УЧЕТ НЕОРТОГОНАЛЬНОСТИ ОТКЛОНЕНИЯ ЛУЧА ЭЛТ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ РАЗНОСТИ ФАЗ ПО ФИГУРЕ ЛИССАЖУ

В. С. Панченко, В. Г. Орлов

Харьков

При измерении разности фаз по фигуре Лиссажу обычно предполагается, что отклонение луча электронно-лучевой трубки происходит в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. В действительности, вследствие пониженных требований к точности установки отклоняющих систем линии отклонения на экране могут образовывать угол, отличающийся от прямого до 2—4° [1].

Рассмотрим влияние этого фактора на точность измерения разности фаз по фигуре Лиссажу с помощью наиболее удобных и точных способов измерений, рекомендованных в работе [2].

Предположим, что перед измерениями проделаны следующие операции:

а) след линии вертикального отклонения совмещен с осью прямоугольной системы координат, а след линии горизонтального отклонения образует с осью X системы координат некоторый угол β, отсчитанный от этой оси против хода часовой стрелки;

б) максимальное отклонение по вертикали при отсутствии напряжения, подаваемого на горизонтально-отклоняющие пластины, установлено равным некоторой величине A;

в) с помощью градуировки оси X установлена равной A величина *проекции координаты точки* $x = X_m$ *на ось* X.

При этом для изображения на экране ЭЛТ можно написать следующие уравнения:

$$x = A \sin \omega t;$$
$$y = A [\sin(\omega t + \varphi) + \operatorname{tg} \beta \sin \omega t]. \qquad (1)$$

Из уравнения (1) непосредственно следует, что для способа I (согласно нумерации рекомендованных способов, принятой в работе [2]) расчетная формула для нахождения φ по измеренным a и A при $\beta \neq 0$ такова, как и в случае $\beta = 0$, а дополнительная погрешность вследствие неортогональности отклонений отсутствует.

Для способов 2Б-9 из уравнений (1) легко получить расчетные формулы с учетом $\beta \neq 0$ и выражения для систематической погрешности, обязанной неортогональности отклонений луча $\delta\varphi_\beta$.

Все они сведены в таблицу. Входящие в нее величины определены в работе [2], φ_1 — измеряемый фазовый угол, приведенный к I четверти.

Из таблицы следует, что величина $\delta\varphi_\beta$ для способов 2Б-9 зависит от величины измеряемой разности фаз, а максимальное ее значение для способа 2Б при $\varphi = 45°$ равно $\beta\sqrt{2}$, остальных — β.

Таким образом, при измерении разности фаз с повышенной точностью необходим учет погрешности $\delta\varphi_\beta$. Исключить эту погрешность можно путем выбора трубки с минимальным значением β (в процессе изготовления

№ способа	Расчетная формула при $\beta = 0$	Расчетная формула при $\beta \neq 0$	Выражение для погрешности $\delta\varphi_\beta$
1	2	3	4
1	$\varphi = \arcsin \frac{a}{A}$	$\varphi = \arcsin \frac{a}{A}$	$\delta\varphi_\beta = 0$
2Б	$\varphi = \arccos \frac{b}{A}$	$\varphi = \arccos \left(\frac{b}{A} - \operatorname{tg}\beta\right)$	$\delta\varphi_\beta \approx \pm \frac{\operatorname{tg}\beta}{\sin\varphi}$
3 и 4	$\varphi = \arccos \frac{a_m}{A} - 45^\circ$	$\varphi = \arccos \left(\frac{a_m}{A} - \frac{\operatorname{tg}\beta}{\sqrt{2}}\right) - 45^\circ$	$\delta\varphi_\beta \approx \pm \frac{\operatorname{tg}\beta}{\sqrt{2}\sin(45^\circ - \varphi_1)}$
5 и 6	$\varphi = 2\arcsin \frac{M_m}{A\sqrt{2}}$	$\varphi = 2\arcsin \frac{M_m}{A\sqrt{1(1 \mp \operatorname{tg}\beta)^2}}$, — если измерена под углом —45° осносительно оси, + если под углом +45°	$\delta\varphi_\beta \approx \pm \operatorname{tg}\beta \operatorname{tg}\frac{\varphi_1}{2}$
7Б	$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{a}{b}$	$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\frac{a}{b}\left\{1 \pm \operatorname{tg}\beta \sqrt{1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2 (1 - \operatorname{tg}^2\beta)}\right\}}{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2 \operatorname{tg}^2\beta}$, — если $b > a$, + если $b < a$	$\delta\varphi_\beta \approx \pm \operatorname{tg}\beta \sin\varphi$
8	$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{a''}{a'} - 45^\circ$	$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\frac{a''}{a'} \pm k\sqrt{1 - k^2 + \left(\frac{a''}{a'}\right)^2}}{1 - k^2} - 45^\circ$, где $k = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\sqrt{2}}\left(1 - \frac{a''}{a'}\right)$, — при $\lvert a''\rvert > \lvert a'\rvert$, + при $\lvert a''\rvert < \lvert a'\rvert$	»
9	$\varphi = 2\operatorname{arctg} \frac{M}{Б}$	$\varphi = 2\operatorname{arctg}\left\{\frac{M}{Б}\sqrt{\frac{1 + (1 \pm \operatorname{tg}\beta)^2}{1 + (1 \mp \operatorname{tg}\beta)^2}}\right\}$ верхние знаки при $M < Б$, нижние знаки при $M > Б$	»

фазометрического устройства) или осциллографа (в случае лабораторных измерений). Если измеренное значение β превышает допустимую погрешность измерений, погрешность вследствие неортогональности можно исключить расчетом фазовых углов по формулам, помещенным в столбце 3 таблицы.

Проще это можно сделать, используя расчетные формулы, полученные без учета неортогональности, вводя поправки согласно формулам столбца 4. При этом следует помнить, что знак поправки отрицателен при $\beta = 0$ и положителен при $\beta < 0$. Полученные выражения позволяют также определить требования к точности установки отклоняющих систем ЭЛТ в фазометрических устройствах с индикацией разности фаз в виде фигуры Лиссажу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электровакуумные приборы. Справочник. Госэнергоиздат, 1956.

2. В. С. Панченко. О способах и отсчетной точности определения разности фаз по фигуре Лиссажу. «Изв. вузов, Радиотехника», 1966, № 2.