

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 Ψ 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 Ψ 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 Ψ , 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

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

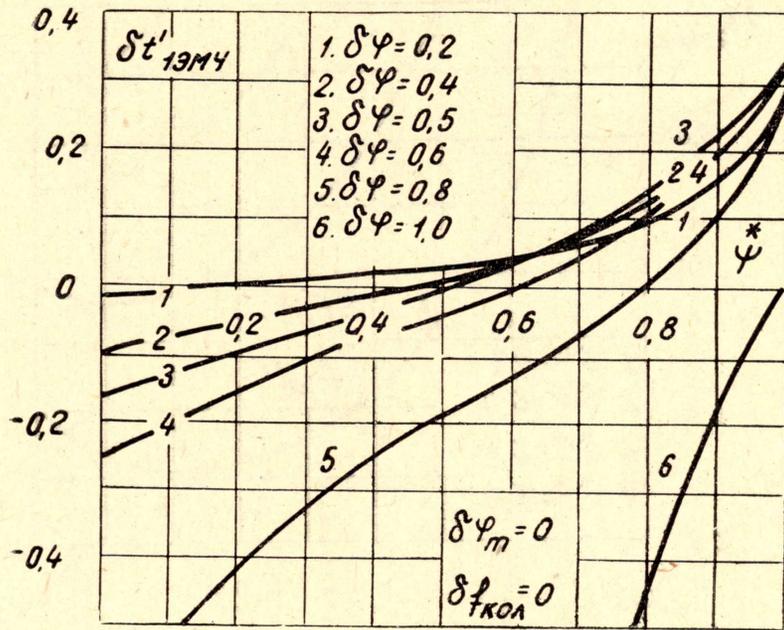
нетрудно получить в случае определения Ψ через опорный импульс (первый способ по [1])

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

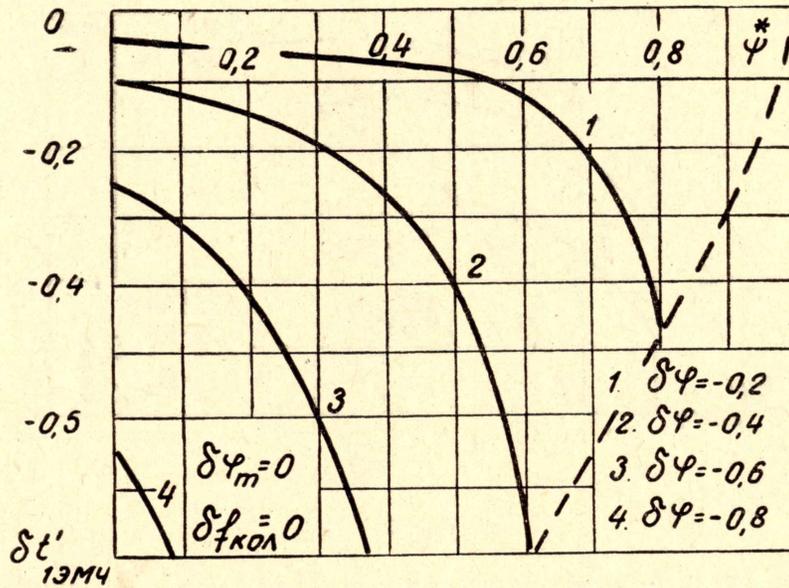
а в случае использования тактовых импульсов (второй способ по [1])

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

где φ_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 φ .



а)



б)

Рис. 1

Для искаженного треугольного закона сканирования

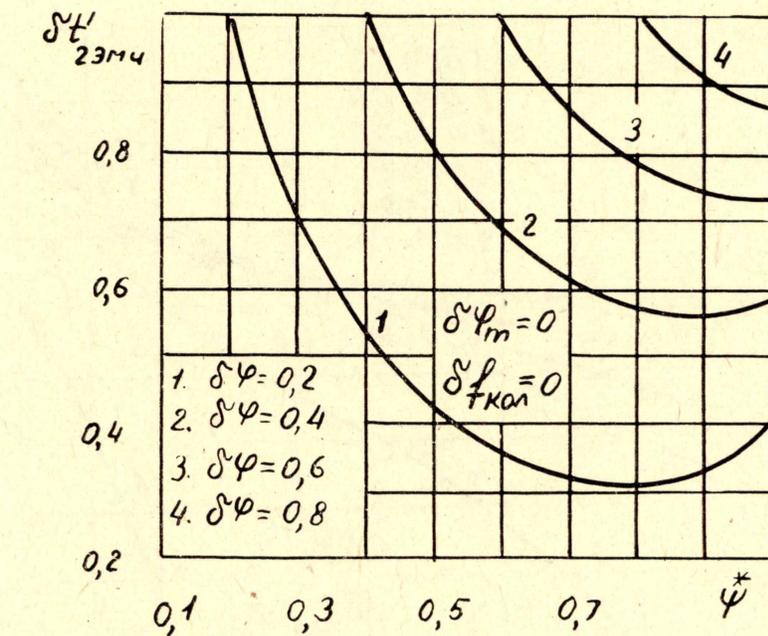
$$\varphi(t) = 4\varphi_m f_{\text{кол}} (1 + \delta f_{\text{кол}}) (1 + \alpha \varphi_m) t + \varphi_m \cdot \delta \varphi$$

(в течение полпериода) получим соответственно

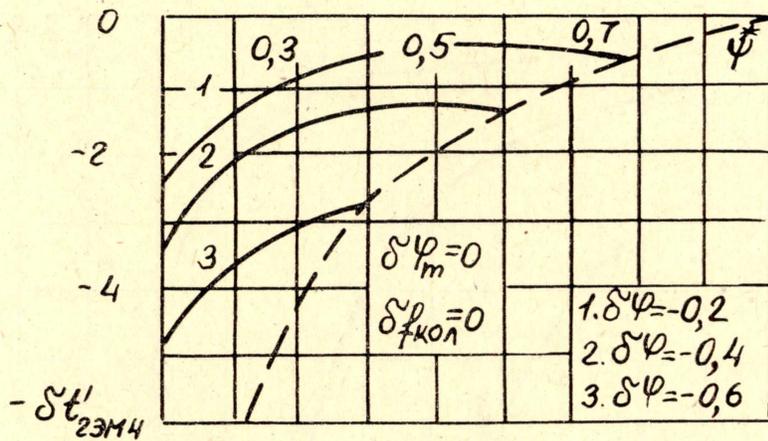
$$\delta t''_{1ЭМЧ} = \delta f_{\text{кол}} + \delta \varphi_m, \quad (4)$$

$$\delta t''_{2ЭМЧ} = \delta f_{\text{кол}} + \delta \varphi_m + \delta \varphi \cdot \Psi^{-1}. \quad (5)$$

Сравнение законов сканирования говорит (в смысле точности) в



а)



б)

Рис. 2

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

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

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

в то время как

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

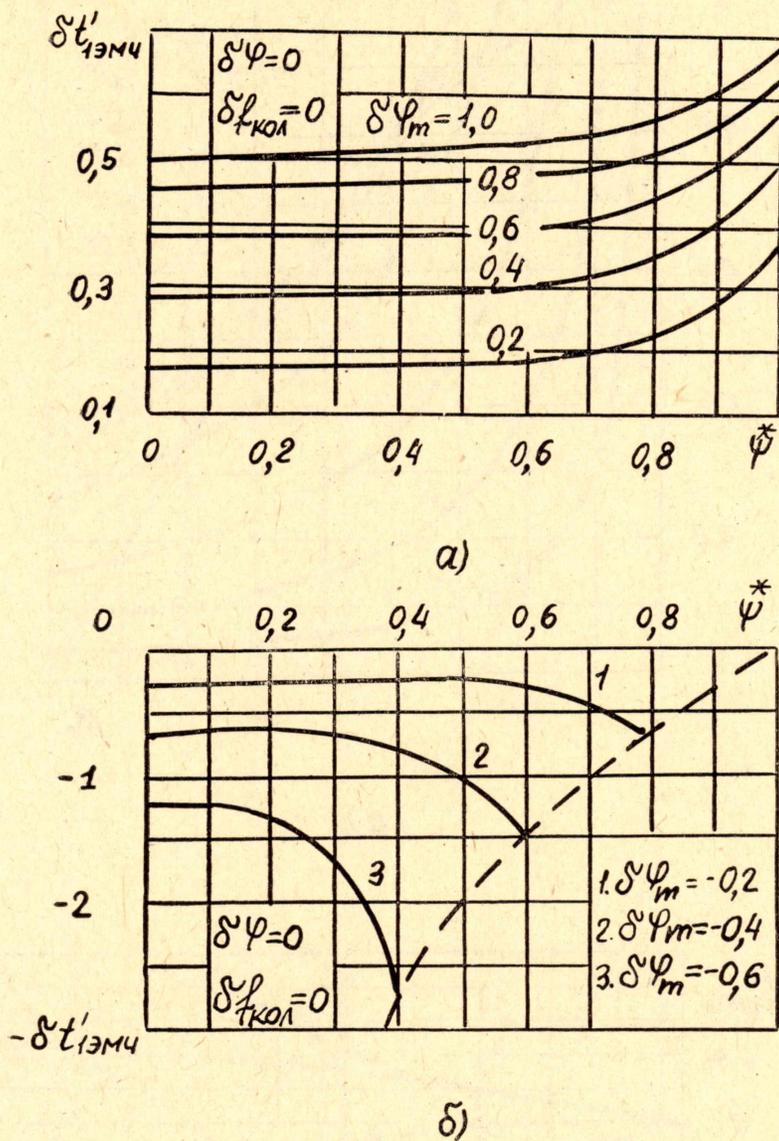


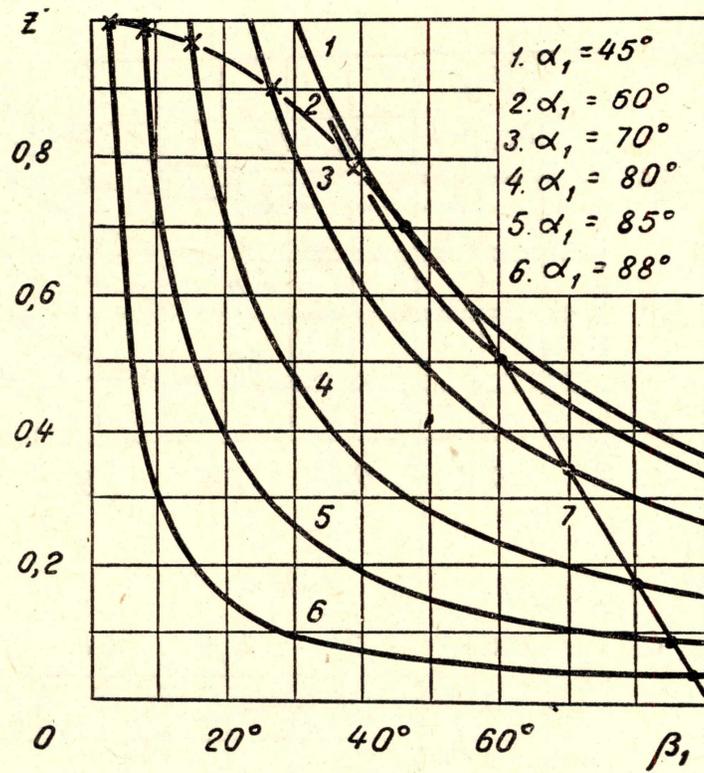
Рис. 3

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

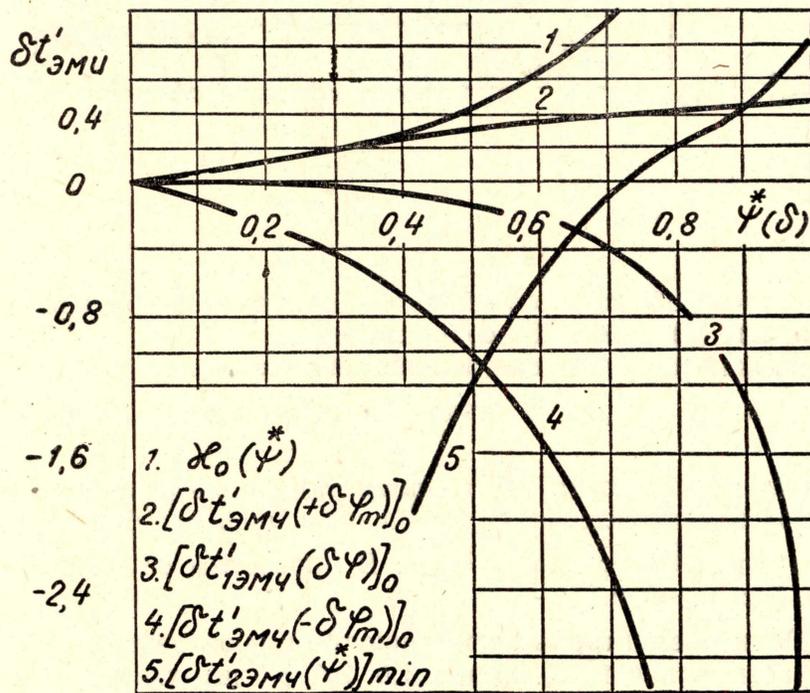
На рисунках 1, 2, 3 представлены частные зависимости погрешностей $\delta f'_{1ЭМЧ}$ и $\delta t'_{2ЭМЧ}$ от ψ^* , анализ которых позволяет получить ряд выводов.

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

Когда ψ 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)



b)

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

$$\kappa_0 = \frac{\arcsin \Psi^*}{\arcsin(\Psi^* - \delta\varphi)} = \frac{\sqrt{1 - (\Psi^* - \delta\varphi)^2}}{\sqrt{1 - \Psi^{*2}}}. \quad (6)$$

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 α_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 $\varphi_m \delta = \delta f_{\text{к}} \delta = 0$, можно определять по выражению

$$\delta\varphi = \Psi^* [1 - \sqrt{(1 - \kappa_0^2) \Psi^{*2} + \kappa_0^2}]. \quad (7)$$

Так, например, была получена зависимость $(\delta t'_{2\text{эмч}})_{\text{min}}$ от Ψ^* , 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 Ψ^* , 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 Ψ^* и погрешности имеют одинаковые знаки (кривые 2 и 3, рис. 4,б), и при $0 \leq \Psi^* \leq 1$, когда Ψ^* и погрешности имеют разные знаки (кривые 4 и 3, рис. 4,б).

ЛИТЕРАТУРА

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