоих законов сканирования. Особенно резко это проявляется при  $\Psi$ , близких к нулю, что очень важно. Действительно,

$$\lim_{\psi \rightarrow 0} \delta t'_{1эмч} = 1 - [(1 + \delta f_{кол}) \sqrt{(1 + \delta\psi_m)^2 - \delta\psi^2}]^{-1},$$

в то время как

$$\lim_{\psi \rightarrow 0} \delta t'_{2эмч} \rightarrow \infty.$$

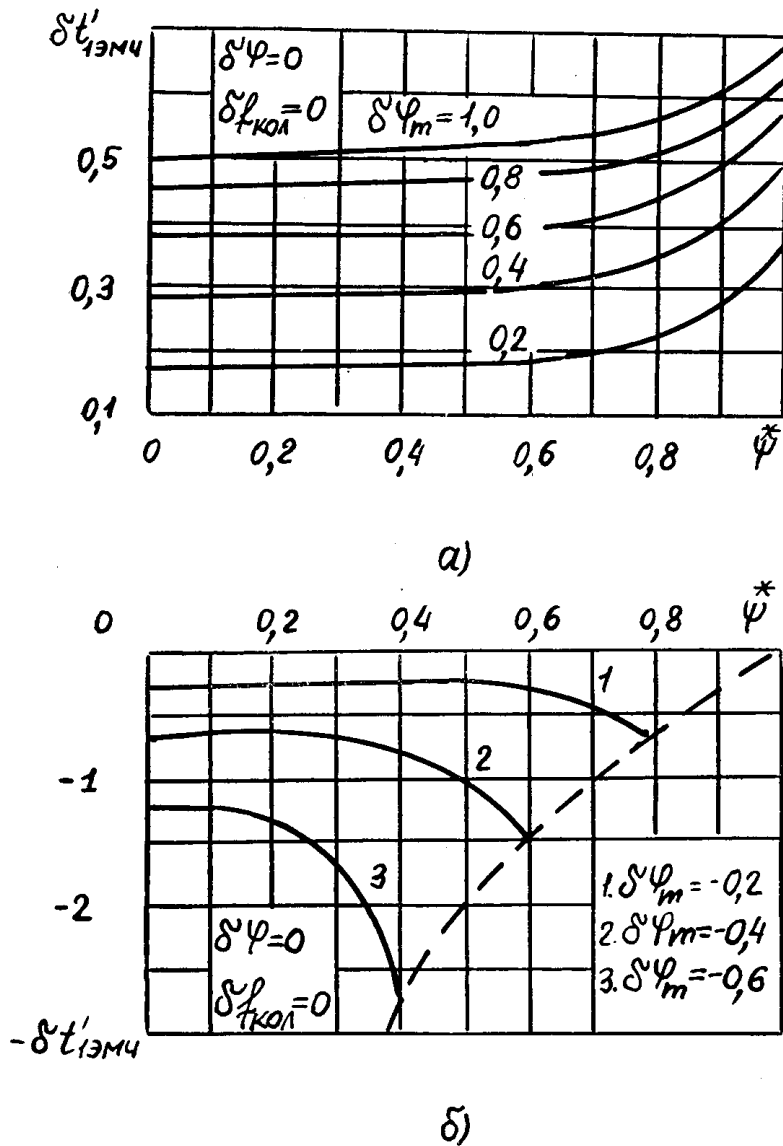


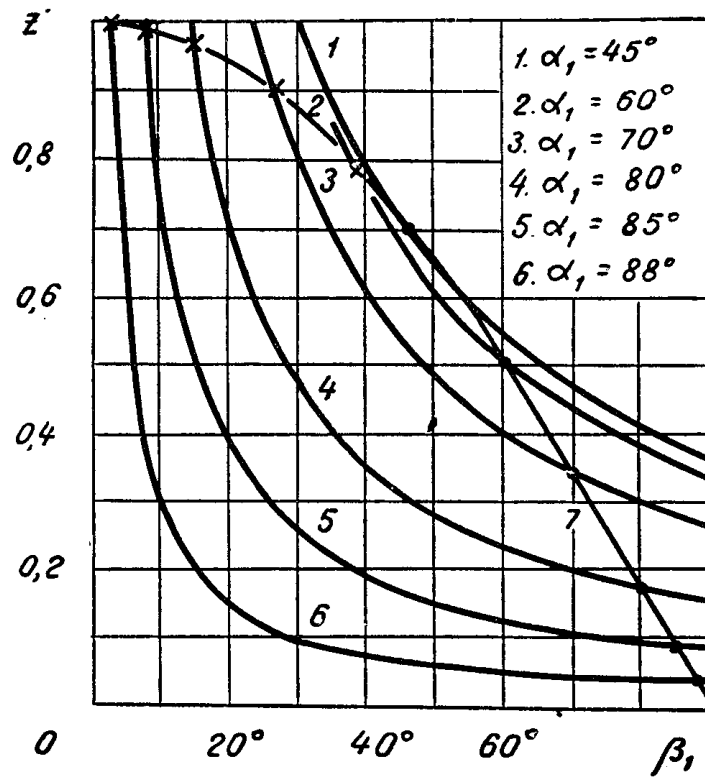
Рис. 3

Когда  $\delta\psi=0$ , оба способа обладают одинаковой точностью, то есть выражения (2), (3) и (4), (5) совпадают.

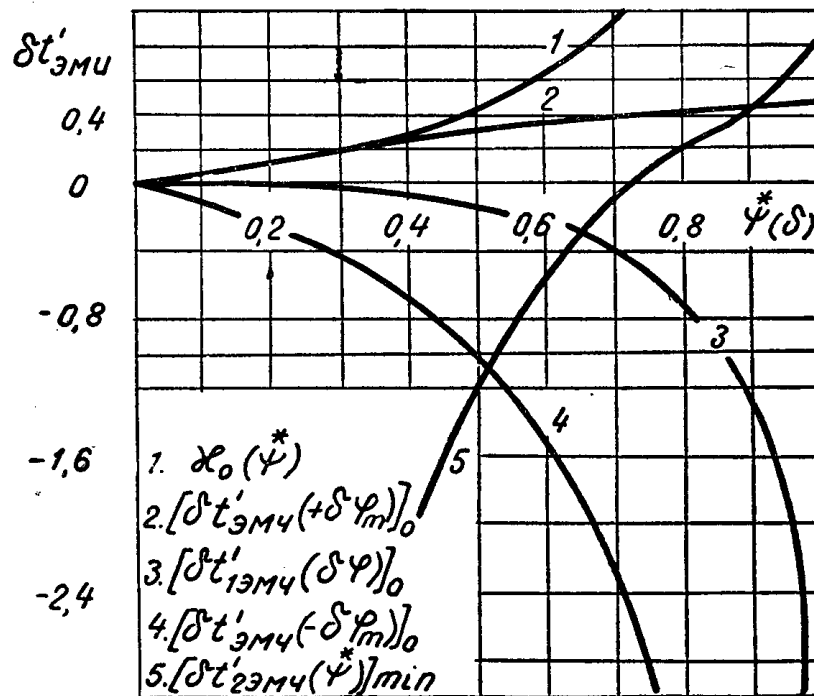
На рисунках 1, 2, 3 представлены частные зависимости погрешностей  $\delta f'_{1эмч}$  и  $\delta t'_{2эмч}$  от  $\Psi^*$ , анализ которых позволяет получить ряд выводов.

Выясняется, что, когда  $\Psi^*$  и элементарная погрешность ( $\delta\psi$ ,  $\delta\psi_m$ ,  $\delta f_{кол}$ ) имеют одинаковые знаки, величина общей ошибки не превышает единицы для  $\Psi^* \geq \delta\psi$ ,  $\delta\psi_m$ ,  $\delta f_{кол}$ . В противном случае ошибка может быть и бесконечной.

Когда  $\Psi$  и элементарные погрешности имеют разные знаки, появляются области, показанные на рис. 1,б, 2,б, 3,б штриховыми линиями, в которых не может быть замерен ряд значений  $\Psi^* \leq 1$ . Величина этих областей существенным образом зависит от величины соответствующих элементарных ошибок. Минимум погрешности  $(\delta t'_{1эмч})_{\min} = 0$  в точках



a)



б)

Рис. 4

$\Psi^* = \delta\varphi$  при  $\delta\varphi_m = \delta f_{\text{кол}} = 0$ . В то же время  $(\delta t'_{2\text{эмч}})_{\text{min}} = 0$  равна нулю лишь при  $\delta\varphi = 0$ , что не представляет практического интереса, а для  $\delta\varphi \neq 0$  экстремальные точки определяются равенством

$$x_0 = \frac{\arcsin \Psi^*}{\arcsin(\Psi^* - \delta\varphi)} = \frac{\sqrt{1 - (\Psi^* - \delta\varphi)^2}}{\sqrt{1 - \Psi^{*2}}} \quad (6)$$

Графическое решение уравнения (6) приводится на рис. 4,а, где введены обозначения  $\alpha_1 = \arcsin \Psi^*$ ,  $\beta_1 = \arcsin(\Psi^* - \delta\varphi)$ . Практический смысл имеют лишь помеченные звездочками точки пересечения кривых  $Z_1' = \alpha_1 \cdot \beta_1^{-1} \cdot \cos \alpha_1$ , где варьировалось  $\alpha_1$ , и  $Z_2' = \cos \beta_1$ . С их помощью получена вспомогательная кривая  $\kappa_0 = \kappa_0(\Psi)$ , представленная на рис. 4,б (кривая 1).

Используя зависимость  $\kappa_0(\Psi^*)$ , точки, где  $\delta t'_{2\text{эмч}}$  минимальна при  $\varphi_m \delta = \delta f_{\text{к}} \xi = 0$ , можно определять по выражению

$$\delta\varphi = \Psi^* [1 - \sqrt{(1 - x_0^2) \Psi^{*-2} + x_0^2}]. \quad (7)$$

Так, например, была получена зависимость  $(\delta t'_{2\text{эмч}})_{\text{min}}$  от  $\Psi^*$ , представленная на рис. 4,б кривой 5. Ее отличие от линии, соединяющей экстремумы кривых  $\delta t'_{2\text{эмч}}(\Psi^*)$  на рис. 2, не превышает 8%.

Для случаев  $\delta\varphi = \delta f_{\text{кол}} = 0$ , а также  $\delta\varphi = \delta\varphi_m = 0$  минимум ошибки  $\delta t'_{1\text{эмч}}$  и  $\delta t'_{2\text{эмч}}$  наблюдается при  $\Psi^* = 0$ .

Если проводить сравнение только для первого способа определения  $\Psi^*$ , то можно видеть, что наибольший вклад (по сравнению с  $\delta\varphi$ ) в общую ошибку вносят погрешности  $\delta f_{\text{кол}}$  и  $\delta\varphi_m$  при  $\Psi^* \leq 0,707$ , когда  $\Psi^*$  и погрешности имеют одинаковые знаки (кривые 2 и 3, рис. 4,б), и при  $0 \leq \Psi^* \leq 1$ , когда  $\Psi^*$  и погрешности имеют разные знаки (кривые 4 и 3, рис. 4,б).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П. И. Госьков, В. И. Луковников. Доклады 6-й и.т.к. по вопросам автоматизации производства, т. 3, Томск, 1969.