

Алгоритм решения задачи на ЭЦВМ предусматривает перебор вариантов путем последовательного перемещения оси фазочувствительности с заданной дискретностью по углу до получения результата, наиболее близкого к линейному. В связи с тем, что при изменении направления оси фазочувствительности изменяется не только линейность шкалы прибора, но и величина максимального отклонения, в программу должны быть внесены условия, предусматривающие ограничение выбора угла поворота оси фазочувствительности при большом сжатии шкалы. Это условие записывается в следующем виде: допустимая минимальная длина шкалы устанавливается равной некоторому значению ED ; при переборе вариантов производится проверка условия $|(B_n - B_1) - |ED| > 0$. Сжатие шкалы в определенных пределах может быть скомпенсировано повышением чувствительности указателя.

Оценка линейности шкалы прибора характеризуется среднеквадратичным отклонением полученной шкалы от линейной.

Блок-схема программы решения задачи приведена на рис. 2. По программе производится вычисление проекции B_i вектора выходного напряжения датчика на ось фазочувствительности AA' . Зависимость $B_i = \varphi(u)$, где u — аргумент, относительно которого исследуется нелинейность (в рассматриваемом случае u — перемещение датчика), аппроксимируется прямой

$$B_i' = P u_i + Q,$$

где

$$P = \frac{K - MBMU}{DU - MU^2}; \quad Q = MB - PMU.$$

Здесь K , MB , MU , DU — соответствующие статистические моменты*. Затем определяется дисперсия S и производится проверка на минимум нелинейности. Решение произведено на ЭЦВМ Минск-22; программа составлена в коде АКИ.

Решение задачи для заданных условий, приведенных на рис. 1, показало, что оптимальное направление оси фазочувствительности соответствует углу $\alpha = 1,5$ рад.

Поступило в редакцию
26 января 1969 г.

УДК 621.317.772

С. С. КУЗНЕЦКИЙ, М. К. ЧМЫХ

(Красноярск)

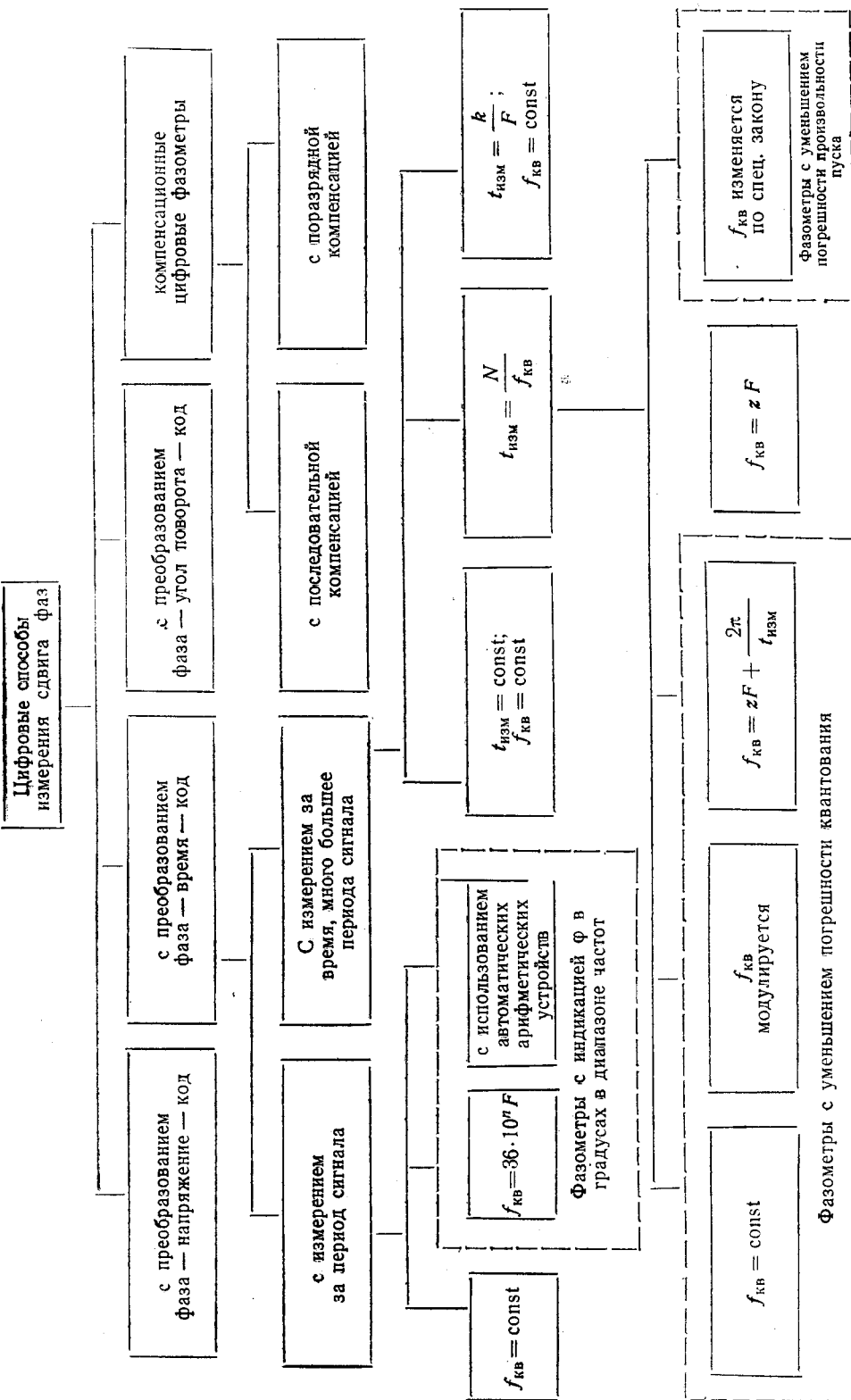
КЛАССИФИКАЦИЯ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ СДВИГА ФАЗ

Цифровая фазометрия находит все более широкое применение в технике фазовых измерений. Это связано с общеизвестными преимуществами цифровой техники измерений по сравнению с аналоговой.

Интенсивное развитие цифровой фазометрии за последнее десятилетие привело к появлению большого количества различных способов цифрового измерения фазовых сдвигов. В связи с этим появилась необходимость произвести классификацию цифровых способов измерения сдвига фаз. Классификация позволит выявить общие закономерности построения и свойства, присущие тому или иному типу цифрового фазоизмерителя, что создаст предпосылки для углубленной научной работы по отдельным типам цифровых фазометров и облегчит выбор фазометра для конкретных условий его применения.

В основу предлагаемой классификации положены следующие методы преобразования фазового сдвига в код (классификационная таблица приведена ниже): преобразование фазовый сдвиг — интервал времени — код [1—10]; преобразование фазовый сдвиг — угол поворота — код [11]; преобразование фазовый сдвиг — напряжение — код [12]; преобразование, основанное на дискретных способах компенсации измеряемого фазового сдвига [13—16].

* Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. М., «Наука», 1964.



Наиболее широкое распространение получили цифровые фазометры с промежуточным преобразованием фазового сдвига в интервал времени. Цифровые фазометры, основанные на этом принципе, можно разделить на две группы: 1) фазометры, измеряющие сдвиг фаз за время одного периода исследуемых сигналов, и 2) фазометры, измеряющие сдвиг фаз за время, много большее периода исследуемых сигналов, т. е. фазометры, использующие усреднение за k периодов.

Способы построения цифровых фазометров как первой, так и второй группы разнообразны. В фазометрах первой группы можно выделить две подгруппы: 1) фазометры, не позволяющие иметь индикацию разности фаз в градусах в диапазоне частот [1, 2]; 2) фазометры, позволяющие иметь индикацию разности фаз в градусах в диапазоне частот [3, 4].

Фазометры, не имеющие индикации результата в градусах, имеют фиксированную частоту квантования.

Число, записанное в измерительный счетчик в процессе измерения, равно

$$N_{\varphi} = \frac{\varphi^{\circ}}{360^{\circ}} \frac{f_{\text{кв}}}{F}, \quad (1)$$

где φ — измеряемый фазовый сдвиг; $f_{\text{кв}}$ — частота квантующего генератора; F — частота сигнала. Как видно из (1), N_{φ} может быть равно фазовому сдвигу в градусах

только в том случае, если $\frac{f_{\text{кв}}}{F} = 36 \cdot 10^n$, где $n=1, 2, 3, \dots$. Из (1) вытекают спо-

собы построения цифровых фазометров с индикацией в градусах. Известно два таких способа построения фазометров. В первом способе частота квантующего генератора формируется путем умножения частоты сигнала на постоянное число, равное $36 \cdot 10^n$

[3]; при этом $f_{\text{кв}} = 36 \cdot 10^n F$, а $N_{\varphi} = 36 \cdot 10^n \frac{\varphi^{\circ}}{360}$. Во втором способе используется арифметическое устройство, в котором производится автоматическое деление $\frac{\varphi^{\circ}}{360} \frac{1}{F}$ на $\frac{1}{F}$ и умножение результата на $36 \cdot 10^n$ [4].

Фазометры второй группы, измеряющие сдвиг фаз за время измерения, много большее периода сравниваемых сигналов, в зависимости от способов формирования времени измерения и частоты квантующего генератора можно разделить на следующие три подгруппы: 1) фазометры, у которых время измерения $t_{\text{изм}}$ и частота квантующего генератора постоянные и формируются от разных генераторов [5]; 2) фазометры, у которых время измерения и частота квантующего генератора формируются от одного генератора [6, 8—10]; 3) фазометры, у которых частота квантующего генератора постоянна, а время измерения равно целому числу периодов сигнала [7].

Наибольшее распространение получили фазометры второй подгруппы. Это наиболее перспективная подгруппа. Ее развитие идет в направлении уменьшения погрешностей дискретного преобразования интервалов времени в код. В связи с тем, что погрешность дискретного преобразования в цифровых фазометрах состоит из двух составляющих — погрешности квантования и погрешности произвольности пуска, приборы этой подгруппы можно подразделить на фазометры, в которых предусмотрены меры по уменьшению погрешности квантования, и фазометры, в которых предусмотрены меры по уменьшению погрешности, связанной с произвольностью пуска. Все известные фазометры этой подгруппы отличаются друг от друга способом формирования частоты квантующего генератора. С этой точки зрения в них можно выделить: фазометры с модулированной частотой квантования; фазометры, у которых частота квантования формируется путем умножения частоты сигнала; фазометры, у которых частота квантования формируется путем умножения частоты сигнала с последующим равномерным вращением фазы квантующего сигнала [9]; фазометры, у которых частота квантующего генератора изменяется по специальному закону (или фазометры с распределенными весовыми коэффициентами) [10].

Цифровые фазометры, в основу которых положена дискретная компенсация фазового сдвига, могут быть разделены на фазометры с последовательной компенсацией [13—15] и фазометры с поразрядной компенсацией [16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Инфранизкочастотный фазометр-частотомер НФ-3. Техническое описание. Казань, 1963.
2. A. I. Spenser. Measurement of phase angle a counter.— Markoni Instrumentation, 1963, v. 9, № 3.

3. H. G. Kretzschmar. Über Verfahren zur direkten Anzeige des Phaseminkels.— Wissenschaftliche Zeitschrift Hochschule Elektronischen Ilmenau, 1962, № 3.
4. М. Е. Бушмин, Б. В. Смеляков и др. Цифровой инфранизкочастотный фазометр-частотомер. Авторское свидетельство № 189485.— ИПОТЗ, 1966, № 24.
5. H. Weinbaum and D. Muster (USA). A digital phaseangle meter. АСТА ИМЕКО, Budapest, 1964.
6. Н. П. Поляков. Цифровой фазометр. Авторское свидетельство № 123617.— БИ, 1959, № 21.
7. J. S. Elliot. A High-precision Direct-reading Loss and Phase Measuring Set for Carrier Frequencies.— Bell Sys. Tech. J., 1962, v. 41.
8. А. Е. Бартмер. Способ измерения сдвига фаз при помощи цифровых или импульсных фазометров. Авторское свидетельство № 132333.— БИ, 1960, № 19.
9. С. С. Кузнецкий, М. К. Чмых. Способ измерения сдвига фаз цифровым фазометром с постоянным измерительным временем. Авторское свидетельство № 231664.— ИПОТЗ, 1968, № 36.
10. В. Т. Смирнов. Цифровой фазометр с постоянным измерительным временем. Авторское свидетельство № 220361.— ИПОТЗ, 1968, № 20.
11. Л. А. Вережанин. Цифровой фазометр. Авторское свидетельство № 154948.— БИ, 1963, № 11.
12. Y. P. Yu. Purpose Digittes Choice of Phase Meter.— Electronic Design, 1965, may.
13. А. Е. Макиевский, И. А. Кемпе. Автокомпенсационный фазометр с цифровым отсчетом. Авторское свидетельство № 155865.— БИ, 1963, № 14.
14. А. Е. Макиевский, С. М. Маевский. Новые схемы высокочастотных цифровых фазометров.— Автоматический контроль и методы электрических измерений. Труды IV Всесоюзной конференции, т. I. Новосибирск, «Наука», 1965.
15. Б. Я. Лихтциндер. Дискретный компенсатор фазы типа ДАК-Ф1.— ПНТПО, вып. 3, тема 27, № 3-62-36/8. М., ЦИТИ, 1962.
16. Л. А. Гонохов. Способ непосредственного преобразования разности фаз в двоичный код.— Труды ТИРиЭТ, 5. Томск, 1967.

*Поступило в редакцию
10 октября 1969 г.*

УДК 681.333 : 53

В. Т. ТЕРТЫШНЫЙ, В. А. ТИХОНОВ, Ю. П. ЮРЧЕНКО

(Киев)

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ СТАЦИОНАРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Проникновение статистических методов в технику электрических измерений ставит задачу построения специализированных измерительно-вычислительных устройств для определения корреляционных функций.

Существующие аппаратные способы измерения корреляционных функций не могут удовлетворить исследователя в случае, когда необходимо определить большое количество (порядка 100—200) точек оценки искомой функции либо произвести ее детализацию на некотором участке интервала корреляции.

Действительно, применение последовательного способа измерения большого количества точек оценки корреляционной функции приводит к значительному увеличению времени анализа.

Для реализации же параллельного способа необходимо усложнение аппаратуры, ибо в коррелографах параллельного анализа для вычисления каждой точки нужен, по сути, свой отдельный коррелятор.

В [1] предлагается измерять оценку в m точках на интервале τ_{\max} с грубым шагом $\Delta \tau_{\text{гр}}$. Таким образом получается грубый обзор течения корреляционной функции, который позволяет выбрать область, в которой желателен дальнейший детальный анализ. Такой анализ производится на интервале $2 \Delta \tau_{\text{гр}}$ тоже в m точках с шагом за-