ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТОТНО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ (ЧЦП) С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Н. Н. Атаманенко

Киев

При построении линейных и нелинейных ЧЦП с переполнением основного счетчика на основе измерения частоты f_x, выражающей контролируемую величину A_x ($A_x = A_0 \div A_н$; $A_0 \geqslant 0$), значение интервала счета $t_{сч} = \text{const}$ в установившемся режиме ($A_x(t) = A_x$) определяется обычно заданной погрешностью дискретности преобразования.

Более характерным режимом работы ЧЦП является динамический, когда в ходе преобразования величина $A_x(t)$ изменяется с некоторой скоростью $\pm a_x(t)$. В этом случае при расчете ЧЦП необходимо учитывать изменение величины $A_x(t)$, так как оно приводит к дополнительной ошибке преобразования — динамической. В настоящей работе приводится методика оценки влияния изменения величины $A_x(t)$ на выбор интервала $t_{сч}$ для упомянутого класса ЧЦП. Скорость изменения величины $A_x(t)$

$$a_x = \frac{d}{dt}[A_x(t)] \tag{1}$$

предполагается известной. Допускается, что в интервале преобразования $t_{пр} \gg t_{сч}$ величина $A_x(t)$ может изменяться с максимальной скоростью $a_x = a_{max}$. Частотный датчик $f_x = \varphi(A_x)$ принимается безынерционным. На типы счетчиков ЧЦП ограничения не налагаются.

Определение $t_{сч}$, когда датчик имеет линейную по частоте характеристику с $\frac{df_x}{dA_x} > 0$, а ЧЦП — пропорциональную [1].

Величина $A_x(t)$ может увеличиваться $(+a_{max})$ и уменьшаться $(-a_{max})$. Характеристику датчика в этом случае можно записать так:

$$f'_x = f_{min} + k[(A_x - A_0) \pm a_{max}t], \tag{2}$$

где f_{min} — частота датчика при $A_x = A_0$ и $t = 0$;

$$k = \frac{f_{min}(\lambda - 1)}{A_в - A_0}.$$

Пусть t_x — время переполнения основного счетчика при $a_x = 0$, а $\tilde{t}_x$ — при $a_x = \pm a_{max}$. Тогда из равенства чисел импульсов на счетчике при переполнении в обоих случаях $N'_{x(1)}(0) = N^*_{x(1)}(a_{max})$ следует, что

$$t_x f_x = \int_0^{\tilde{t}_x} f'_x dt. \tag{3}$$

Подставим в (3) из (2) значение f'_x. Проинтегрировав и произведя необходимые преобразования, получим квадратное уравнение

$$\pm 0{,}5ka_{max}\tilde{t}_x^2 + f_x\tilde{t}_x - f_x t_x = 0, \tag{4}$$

решение которого имеет вид

$$\tilde{t}_{x_{1,2}} = \frac{1}{ka_{max}}\left[\mp f_x \pm (f_x^2 \pm 2ka_{max}f_x t_x)^{\frac{1}{2}}\right]. \tag{5}$$

Время счета $t_{x_{сч}}$ накопителем импульсов f_x после переполнения при $a_x = 0$ определяется выражением [1]

$$t_{x_{сч}} = t_{сч}\left[1 - \frac{f_{min}}{f_x}\right]. \tag{6}$$

При $a_x = a_{max}$ значение $\tilde{t}_{x_{сч}}$ находится по формуле (6) заменой f_x на f'_x из (2).

Установим приведенную относительную ошибку формирования интервала $\tilde{t}_{x_{сч}}$ при $\pm a_{max}$

$$\delta\tilde{t}_{x_{сч_{пр}}} = \frac{1}{\tilde{t}_{x\,сч_{ср}}}\left[\tilde{t}_{x\,сч} - t_{x_{сч}}\right], \tag{7}$$

где

$$\tilde{t}_{x\,сч_{ср}} = 0{,}5\left(\tilde{t}_{x\,сч\,min} + \tilde{t}_{x\,сч_{max}}\right).$$

Выполнив соответствующие подстановки из (6) и (2), а также необходимые преобразования и проанализировав знаки, обеспечивающие действительные решения, получим для ошибки (7)

$$\delta\tilde{t}_{x\,сч_{пр}} = B\left[1 \mp (1 \pm 2ka_{max}\beta_x)^{-\frac{1}{2}}\right], \tag{8}$$

где

$$B = \frac{f_{max}}{f_x(\lambda-1)}; \quad \beta_x = \frac{t_x}{\tilde{t}_x}; \quad t_x = \frac{1}{f_{min}}[N_{max} - (N_{нач} - 1)].$$

Здесь N_{max} — емкость счетчика, $N_{нач}$ — предварительно вводимое в счетчик число, обеспечивающее его переполнение при подсчете f_{min}.

При $f_x = f_{min}$ ошибка (8) будет максимальной, а при $f_x = f_{max}$ — минимальной.

Проектируя ЧЦП, следует стремиться, чтобы максимальное значение ошибки (8) не превышало ошибки метода — погрешности дискретности $\delta t_д$.

Поэтому из условия связи этих ошибок

$$\delta t_д = b\left[\delta\tilde{t}_{x\,сч_{пр}}\right]_{max}, \quad b \leqslant 1, \tag{9}$$

где значение b может быть задано, определим значение интервала $t_{сч}$.

Особенностью ЧЦП с переполнением счетчика сигналов f_x является необходимость обеспечения заданной погрешности дискретности (9) не в интервале $t_{сч}$, а в интервале $t_{x\,сч_{max}}$

$$t_{x\,сч_{max}} = t_{сч}\left(1 - \frac{1}{\lambda}\right), \quad \lambda = \frac{f_{max}}{f_{min}}. \tag{10}$$

Выражение для погрешности дискретности принимает вид

$$\delta t_д = \frac{\lambda}{t_{сч} f_{min}(\lambda-1)^2}. \tag{11}$$

Выражение для определения $t_{сч}$ получаем из (9)

$$t_{сч} = \frac{C\left(1 \pm 2ka_{max}\beta_{x_{max}}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 \pm 2ka_{max}\beta_{x_{max}}\right)^{\frac{1}{2}} \mp 1}, \tag{12}$$

где

$$C = \frac{1}{bf_{min}(\lambda-1)}.$$

При построении ЧЦП в качестве частотных датчиков можно использовать и дифференциальные схемы со смесителем и полосовым фильтром для выделения первой разности сравниваемых частот. Рассмотренная методика и полученные выражения имеют обобщенный характер и могут применяться для определения интервала $t_{сч}$ и в случае дифференциальных схем (ДС). В ряде задач для построения ДС используют один частотный датчик и вспомогательный генератор опорной частоты $f_0 = \text{const}$, причем принимают $f_{x_{min}} \geqslant f_0$. Если датчик линейный по частоте (2), то сигнал первой разности на выходе ДС для $a_x = a_{max}$ имеет вид

$$f'_x = (f_{min} - f_0) + k[(A_x - A_0) \pm a_{max}t]. \tag{13}$$

Значение интервала $t_{сч}$ необходимо определять по формуле (12), коэффициенты C и $\beta_{x_{max}}$ которой будут равны

$$C = \frac{1}{bf_{min}(\lambda-1)\left(1 - \frac{f_0}{f_{min}}\right)}; \quad \beta_{x_{max}} = \frac{t_x}{f_{min} - f_0}. \tag{14}$$

Для расширения динамического диапазона в ДС используются также два частотных датчика. Для датчиков с линейными по частоте характеристиками

$$f_{x_1} = f_{\min_1} + k_1 (A_x - A_0) \tag{15}$$

и

$$f_{x_2} = f_{\max_2} - k_2 (A_x - A_0), \tag{16}$$

где

$$f_{\min_1} \geqslant f_{\max_2},$$

сигнал первой разности на выходе ДС для $a_x = a_{\max}$,

$$f_x = (f_{\min_1} - f_{\max_2}) + (k_1 + k_2)[(A_x - A_0) \pm a_{\max} t]. \tag{17}$$

Значение $t_{сч}$ определяется также по формуле (12), коэффициенты которой C, k и $\beta_{x_{\max}}$ будут равны

$$C = \frac{1 + f_{\min_2}[k_0(\lambda_1 - 1) + (\lambda_2 - 1)]}{b f^3_{\min_2}(k_0 - \lambda_2)[k_0(\lambda_1 - 1) + (\lambda_2 - 1)]}; \tag{18}$$

$$k = k_1 + k_2; \quad \beta_{x\,\max} = \frac{t_x}{f_{\min_2}(k_0 - \lambda_2)},$$

где

$$k_0 = \frac{f_{\min_1}}{f_{\min_2}}; \quad \lambda_1 = \frac{f_{\max_1}}{f_{\min_1}}; \quad \lambda_2 = \frac{f_{\max_2}}{f_{\min_2}}.$$

Особенности определения $t_{сч}$, когда датчик имеет линейную по частоте характеристику с $\frac{df_x}{dA_x} > 0$, а ЧЦП — нелинейную [2]. Источником счетных импульсов нелинейных ЧЦП является уже не частотный датчик (2), (13), (17), а вспомогательный генератор, в качестве которого можно использовать управляемый генератор счетных импульсов (УГСИ) с развертыванием частоты во времени по определенному закону [2, 3, 4]

$$f_{сч}(t) = \varphi_2(t_{x\,сч}), \tag{19}$$

где значение $t_{x\,сч}$ определяется из (6), а вид функции — видом характеристики преобразования ЧЦП и рядом других данных. Выражение для погрешности дискретности преобразования ЧЦП можно в общем случае представлять зависимостью

$$\delta t_д = \frac{1}{t_{xсч\,\max}\left[f_{сч_{\max}}(t) - f_{сч_{\min}}(t)\right]}, \tag{20}$$

хотя в некоторых случаях форма записи будет другой. Методика определения $t_{сч}$ аналогична рассмотренной выше. Считая характеристику (19) известной, для сигналов (2), (13), (17) $t_{сч}$ следует также находить по формуле (12). Коэффициент C для сигналов (2), (13), (17) равен

$$C = \frac{1}{f_{сч\,\max}(t) - f_{сч\,\min}(t)}. \tag{21}$$

Величина коэффициента k для сигналов (2) и (13) не изменяется. Значение коэффициента $\beta_{x_{\max}}$ приведено соответственно в (8) и (14). Для сигнала (17) значения коэффициентов k и $\beta_{x_{\max}}$ даны в (18).

ВЫВОДЫ

В ЧЦП, выполняемых на основе измерения частоты сигнала датчиком с линейной характеристикой и с переполнением основного счетчика, а также имеющих как линейную, так и нелинейную характеристику преобразования, динамическую ошибку преобразования можно определить аналитически по известным параметрам датчика, собственно ЧЦП и скорости изменения контролируемой величины. Интервал счета основного счетчика целесообразно устанавливать при количественном сравнении величин погрешности дискретности и максимальной динамической ошибки, причем погрешность дискретности необходимо определять по интервалу времени, начиная с момента переполнения счетчика. При нахождении динамической ошибки ЧЦП с нелинейной характеристикой преобразования необходимо учитывать характеристику УГСИ.

Методику анализа и расчета, приведенную в работе, можно распространить и на более общие случаи оценки динамики контролируемой величины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Атаманенко. Некоторые вопросы цифрового воспроизведения измеряемой величины в системах с частотными датчиками. Вестник КПИ, № 1, Серия автоматики, электроприборостроения и радиоэлектроники. Киев, Изд-во КГУ, 1964.

2. Н. Н. Атаманенко. Вопросы построения, анализа и расчета функциональных частотно-цифровых преобразователей (ФЧЦП). Вестник КПИ, № 5, Серия автоматики и приборостроения. Киев, Изд-во КГУ, 1968.

3. Н. Н. Атаманенко. Вопросы построения, анализа и расчета управляемых генераторов счетных импульсов (УГСИ). Сб. «Приборы и системы автоматики», вып. 12. Харьков, Изд-во ХГУ, 1969.

4. Н. Н. Атаманенко. Особенности построения и некоторые вопросы расчета управляемых генераторов счетных импульсов (УГСИ) для частотно-цифровых преобразований. Вестник КПИ, № 6, Серия автоматики и приборостроения. Киев, Изд-во КГУ, 1969.

О НЕПОЛНЫХ ТАБЛИЦАХ ФУНКЦИЙ АЛГЕБРЫ ЛОГИКИ (АЛ) И ОДНОМ ИХ ПРИЛОЖЕНИИ В АВТОМАТИКЕ

Г. Г. Любченко, В. С. Подлипенский

Киев

1. О неполных и минимальных таблицах функций АЛ

Функции АЛ $f = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, быть может, недоопределенные, часто задают [1] таблицей, содержащей 2^n строк вида

$$\begin{array}{ll} x_1 x_2 \ldots x_i \ldots x_n f & \\ \alpha_{1j}\alpha_{2j}\ldots\alpha_{ij}\ldots\alpha_{nj}A_j & (j = 1, 2, \ldots, 2^n), \end{array} \qquad (1)$$

где α_{ij} — значение аргумента x_i; $\alpha_{ij} \in \{0; 1\}$; $\alpha_{1j}\alpha_{2j}\ldots\alpha_{nj}$ — двоичные целые неотрицательные n-значные попарно различные числа; $A_j = f(\alpha_{1j}, \alpha_{2j}, \ldots, \alpha_{nj})$; $A_j \in \{0; 1; —\}$. Если на месте некоторых A_j стоят прочерки, то функция f недоопределена. Таблицы такого вида будем называть **полными таблицами** функций АЛ. Полную таблицу, из которой удалены одна или несколько строк, будем называть **укороченной**; если удалены только строки с прочерками на местах значения функции, называемые **пустыми**, то — **недоопределенной таблицей**.

Будем рассматривать таблицы функций АЛ со строками (1), в которых k $(k = 0, 1, 2, \ldots, n-1)$ значений α_{ij} аргументов x_i заменены