

УДК 681.586

АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПЕРЕМНОЖИТЕЛЬ С ДИСКРЕТНЫМ СЖАТИЕМ СИГНАЛОВ

Зиборов С.Р.

Проанализирован алгоритм дискретного сжатия сигналов по динамическому диапазону при аналого-цифровом преобразовании, основанный на использовании представления сигнала мультипликативным гибридным кодом. Показано, что данный алгоритм может быть использован для расширения динамического диапазона перемножителей сигналов. Приведена структурная схема и проанализирована погрешность аналого-цифрового перемножителя с дискретным сжатием сигналов. Указаны возможности схемотехнической реализации и области применения преобразователя.

В информационно-измерительных системах (ИИС), работающих в реальном масштабе времени, возникает необходимость в функциональной обработке выходных сигналов первичных измерительных преобразователей (датчиков), величина которых может изменяться в динамическом диапазоне более 100 дБ.

При линейном аналого-цифровом преобразовании сигналов с последующей нелинейной обработкой в ЭВМ требуется создание быстродействующих аналого-цифровых преобразователей (АЦП) с числом разрядов более 15, что соответствует динамическому диапазону порядка 90 дБ. Однако увеличение разрешающей способности АЦП ведёт к его усложнению, снижению быстродействия и сопровождается увеличением нелинейности преобразования. С другой стороны, во многих технических системах точность ограничена погрешностями датчиков, методическими и т.п. При этом увеличение разрешающей способности АЦП не повышает точности системы в целом [1].

Расширение динамического диапазона преобразуемых сигналов при умеренных требованиях к погрешности преобразования может быть реализовано путём сжатия сигнала по динамическому диапазону до аналого-цифрового преобразования. В качестве компрессора преобразуемого сигнала целесообразно использовать мультипликативные аналого-гибридные преобразователи, которые достаточно просто сопрягаются с линейными и нелинейными аналоговыми и аналого-цифровыми преобразователями [2].

Линейный преобразователь аналогового сигнала в цифровой код с предварительным мультипликативным сжатием сигнала, показан на рисунке 1.

Мультипликативный аналого-гибридный преобразователь МАГП преобразует входной сигнал X в мультипликативный гибридный код.

Аналоговая составляющая гибридного кода

$$X_A = \frac{X}{D_0^{X_q}} \quad (1)$$

изменяется в узком динамическом диапазоне D_0 и удовлетворяет условию

$$D_0 X_H > X_A > X_H,$$

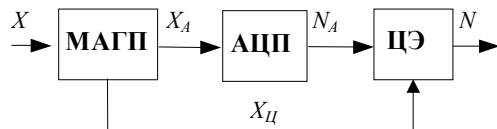


Рисунок 1 – Структурная схема линейного преобразователя с дискретным сжатием сигнала: МАГП – мультипликативный аналого-гибридный преобразователь; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ЦЭ – цифровой экспандер

где X_H – начальное значение сигнала; D_0 – коэффициент ослабления одной ступени сжатия сигнала в МАГП; $X_{Ц} = 0, 1, 2, \dots, (m-1)$ – цифровая составляющая гибридного кода; m – число ступеней сжатия сигнала.

Аналоговая составляющая X_A (1) несёт информацию

о текущем значении преобразуемого сигнала, а цифровая – о степени сжатия сигнала в МАГП.

Линейный аналогоцифровой преобразователь АЦП преобразует аналоговую составляющую X_A в цифровой код N_A . Диапазон преобразования АЦП выбирают равным максимальной величине аналоговой составляющей мультипликативного гибридного кода

$$X_{A\max} = X_H D_0 = h 2^n,$$

где h – шаг квантования по уровню АЦП; n – число разрядов АЦП.

Цифровой экспандер ЦЭ умножает цифровой код N_A на коэффициент $D_0^{X_q}$. В результате на выходе цифрового экспандера образуется код N , пропорциональный входному сигналу X . Реализация экспандера существенно упрощается, если $D_0 = 2^p$, p – целое число, больше единицы. В этом случае умножение двоичного кода N_A на величину $D_0^{X_q} = 2^{X_q + p}$ сводится к записи этого кода в регистр сдвига с последующим сдвигом вдоль разрядной сетки на $(X_{Ц} + p)$ разрядов в сторону старшего разряда.

В целом преобразователь (рисунок 1) можно рассматривать как адаптивный АЦП, у которого шаг квантования по уровню $h_3 = h D_0^{X_q}$ автоматически изменяется пропорционально коэффициенту сжатия преобразуемого сигнала от $h_{\min} = X_H D_0 / 2^n$ до $h_{\max} = X_H D_0^m / 2^n$.

Оценим максимальную погрешность МАГП, которая имеет место, если все ступени сжатия идентичны и включены последовательно,

$$\Delta X_A = \frac{X}{D_0^{m-1}} - \frac{X}{(D_0 + \Delta D)^{m-1}} = X \frac{(1 + \gamma)^{m-1} - 1}{D_0^{m-1} (1 + \gamma)^{m-1}},$$

где $\gamma_D = \Delta D / D_0$ – относительная погрешность МАГП.

Раскладывая выражение $(1 + \gamma)^{m-1}$ по формуле бинома Ньютона и учитывая только первые три члена разложения, поскольку $\Delta D/D_0 < 1$, получаем

$$\Delta X_A = X \frac{(m-1)(2 + (m-2)\gamma_D)\gamma_D}{2 + 2(m-1)\gamma_D + (m-2)(m-1)\gamma_D^2}.$$

Отсюда следует, что относительная погрешность аналоговой составляющей при $\gamma_D \ll 1$

$$\gamma_A = \frac{\Delta X_A}{X} D_0^{m-1} = \frac{(m-1)(2 + (m-2)\gamma_D)D_0^{m-1}\gamma_D}{2 + 2(m-1)\gamma_D + (m-2)(m-1)\gamma_D^2} \approx (m-1)D_0^{m-1}\gamma_D$$

может существенно превышать относительную погрешность МАГП, если $(m-1)D_0^{m-1} \gg 1$.

Поскольку на практике погрешности ступеней сжатия различаются по величине и по знаку, то имеет место их некоторая взаимная компенсация.

Если $h \ll \Delta X_A$, то погрешность аналоговой составляющей существенно влияет на погрешность выходного кода умножителя. Если $h \gg \Delta X_A$, то погрешность кода на выходе цифрового экспандера определяется погрешностью АЦП и практически не зависит от погрешности аналоговой составляющей. Если $h \approx \Delta X_A$, то погрешности МАГП и АЦП влияют в равной степени. Например, при использовании 12-разрядного АЦП относительная погрешность МАГП не должна превышать 0,025%, что требует для реализации МАГП использования прецизионных элементов.

Рассмотренный алгоритм сжатия динамического диапазона сигнала может быть положен в основу построения аналого-цифрового перемножителя сигналов.

Преобразуем произведение сигналов X и Y , используя их представление в виде мультипликативных гибридных кодов

$$Z = XY = \frac{X}{D_0^{X_u}} \frac{Y}{D_0^{Y_u}} D_0^{X_u} D_0^{Y_u} = X_A Y_A D_0^{X_u Y_u} = Z_A D_0^{Z_u}, \quad (2)$$

где $X_A = X/D_0^{X_u}$, $Y_A = Y/D_0^{Y_u}$, X_u , Y_u – составляющие гибридных кодов перемножаемых сигналов;

$$Z_A = X_A Y_A = \frac{X}{D_0^{X_u}} \frac{Y}{D_0^{Y_u}}, \quad (3)$$

$$Z_u = X_u + Y_u - \quad (4)$$

аналоговая и цифровая составляющие сигнала Z .

Уравнение (2) в цифровом виде будет иметь вид

$$N = N_A D_0^{N_u},$$

где N – код сигнала Z ; N_A и $N_{Ц}$ – коды составляющих Z_A и $Z_{Ц}$ соответственно.

Соотношения (3) и (4) определяют алгоритм работы аналого-цифрового перемножителя сигналов X и Y , структурная схема которого изображена на рисунке 2.

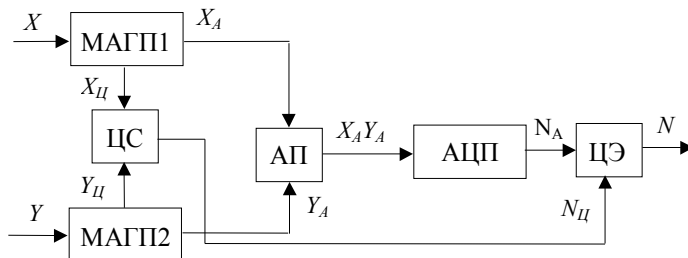


Рисунок 2 – Структурная схема аналого-цифрового перемножителя

Мультипликативные аналого-гибридные преобразователи МАГП1 и МАГП2 преобразуют аналоговые сигналы X и Y в мультипликативные гибридные коды. Аналоговый перемножитель АП перемножает аналоговые составляющие X_A и Y_A гибридных кодов. Сигнал произведения $Z_A = X_A Y_A$ преобразуется АЦП в цифровой код N_A , который умножается в цифровом экспандере ЦЭ на коэффициент $D_0^{X_{Ц}}$. В результате на выходе цифрового перемножителя получаем код N произведения входных сигналов X и Y .

Если мультипликативные гибридные преобразователи имеют m ступеней с коэффициентом сжатия D_0 , то при изменении перемножаемых сигналов X и Y в широком динамическом диапазоне D_0^m их выходные сигналы изменяются в узком динамическом диапазоне D_0 . При этом аналоговый перемножитель и аналого-цифровой преобразователь работают в узком динамическом диапазоне D_0^2 , что существенно упрощает реализацию указанных блоков, уменьшает их погрешность и увеличивает быстродействие.

Схемотехническая реализация предложенного аналого-цифрового перемножителя может быть выполнена на базе стандартных интегральных микросхем. Для коммутации ступеней сжатия аналоговых сигналов в мультипликативных аналого-гибридных преобразователях можно использовать ключи на КМОП транзисторах, если уровень коммутируемых сигналов не превышает $1 \dots 10$ В, и герконные реле в случае, когда уровень сигналов составляет $10 \dots 100$ вольт. В последнем случае быстродействие преобразователя снижается. Перемножение аналоговых составляющих гибридных кодов в узком динамическом диапазоне $10 \dots 20$ дБ с погрешностью порядка $0,1\%$ может быть выполнено с помощью интегральных четырех квадрантных перемножителей, выпускаемых фирмами Analog Devices, Burr

Brown и др. [3]. Предлагаемые в настоящее время различными производителями аналого-цифровые преобразователи и элементы цифровой техники не накладывает каких-либо ограничений на их использование в исследованных структурах.

Рассмотренные преобразователи могут найти применение в устройствах ввода аналоговой информации в ЭВМ, многоканальных информационно-измерительных и телеметрических системах, радиоизмерительных приборах и т.п.

Библиография

1 Гнатек Ю.Р. Справочник по цифроаналоговым и аналого-цифровым преобразователям / Ю.Р. Гнатек. - М.: Мир, 1982. — 552 с.

2 Зиборов С.Р. Функциональные преобразователи с дискретным компандированием сигнала / С.Р. Зиборов, В.К. Маригодов. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 144 с.

3 Сектор электронных компонентов. Россия-99: Каталог. — М.: Изд-во “Одэка”, 1999. — 650 с.

Поступила в редакцию 2.11.2000 г.