А.Д.Азаров УДК.681.325(72)

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ КОДОВ С ИРРАЦИОНАЛЬНЫМ ОСНОВАНИЕМ

Разработка современных систем автоматического регулирования и управления,используемых в бортовой аппаратуре, промышленных установках, а также при различных научных исследованиях, требует создания преобразователей информации с высокой надежностью. Наиболее распространенными методами повышения надежности в настоящее время является метод дублирования замещением и мажоритарного резервирования. Если для дискретных узлов эти методы разработаны хорошо, то для аналоговых узлов эти методы практически не разработаны вследствие сложности обнаружения отказа и резервирования узлов, от которых требуется получение высокой точности, а не просто работоспособности [I].

Проектирование преобразователей с использованием кодов с иррациональным основанием (р-кодов) позволяет существенно упростить обнаружение отказа и резервирования аналоговых узлов. К р-кодам отноcятся р-коды Фибоначчи [2] и коды "золотой" р-пропорции [4].

В кодах золотой р-пропорции любое действительное число D представляется в виде

$$D=\sum_{i=-\infty}^{+\infty} a_i \alpha_p^{i},$$

где a_l – двоичная цифра в l -м разряде, α_p^l – вес l -го разряда, $p = 0, 1, 2, \ldots$ – параметр кода, α_p^1 является действительным положительным корнем уравнения

$$x^{p+1} = x^p + 1.$$

Для кодов золотой р-пропорции, так же как и для р-кодов Фибоначчи, существует единственная минимальная форма представления чисел, в которой после каждой единицы следует не менее р нулей. Имеется также множество неминимальных представлений, в которых не выполняется вышеуказанное условие. Основные математические соотношения между весами разрядов, существующие, например, в I-коде, следующие:

$$x(l) = x(l-1) + x(l-2); \tag{1}$$

$$x(l) = x(l-2) + x(l-3) + x(l-4); \tag{2}$$

$$x(l) = \sum_{i=1}^{l-2} x(i) + 1. \tag{3}$$

На основании соотношений (I), (2), (3) над разрядами кода проводятся операции свертки и развертки соответственно I, 2 и 3 типов. Развертка заключается в замене единицы l -го разряда единицами в разрядах правой части равенства (I), (2), (3). Свертка – операция, обратная развертке. Основная особенность этих операций состоит в том, что они не изменяют величины отображаемого кодом числа, а изменяют лишь форму представления кода. С помощью операций свертки и развертки осуществляется контроль преобразователя, в процессе которого ведется поиск отказавшихся разрядов, а затем резервирование отказов. Надежностная модель цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), являющегося составной частью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), представлена на рис.I. Здесь X1, X2,... X_n – эталонные величины, пропорциональные весам разрядов кода, имитирующие разряды преобразователя; Σ – сумматор эталонных величин; БУ-блок управления, обеспечивающий функционирование устройства; БК – блок контроля, предназначенный для определения номеров отказавшихся разрядов. Алгоритм поиска отказавших разрядов показан на рис. 2. ЦАП работает в режиме непосредственного преобразования цифровой величины в аналоговый эквивалент и в режиме контроля отказавших разрядов. Номера отказавших разрядов фиксируются в БК. В рабочем режиме БУ анализирует входную кодовую комбинацию и при наличии единиц в отказавших разрядах исходная комбинация преобразуется в эквивалентную ей путем выполнения операций свертки и развертки кода. В эквивалентной комбинации единицы в отказавших разрядах отсутствуют.

Для оценки надежности ЦАП введем ряд допущений:

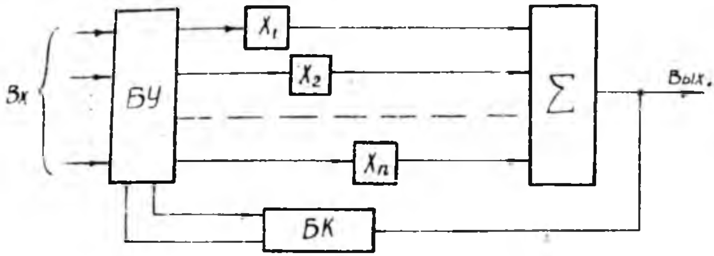
Вх
БУ
X_1
X_2
X_n
Σ
Вых.
БК

Рис. 1

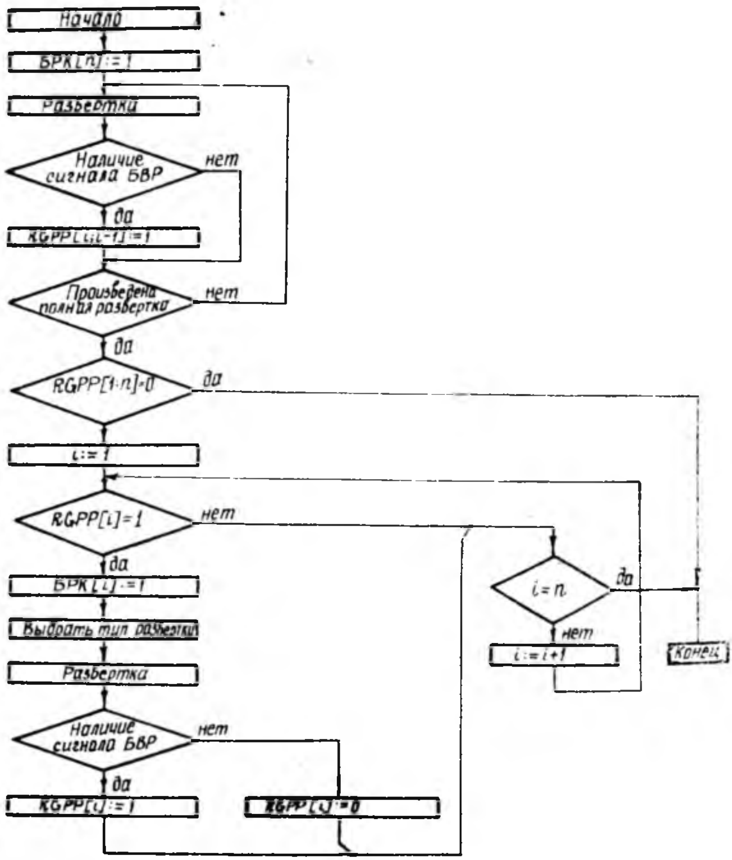
Начало
БРК[n]:=1
Развертки
Наличие сигнала БВР
нет
да
RGPP[i,i-1]:=1
Произведена полная развертка
нет
да
RGPP[1:n]=0
да
i:=1
RGPP[i]=1
нет
да
БРК[i]:=1
Выбрать тип развертки
Развертка
Наличие сигнала БВР
нет
да
RGPP[i]:=1
RGPP[i]:=0
i=n
да
нет
i:=i+1
Конец

Рис. 2

I. Вероятности безотказной работы всех разрядов равны t .

2. Отказы разрядов взаимно-независимы.

3. БУ автоматически резервирует отказавшие разряды.

4. Под отказами будем понимать деградационные (параметрические) отказы.

5. Отказ ЦАП наступает при отказе более k разрядов.

6. Надежность БК, БУ принимаем равной I.

Так как отказы разрядов события независимые, то, воспользовавшись формулой Бернулли [3] , представим вероятность отказа разрядов из n как

$T_n(k)=C_n^k\cdot t^{n-k}(1-t)^k$ где n – число разрядов ЦАП.

Надежность работы устройства, отказ которого наступит при отказе более k разрядов, равна

$$T=\sum C_n^k\cdot t^{n-k}(1-t)^k.$$

С учетом условных вероятностей появления работоспособных комбинаций из отказавших разрядов надежность можно вычислить с использованием формулы полной вероятности [3] , в результате чего имеем

$$T=\sum_{k=0}^{m} t^{n-k}(1-t)^k\cdot R(n,k),$$

где $R(n,k)$ – количество работоспособных комбинаций среди общего количества возможных комбинаций из k разрядов.

Приведем сравнительные оценки для различных p при t = 0,9. При p = 0 (классическая двоичная система)

k = 0; n_0 = I0; $T=t^{n_0}\approx 0,35$.

При p = I

k = I; n_1 = I6; $T=t^{n_1}+n_1 t^{n_1-1}(1-t)\approx 0,51$

При p = 2

k = 8; n_2 = 20; $T=\sum_{k=0}^{8} t^{n_2-k}(1-t)^k R(k)\approx 0,90$.

При поэлементном дублировании при p = 0 $T\approx 0,90$. Из приведенных выше расчетов следует, что надежности ЦАП при p = 2 и ЦАП при поэлементном дублировании разрядов одинаковы. Преимуществом ЦАП на основе p-кодов является упрощение поиска и резервирования отказавшего разряда или их группы. Использование методов дублирования ЦАП на основе p-кодов позволит значительно повысить надежность по сравнению с ЦАП на основе классической двоичной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гитис Э.И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. Изд. 3-е, перераб. М., "Энергия", 1975.

2. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерения. М., "Сов. радио", 1977.

3. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика Учеб. пособие для втузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. М., "Высшая школа", 1977.

4. Стахов А.П. Алгоритмическая теория измерения. М., "Знание", серия "Математика. Кибернетика", вып. 6, 1979.