

Получаемые таким образом оценки погрешностей измерения НУП позволяют разработать совокупность аппаратных и программных модулей быстродействующей вычислительной подсистемы ИВС, реализующей "счетные" методы с требуемой на практике точностью, а также определить принципы рационального комплексирования вычислительных подсистем ИВС данного класса.

#### Библиографический список

1. Селихов А.Ф. Обеспечение ресурса конструкций (опыт самолетостроения) // *Машиноведение*. 1986. № 5. С. 11-18.
2. Методы схематизации процессов нагружения /С.С.Дмитриченко и др. // *Труды НАТИ*. М., 1978. Вып. 195. С. 46-64.
3. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность /Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. М.: Машиностроение, 1975. 488 с.
4. О выборе модели случайного процесса для описания нагруженности элементов машин /Гусев А.С., Найшут А.Я., Рошин И.М. // *Статистические методы расчетов на прочность*. Свердловск, 1971. Вып.6. С. 3-7.
5. *Kikukawa Makoto, Jono Masaniko, Mizoguchi Takao. The effects of power spectrum of the fatigue life under random loading // Bull. JSME, 1971. 14. N72. P. 601-602.*

УДК 681.325:681.34

Э.И.Цветков, М.М.Лубочкин

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОРРЕКЦИИ  
НЕИДЕАЛЬНОСТИ АНАЛОГОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

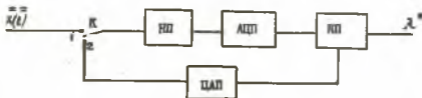
(г. Ленинград)

Рост алгоритмических возможностей процессорных измерительных средств (ПриС) сопровождается не только введением новых методов повышения их метрологического уровня, но и использованием извест-

ных алгоритмов, применение которых затруднялось сложностями их реализации на чисто аппаратурной основе. К числу последних относятся алгоритмы коррекции результатов измерений с применением обратной связи в измерительной цепи. С обеих позиций этот метод рассмотрен в работе /1/, а в работе /2/ дан пример исследования его возможностей для линейных измерительных преобразований при наличии аддитивной помехи синусоидального вида.

В статье рассмотрим сравнительные возможности 2-х итерационных измерительных алгоритмов с использованием цифроаналогового преобразователя в цепи обратной связи. Первая итерационная измерительная процедура реализована в структуре ПриС (рис. 1). В первом такте ключ  $K$  замкнут в положении 1, и на вход НП поступает входной сигнал  $x(t)$ . Далее он квантуется в АЦП, и в процессоре формируется код  $a_1^*$ . Во втором такте ключ  $K$  находится в положении 2, и на вход НП поступает сигнал с выхода ЦАП, т.е. преобразованный в ЦАП код  $a_1^*$ . В процессоре во втором такте формируется код с выхода АЦП  $a_2^*$ . Результат измерения  $a^*$  вырабатывается в процессоре в соответствии с формулой

$$a^* = a_1^* - (a_2^* - a_1^*) = 2a_1^* - a_2^* . \quad (1)$$



Р и с. 1. Первый итерационный измерительный алгоритм:  
 $K$  - ключ, НП - нормирующий преобразователь, П - процессор, АЦП - аналого-цифровой преобразователь, ЦАП - цифроаналоговый преобразователь

Другой итерационный измерительный алгоритм реализован в структуре, изображенной на рис. 2. В первом такте ключ  $K$  разомкнут, и на вход НП поступает входной сигнал  $x(t)$ , который далее нормализуется в НП, квантуется в АЦП и в виде кода  $a^*$  записывается в процессор. Во втором такте ключ  $K$  замкнут, и на вход НП посту-

дает разность  $\Delta x$  между входным сигналом  $x(t)$  и преобразованным в ЦАП кодом  $A_1^*$ . В процессоре во втором такте также формируется код  $\Delta A^*$  с выхода АЦП. Результат измерения вырабатывается в процессоре в соответствии с формулой

$$A^* = A_1^* - \Delta A^* \quad (2)$$



Р и с. 2. Другой итерационный измерительный алгоритм

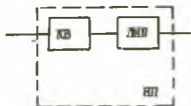
В работе рассматривались вопросы влияния разброса параметров НП на погрешности результатов измерений для двух описанных выше измерительных алгоритмов. В качестве метода исследования использовалось имитационное моделирование. Моделировалась последовательность выполнения преобразований измерительной информации в соответствии с измерительными процедурами. При этом полагалось, что преобразования в АЦП и ЦАП осуществляются идеально; в соответствии с данными /3/ это означает, что их надо моделировать как тождественные преобразования. Кроме того, моделирование проводилось в предположении, что способ представления чисел в процессоре и его разрядность таковы, что погрешностью округления можно пренебречь.

Были исследованы следующие случаи:

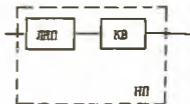
1. Линейный НП (ЛНП). В этом случае нормирующую функцию НП можно представить в виде  $a + \xi$ , где  $a$  - номинальный нормирующий коэффициент НП;  $\xi$  - степень несоответствия реальных характеристик НП номинальным.

2. Нелинейный НП. Рассматривался случай, когда НП имеет квадратичную функцию.

2.1. Квадрирование в аналоговой форме. НП в этом случае можно представить в следующем виде (рис.3).



Р и с. 3. Квадрирование НП в аналоговой форме



Р и с. 4. Квадрирование НП в числовой форме

2.1.1. Квадратор – идеальный. Нормирующая функция НП в этом случае представляется в виде  $(a + \xi) \cdot x^2$ .

2.1.2. Квадратор – неидеальный. В этом случае нормирующая функция НП выглядит так:  $(a + \xi) \cdot x^{(2+\sigma)}$ , где  $\sigma$  – степень несоответствия реальных параметров квадратора номинальным.

2.2. Нелинейный НП, структура которого приведена на рис. 4. Если пренебречь погрешностью квантования, то его можно отнести к случаю квадрирования в числовой форме.

2.2.1. Квадратор – идеальный, функция НП  $((a + \xi) \cdot x)^2$ .

2.2.2. Квадратор – неидеальный, функция НП  $((a + \xi) \cdot x)^{(2+\sigma)}$ .

Результаты исследования этих вариантов реализации нормирующих функций НП сведены в таблицу, где показаны значения относительной погрешности результата измерения в зависимости от значений  $\xi$  и  $\sigma$ . При моделировании было принято  $a = 8$  и  $x = 5$ .

Анализ результатов моделирования показывает:

1. Для случаев 1–4, 7, 8 значения относительной погрешности результатов измерений не зависят от уровня входного сигнала и значения нормирующего коэффициента  $a$ .

2. В целом (особенно для нелинейных НП в целях коррекции неидеальностей аналоговых преобразований) целесообразно выбрать алгоритм (1).

3. Интересно, что аналоговое идеальное квадрирование уменьшает погрешность относительно линейного случая для алгоритма (1) (случаи 1 и 3).

4. Жесткая привязка  $\xi$  и  $\sigma$  усложняет интерпретацию результатов (случаи 5, 6, 9). Разрезы по  $\xi$  при фиксированных  $\sigma$  и наоборот (в таблице не приведены) показывают, что разброс  $\sigma$

№ п/п	Функция НП	Алго- ритм кор- рек- ции	Значения $\xi$ и $\sigma$ в % от $a$ и $z$					
			-20%	-10%	-2%	2%	10%	20%
1 2	$a + \xi$	1 2	-4.0 -4.0	-1.0 -1.0	-0.04 -0.04	-0.04 -0.04	-1.0 -1.0	-4.0 -4.0
3 4	$(a + \xi) \cdot x^2$	1 2	-1.12 -20.0	-0.28 -10.0	-0.01 -2.0	-0.01 2.0	-0.24 10.0	-0.91 20.0
5 6	$(a + \xi) \cdot x^{2+\sigma}$	1 2	-16.2 -63.7	-5.11 -37.6	-0.25 -8.37	-0.28 8.51	-8.58 47.8	-45.8 8.7
7 8	$((a + \xi) \cdot x)^2$	1 2	-4.0 -36.0	-1.0 -19.0	-0.04 -3.97	-0.04 4.04	-1.0 21.0	-4.0 44.0
9	$((a + \xi) \cdot x)^{2+\sigma}$	1	-39.2	-15.6	-0.95	-1.2	-49.2	-399

при фиксированном  $\xi$  сильнее влияет на погрешность результатов измерений, чем альтернативный случай.

5. Для нелинейных НП квадрирование в аналоговой форме при прочих равных условиях предпочтительнее квадрирования в числовой форме с точки зрения уменьшения погрешности результатов измерений.

6. Для случаев неидеального квадрирования (строки 5, 6, 9) значения относительных погрешностей зависят от уровня входного сигнала, а также от значения нормирующего коэффициента. Будущие исследования и многофакторный анализ, возможно, позволят выделить области значений  $a$  и  $x$ , для которых целесообразно применение квадрирования по различным схемам.

#### Выводы

Приведенные в статье результаты дают возможность выбора алгоритмов коррекции и различных схемных реализаций НП. Такие результаты могут быть интересны современному разработчику ПриС, кроме того, могут быть положены в основу баз знаний экспертных систем для оценки качества создаваемых ПриС.

#### Библиографический список

1. Алиев Т.М., Тер-Хачатуров А.А., Шехжанов А.М. Итерационные методы повышения точности измерений. М.: Энергоатомиздат, 1986. 168 с.

2. Попов В.С., Шумаров Е.Б. Способ коррекции погрешностей средств измерений //Измерительная техника. 1988. № 12. С. 8-10.

3. Цветков Э.И., Хуснутданов Г.Н., Лубочкин М.М. Метрологический анализ процессорных измерительных средств с помощью имитационного моделирования //Измерения, контроль, автоматизация. 1986. Вып. 4(60). С. 3-9.

УДК 62-506.1

Л.Н.Белюстина, К.Г.Кивелева, Л.А.Фрайман

### ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕАВТОНОМНЫХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ синхронизации

(г. Горький)

К необходимости изучения динамики неавтономных моделей систем фазовой синхронизации (СФС) при гармонических воздействиях приводит ряд практических задач в технике связи, радиолокации и радионавигации. Основным условием, обеспечивавшим работоспособность этих систем, является существование и установление в них стационарного синхронного режима. Существенная нелинейность СФС создает серьезные трудности их аналитического исследования. В этой связи использование математического моделирования с применением ЭВМ при решении конкретных прикладных задач занимает важное место. Реализация такого моделирования требует разработки соответствующего методического, алгоритмического и программного обеспечения. Автоматизация процесса исследования динамических характеристик СФС является важным этапом при решении задачи улучшения качественных показателей работы систем.

В работе приводится описание основных компонентов обеспечения комплекса программ, предназначенного для автоматизации исследования динамики и расчета динамических характеристик двух неавтономных систем фазовой синхронизации при воздействии детерминированных помех. Исходными данными для разработки этого комплекса являются математические модели СФС, способы, алгоритмы и результаты их исследования, полученные на основе теории нелинейных колебаний, метода точечных отображений и численных методов /1-3/.