УДК 621.3.08

Н. Т. АБДУЛЛАЕВ, М. Г. МАРКАТУН

(Баку)

О СХОДИМОСТИ ДИСКРЕТНЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМ УРАВНОВЕШИВАНИЯ

Основным блоком экстремальных систем уравновешивания, обусловливающим сходимость системы, является экстремум-детектор — блок, определяющий знак производной $\partial U_р/\partial Q$, где $U_р$ — модуль сигнала рассогласования, Q — регулируемый параметр. Для шаговых систем экстремального регулирования порог чувствительности экстремум-детектора $\delta_{эд}$ можно определить как минимальное приращение сигнала рассогласования при изменении регулируемого параметра на единичный шаг a, которое фиксируется экстремум-детектором. Величина $\delta_{эд}$ должна быть ограничена сверху критическим значением, при котором становятся возможными автоколебания системы уравновешивания, либо максимальным значением $\delta_{эд\ \max}$, при котором время уравновешивания превышает допустимую величину.

В [1] для различных алгоритмов проанализированы зависимости числа тактов уравновешивания от относительной чувствительности экстремум-детектора $\lambda=\delta_{эд}/a$ и определены критические значения λ для двумерной прямоугольно-координатной экстремальной системы.

Кроме того, сходимость следящей экстремальной системы существенно зависит от монотонности регулирования параметра Q. Если в качестве регулирующего органа применен дискретный делитель напряжения, управляемый кодом, то сходимость системы будет зависеть от методической и инструментальной погрешностей этого делителя. Аналогичный вывод сделан в [2], где анализируются автоколебания в следящей системе с детектором равновесия, вызванные инструментальной погрешностью делителя. При этом рассматриваются автоколебания вблизи зоны нечувствительности детектора равновесия. Как будет показано далее, для экстремальных систем из-за немонотонности регулирования делителя возможно возникновение автоколебаний вдали от точки равновесия. Возникновение автоколебаний из-за методической погрешности дискретного делителя рассмотрено в [3]. Оно обусловлено неполным согласованием делителя с источником напряжения Г и нагрузкой Н и зависит от соотношения их проводимостей $Y_г$, $Y_н$ и проводимости делителя. Для ряда схем делителей были рассчитаны критические значения $Y_г$, $Y_н$, при которых нарушалась монотонность характеристики системы источник — делитель — нагрузка и появлялась возможность автоколебаний.

Инструментальная погрешность делителя зависит от погрешностей коммутируемых образцовых элементов и коммутирующих ключей. В настоящей статье ограничимся анализом влияния образцовых элементов, пренебрегая влиянием ключей (что для контактных ключей допустимо).

Будем рассматривать тетрадные двоично-десятичные делители. Наихудший случай нарушения монотонности будет иметь место, если знаки допусков элементов, включаемых в очередном такте, противоположны знакам допусков элементов, отключаемых в этом такте, а отклонения элементов от номинальных значений максимальны. Монотонность нарушается при увеличении кода, если

$$\sum_{i=1}^{N} S_i(1-\delta_i) \leqslant \sum_{i=1}^{N} R_i(1+\delta_i). \tag{1}$$

Здесь S_i — общий вес включаемых элементов i-й декады; R_i — общий вес отключаемых элементов i-й декады; δ_i — допуск элементов i-й декады.

Предположим, что соотношения между допусками элементов различных декад заданы; введем величины $\varepsilon_2=\frac{\delta_2}{\delta_1}, \ldots, \varepsilon_i=\frac{\delta_i}{\delta_1}, \ldots, \varepsilon_N=\frac{\delta_N}{\delta_1}$. Тогда из соотношения (1) можно определить максимально допустимые погрешности элементов, при которых для наборов S, R нет нарушения монотонности:

$$\delta_{\max}=\frac{\sum\limits_{i=1}^{N} S_i-\sum\limits_{i=1}^{N} R_i}{(S_1+R_1)+\sum\limits_{i=2}^{N}(S_i+R_i)\,\varepsilon_i}.$$

При следящем уравновешивании разность соседних кодов равна единице младшей декады; если принять вес одной ступени старшей декады равным единице, получим

$$\delta_{\max} = \frac{10^{1-N}}{(S_1 + R_1) + \sum\limits_{i=2}^{N} (S_i + R_i)\,\varepsilon_i}. \tag{2}$$

При анализе сходимости системы наибольший интерес будет представлять минимаксное значение $\delta_{\min\max}$ для всех возможных наборов S, R, которое достигается при переключениях кодов от 9 к 0 во всех декадах, кроме старшей, и при таком переключении в старшей декаде, для которого сумма (S_1+R_1) максимальна. Тогда для всех двоично-десятичных кодов находим

$$\delta_{\min\max} = \frac{10^{1-N}}{(S_1 + R_1)_{\max} + 9 \sum\limits_{i=2}^{N} 10^{1-i}\varepsilon_i}. \tag{3}$$

Для любого конкретного кода значение $(S_1+R_1)_{\max}$ можно найти простым перебором. Рассмотренный случай более жесткий, чем проанализированный в [2]. Там принимались противоположными знаки допусков старшей и остальных декад, но для одной и той же декады знак допуска не менялся. Мы принимаем возможным изменение знака допуска внутри старшей декады; в результате нарушение монотонности существенно зависит от применяемого кода.

В качестве примера дана таблица значений $(S+R)$ для всех переходов внутри декады для кодов 1 : 2 : 4 : 8; 1 : 2 : 4 : 2. Максимальные значения выделены звездочками. Таким образом, для кода 1 : 2 : 4 : 8 минимаксная допустимая погрешность δ имеет место при переходе 799...⟶800...; для кода 1 : 2 : 4 : 2 — при переходе 599...⟶600...

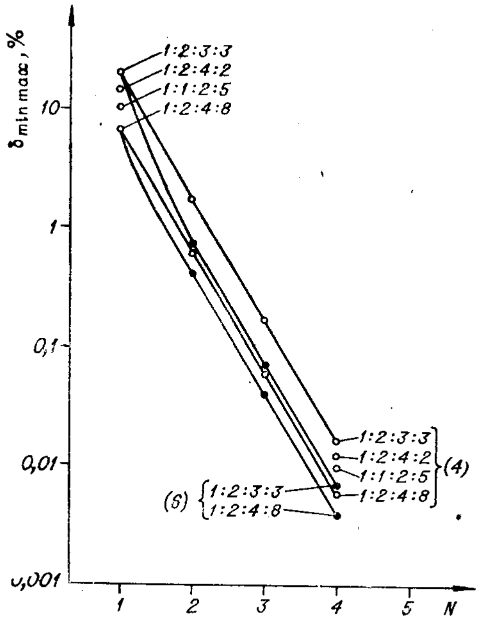
Код				$S+R$	Код				$S+R$
1	2	4	8		1	2	4	2	
1	0	0	0		1	0	0	0	
				3					3
0	1	0	0		0	0	0	1	
				1					1
1	1	0	0		1	0	0	1	
				7					3
0	0	1	0		0	1	0	1	
				1					1
1	0	1	0		1	1	0	1	
				3					7*
0	1	1	0		0	0	1	1	
				1					1
1	1	1	0		1	0	1	1	
				15*					3
0	0	0	1		0	1	1	1	
				1					1
1	0	0	1		1	1	1	1	

Если допуски всех декад одинаковы ($\varepsilon_2 = \varepsilon_i = \ldots \varepsilon_N = 1$), формула (3) принимает вид

$$\delta_{\min\max} = \frac{10^{1-N}}{(S_1 + R_1)_{\max} + 1 - 10^{1-N}}. \tag{4}$$

В [2] рекомендованы следующие соотношения допусков декад (для четырехдекадного делителя): $\varepsilon_2=1$, $\varepsilon_3=2$, $\varepsilon_4=10$. Для этого случая имеем

$$\delta_{\min\max} = \frac{10^{-3}}{(S_1 + R_1)_{\max} + 1{,}17}. \tag{5}$$



В [4] даны другие рекомендации $\varepsilon_2 = \varepsilon\, i = 10$. Тогда

$$\delta_{\min\max} = \frac{10^{1-N}}{(S_1 + R_1)_{\max} + 10\,(1 - 10^{1-N})}. \qquad (6)$$

Представляет интерес сравнительный анализ по $\delta_{\min\max}$ двоично-десятичных кодов, получивших наибольшее распространение в цифровой технике. Для этого по формулам (4), (6) для некоторых кодов построены графики, показанные на рисунке. Значения, полученные по формуле (5), близки к рассчитанным по формуле (4). Наиболее жесткие требования к элементам делителя, очевидно, предъявляются при коде 1 : 2 : 4 : 8; наилучшим в смысле монотонности является код 1 : 2 : 3 : 3, для которого отличие между весовыми коэффициентами минимально. Как видно из графиков, в зависимости от принятого кода требования к точности элементов делителя могут изменяться более чем в 2,5 раза. Минимальное значение на графиках рисунка соответствует допуску элементов старшей декады 0,004% (для четырехдекадного делителя).

Таким образом, для обеспечения сходимости дискретной экстремальной системы необходимо соответствие допусков элементов делителей результатам предыдущего анализа.

В принципе, если такого соответствия нет, возможен и другой способ обеспечения сходимости системы: ограничение чувствительности экстремум-детектора λ снизу — при этом небольшие нарушения монотонности делителя не будут «замечены» системой.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Мелик-Шахназаров, И. Л. Шайн, М. Г. Маркатун. Автокомпенсационные приборы экстремального типа. М., «Энергия», 1969.
2. Ф. Б. Гриневич, К. Б. Карандеев, М. П. Цапенко. Об устойчивости следящих цифровых измерительных приборов, зависящей от их статических характеристик.— Автометрия, 1967, № 1.
3. М. Г. Маркатун, Н. Т. Абдуллаев. Коррекция методической погрешности управляемых дискретных делителей с суммированием проводимостей.— ИВУЗ, Приборостроение, 1973, т. XVI, № 2.
4. Н. И. Гореликов, М. Я. Рейтбург, Е. А. Фигуровский, В. П. Цетенс. Применение СЭС в быстродействующих АЦВ.— В сб. «Микропровод и приборы сопротивления», вып. 7. Кишинев, «Картя молдовеняскэ», 1971.

Поступило в редакцию 22 мая 1973 г.

УДК 621.391

В. А. СВИРИДЕНКО

(Москва)

СПОСОБ СЖАТИЯ АНАЛОГОВОГО СООБЩЕНИЯ И ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ

В настоящей работе рассматривается способ сокращения избыточности в непрерывном сообщении и дается расчет его эффективности.

Основная идея способа заключается в том, что отбраковка избыточных выборок сообщения $m(t)$, дискретизированного с частотой f_0, определяемой априори известной