

Полученные аналитические выражения плотности распределения вероятностей погрешности  $E_2$  позволяют в соответствии с алгоритмом, приведенным в [5], рассчитать на ЭВМ достоверность кода и тем самым интегрально оценить его точность в условиях синусоидальных ВФ.

#### Литература

1. Домрачев В.Г. Оценка точности ЦПУ в условиях стационарного воздействия внешних факторов. - Метрология, 1982, № 4.
2. Домрачев В.Г. и др. Точность цифровых преобразователей угла при нестационарном воздействии эксплуатационных факторов. - Метрология, 1983, № 1.
3. Домрачев В.Г. и др. Интегральная оценка точности ЦПУ в условиях эксплуатации. - Измерительная техника, 1980, № 3.
4. Грей В., Мэтьюс Г.Б. Функции Бесселя и их приложения к физике. - М.: ИИ, 1953.
5. Домрачев В.Г. и др. Электромагнитные цифровые преобразователи угла с пространственно-временным кодированием. - Приборы и системы управления, 1978, № II.

УДК 681.325.53

А.Н.С л е п и ч

#### О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ЦИФРОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ

Совокупным требованиям по точности и производительности, предъявляемым к процессу контроля фазовращателей, наиболее полно удовлетворяет цифровой метод [1]. Этот метод характеризуется преобразованием фазового сдвига между электрическими сигналами в цифровой код, который впоследствии сравнивается с эталонным значением. Разность этих кодов составляет погрешность фазовращателя. Преобразование фазового сдвига в цифровой код осуществляется следующим образом: фазовый сдвиг многократно преобразуется во временной интервал  $T_{\phi}$ , который затем измеряется методом статистических испытаний [2]. Таким образом, точность процесса контроля определяется точностью двух этапов преобразования фазового сдвига.

В данной работе рассматривается точность определения погрешности фазовращателя устройством на основе реального преобразования фазового сдвига в цифровой код.

В работе [3] показано, что после проведения каждого испытания максимальное значение дисперсии  $\sigma_{0 \text{ макс}}^2$  результата испытания составляет

$$\sigma_{0 \text{ макс}}^2 = 0,25 G^2,$$

где  $G$  - период сигналов генератора счетных импульсов.

В общем случае на точность процесса преобразования оказывают влияние неустойчивости частоты питания фазовращателя, неточность преобразования фазового сдвига во временной интервал, неустойчивость периода счетных импульсов. Учет влияния этих факторов сводится к определению общей неустойчивости величины  $T_{\varphi}$  в процессе статистических испытаний.

Во-первых, величина  $T_{\varphi}$  не остается постоянной вследствие неустойчивости частоты питания фазовращателя. Для большинства практических случаев закон ее распределения можно считать нормальным с параметрами  $T_n$ ,  $\sigma_n^2$ . Вследствие этого величина  $T_{\varphi}$  также подчиняется нормальному закону распределения с параметрами  $T_{\varphi}$ ,  $\sigma_{\varphi}^2$ . Отметим, что величина  $\sigma_{\varphi}^2$  принимает максимальное значение при величине  $T_{\varphi}$ , близкой к периоду питания фазовращателя  $T_n$ , т.е. при углах поворота вала фазовращателя, близких к  $360^\circ/\alpha$ , где  $\alpha$  - число пар полюсов фазовращателя. При контроле фазовращателей учитывается дисперсия применительно к этому случаю, т.е. принимается  $\sigma_{\varphi}^2 = \sigma_n^2$ .

Во-вторых, на стабильность величины  $T_{\varphi}$  оказывает влияние погрешность работы преобразователя фазового сдвига во временной интервал. Она включает в себя две составляющие. Первая из них - систематическая, определяемая конечным временем переключения электронных схем, входящих в состав преобразователя. Эта погрешность характеризует математическое ожидание погрешности преобразования фазового сдвига во временной интервал и может быть учтена заранее. Вторая составляющая - случайная, определяемая внутренними шумами электронных схем, входящих в состав преобразователя. Как правило, на практике закон ее распределения приблизительно считается нормальным с параметрами  $0$ ,  $\sigma_k^2$ .

В-третьих, можно показать, что влияние погрешности пересчета счетных импульсов, распределенной по нормальному закону с параметрами  $0, \sigma_g^2$  эквивалентно влиянию дополнительной погрешности величины  $T_\varphi$ , распределенной также по нормальному закону с параметрами  $m_d = 0,$

$$\sigma_d^2 = (\sigma_g / S)^2,$$

где  $S = G / T_n$ .

При композиции нормальных законов распределения, обусловивших погрешность величины  $T_\varphi$ , получается также нормальный закон распределения с параметрами

$$m_\Delta = T_\varphi,$$

$$\sigma_\Delta^2 = \sigma_n^2 + \sigma_k^2 + S^{-2} \sigma_g^2.$$

После проведения  $N$  независимых испытаний среднее арифметическое значение величины  $T_\varphi$  составит

$$\bar{T}_\varphi = G \sum_{i=1}^N K_i / N,$$

где  $K$  - число счетных импульсов, укладывающихся во временном интервале в период произвольного испытания.

Известно [4], что с увеличением числа повторных испытаний распределение среднего арифметического последовательности случайных величин является асимптотически нормальным с параметрами  $T_\varphi, \sigma^2/N$ . Поэтому вероятность того, что результат преобразования отклонится от математического ожидания на величину, меньшую чем  $\varepsilon$ , определяется следующим образом

$$P(|T_\varphi - \bar{T}_\varphi| \leq \varepsilon) = 2 \Phi \left( \frac{\varepsilon \sqrt{N}}{\sigma} \right),$$

где  $\Phi$  - функция Лапласа.

Отсюда число повторных испытаний для реального преобразователя фазовый сдвиг - цифровой код составит

$$N = \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2} \left( \Phi^{-1} \left( \frac{1}{2} Q \right) \right)^2 = \frac{0,25 G^2 + \sigma_n^2 + \sigma_k^2 + S^{-2} \sigma_g^2}{\varepsilon^2} \left( \Phi^{-1} \left( \frac{1}{2} Q \right) \right)^2 (1)$$

где  $\Phi^{-1}$  - функция, обратная функции Лапласа.

Полученная зависимость позволяет определить число повторных испытаний как функции всех основных параметров преобразователя.

Практически для оценки верхней границы числа повторных испытаний удобно пользоваться выражением

$$N = \frac{K_m^2}{T_n^2 \delta^2} \left( 0,25 G^2 + \frac{T_n^2}{g} \left( \frac{1}{r^2} + \frac{1}{q^2} \right) + \sigma_k^2 \right) \left( \Phi^{-1} \left( \frac{1}{2} Q \right) \right)^2,$$

где  $\delta$  - точность контроля в угловых единицах измерения;

$K_m$  - масштабный коэффициент;

$r, q$  - относительные изменения частоты генераторов напряжения питания фазовращателя и счетных импульсов.

При проектировании устройств контроля фазовращателей емкость счетчика числа повторных испытаний выбирается в соответствии с конкретной величиной  $N$ , а емкость информационного счетчика  $L$  выбирается из условия

$$L = \frac{T_n}{G} N.$$

В целях экспериментальной проверки зависимости числа повторных испытаний, как функции основных параметров преобразователя фазового сдвига, в цифровой код было проведено моделирование процесса измерения погрешности идеального фазовращателя, не имеющего собственной погрешности, на ЦВМ.

Алгоритмическая модель процесса измерения погрешности идеального фазовращателя заключается в следующем:

1) по формуле (I) определяется расчетное число повторных испытаний в зависимости от конкретных исходных данных;

2) генерируется величина  $T_\varphi$ , удовлетворяющая условию

$$\left\{ \frac{T_\varphi}{G} \right\} = 0,5,$$

где фигурные скобки обозначают дробную часть от заключенного в них выражения; в работе [5] показано, что в этом случае выполняется соотношение

$$\sigma_o^2 = \sigma_{o \text{ макс}}^2 = 0,25 G^2;$$

3)  $N$  - раз вычисляется наименьшее натуральное число  $M$ , удовлетворяющее условию

$$M_i = \frac{T_\varphi + V_{1i} + V_{2i} - R_i}{G + V_{3i}} \Big|_{i=1, N}$$

где  $V_1, V_2, V_3$  - случайные величины, подчиняющиеся нормальным законам распределения с параметрами  $(0, \sigma_n^2)$ ,  $(0, \sigma_k^2)$ ,  $(0, \sigma_g^2)$  соответственно;  
 $R$  - случайная величина, равномерно распределенная в интервале  $0, G$  ;

4) определяется величина  $\Delta = G \sum_{i=1}^N M_i / N - T_\varphi$  .

Так как идеальный фазовращатель не имеет собственной погрешности, то это погрешность цифрового метода контроля.

Измерения величины  $T_\varphi$  по приведенной алгоритмической модели проведены многократно. В каждом случае датчики, генерирующие величины  $V_1, V_2, V_3, R$  запускались с различными начальными условиями, которые выбирались также случайным образом. После проведения цикла в 200 измерений определялась реальная достоверность результата измерения как отношение количества измерений, в которых выполнялось условие:  $\Delta \leq \varepsilon$ , к общему количеству измерений в цикле.

Результаты моделирования приведены в таблице, где дополнительно приняты следующие обозначения:  $f_n$  - частота напряжения питания фазовращателя;  $f_g$  - частота сигналов генератора счетных импульсов;  $Q_T$  - теоретическое значение достоверности результата измерения;  $Q_n$  - значение достоверности результата измерения, полученной в результате эксперимента.

В случае нецелесообразности применения цифрового метода при каких-либо параметрах устройства контроля в таблице представлен знак  $\ast$ . В таблице максимальное значение величины  $Q_T = 0,999$ , так как в работе [6] показано, что проводить экспериментальные исследования при больших значениях  $Q_T$  нецелесообразно.

Полученные данные иллюстрируют сходимость теоретического расчета и практических результатов. Вместе с тем необходимо отметить, что применение в устройствах контроля кварцевых генераторов счетных импульсов и высокостабильных генераторов напряжения питания фазовращателей, выполненных по схемам, предложенным в [7], приводит к уменьшению числа повторных испытаний и, как следствие, к улучшению динамики всего устройства контроля фазовращателей.

Т а б л и ц а

$f_n, \delta$ кГц	$f_g, \epsilon_{\Delta}^2$ МГц мк $\epsilon^2$	$Q_T$				
		0,80	0,90	0,95	0,99	0,999
		$Q_n$				
15'	1 0,100	0,84	0,95	0,98	1,00	1,0
	0,001	0,75	0,90	0,94	0,99	1,0
	5 0,100	0,83	0,91	0,93	0,97	1,0
	0,001	*	*	*	1,00	1,0
10	5 0,100	0,88	0,96	0,98	1,00	1,0
	0,001	0,75	0,93	0,96	1,00	1,0
	10 0,100	0,83	0,94	0,98	1,00	1,0
	0,001	0,85	0,92	0,97	0,99	1,0
30"	10 0,100	0,84	0,93	0,96	1,00	1,0
	0,001	0,81	0,89	0,97	0,99	1,0

## Литература

1. Домрачев В.Г., Мейко Б.С. Цифровые преобразователи угла. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 328 с.
2. Домрачев В.Г., Глебов В.И. А.с. 333486 (СССР) Способ определения фазовой ошибки двухполюсного фазовращателя. Опублик. в Б.И. № 35, 1972.
3. Домрачев В.Г., Михайлов С.Ф., Школин В.П. Исследование процесса измерения периодических временных интервалов методом усреднения. - Метрология, 1976, № 3, с. 68-77.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. - М.: Наука, 1978. - 832 с.
5. Домрачев В.Г., Михайлов С.Ф. Математическое моделирование процесса измерения периодических временных интервалов на ЭВМ. - Вопросы радиоэлектроники, сер. Электронная вычислительная техника, 1976, вып. I, с. 92-102.
6. Шмиттерер Л. Введение в математическую статистику. - М.: Наука, 1976. - 520 с.
7. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. - М.: Мир, 1983. - 512 с.