

Московский энергетический институт (ТУ), Кафедра Электрофизики

В докладе дан обзор состояния и перспектив применения полупроводниковых интегральных цепей на переключаемых конденсатах (ЦПК) как цифроаналоговых интерфейсов цифровых систем обработки сигналов, так и самостоятельных систем для обработки одномерных и многомерных сигналов. Предложены схемы и доказаны теоремы о реализации одномерных фильтров различных структур с минимальной чувствительностью АЧХ в полосе пропускания и минимальной суммарной емкостью. Разработаны новые подходы к решению задачи аппроксимации АЧХ, которые применимы и к цифровым фильтрам, предложены методы моделирования (с учетом нелинейности элементов и паразитных емкостей), параметрической оптимизации и оптимизации выхода годных ЦПК. Показана возможность применения ЦПК для задач обработки многомерных сигналов.

В цифровых системах обработки сигналов на базе сигнальных процессоров используются входные и выходные интерфейсы, содержащие АЦП, ЦАП, антиэлайзинговые входные и сглаживающие выходные фильтры. Эти фильтры реализуются на базе ЦПК, например в разработках фирмы Texas Instruments [1]. Реализация АЦП и ЦАП также возможна на этом элементном базисе [2], что позволяет выполнить на одном кристалле по КМОП-технологии интерфейсы цифровых систем (в общем случае многомерных).

Применение интегральных ЦПК имеет самостоятельное значение в системах телекоммуникаций с частотным или временным уплотнением каналов, в телефонии, измерительной технике, системах анализа и синтеза сигналов (например речи), при адаптивной фильтрации [3]. На современном западном рынке БИС ЦПК в широком ассортименте присутствуют изделия известных фирм: Sierra Semiconductor, Maxim Integrated Product, Crystal Semiconductor, EG&GReticon, Exar. Это дешевые универсальные схемы или фильтры специального назначения массового производства. В последнее время рынок БИС ЦПК интенсивно расширяется (эквалайзеры, кодеки, модуляторы и демодуляторы и др.).

Широкое применение БИС ЦПК объясняется их низкой стоимостью при высокой точности обработки сигналов, малыми массо-габаритными характеристиками и низкой потребляемой мощностью. БИС ЦПК успешно конкурируют с устройствами на основе сигнальных процессоров, особенно в приложениях, где необходимо малое энергопотребление. Все это требует разработки новых методов синтеза ЦПК, моделирования и оптимизации. Необходимо шире использовать уникальную способность ЦПК для реализации нескольких передаточных функций на одном выходе в разные интервалы времени (схемы с мультиплексированием).

Рассмотрим условия, при которых ЦПК, построенные на основе различных соединений элементарных четырехполюсников, будет иметь низкую параметрическую чувствительность АЧХ в полосе пропускания. Как показано в работах А. Фетвайса, В. Кайченя, П. Вайдьянатхана С. Митры, АЧХ ограничена, когда передаточная матрица цепи в Z-области $H(z)$ параунитарна:

$$[H(z^{-1})]^T H(z) = 1, \quad (1)$$

где индекс T обозначает транспонирование матрицы, 1 - единичная матрица соответствующего порядка, $H(z^{-1})$ - матрица сопряженная к $H(z)$. Чтобы АЧХ была структурно ограничена, достаточно структурной обусловленности свойства параунитарности. Из этого следует низкая чувствительность АЧХ.

Учитывая разделение сигналов во времени, можно осуществить три способа соединений мультиплексных ЦПК: П- каскадное, F- каскадное и перекрестное [4]. В результате получим две новые структуры ЦПК – обобщенную волновую и перекрестную волновую, а также классическую каскадную, реализующую новые уникальные свойства за счет мультиплексирования и названную решетчатой каскадной структурой. Определяя передаточную матрицу элементарных четырехполюсников, ограничив ее условием параунитарности (1) и реализуемости, получим произвольную передаточную характеристику первого порядка:

$$H(z) = \frac{\begin{bmatrix} M_2(1-\alpha) & M_3\sqrt{\alpha}(1-P(z^{-1})) \\ M_3\sqrt{\alpha}(1-P(z^{-1})) & -M_2(1-\alpha)P(z^{-1}) \end{bmatrix}}{1+\alpha P(z^{-1})}, \quad (2)$$

где $M_2 = \pm 1$ - определяет значение входной функции на частоте нуля передачи сквозной функции;

$M_3 = \pm 1$ -определяет тип используемых активных элементов элементарного четырехполюсника;

$P(z^{-1}) = M_1 z^{-1}$ для простых нулей передачи сквозной функции;

$M_1 = \pm 1$ для нуля передачи при $\omega_0 = \pi$ и $\omega_0 = 0$ соответственно;

$P(z^{-1}) = z^{-1}(\beta + z^{-1})/(1 + \beta z^{-1})$ для комплексных нулей передачи;

$\beta = -\cos \omega_0$, ω_0 - нормированная относительно периода коммутации частота нуля передачи сквозной функции.

Итерационная процедура реализации произвольной передаточной функции заключается в последовательном выделении элементарных четырехполюсников и снижении порядка остаточной функции на каждом шаге. Остаточная функция, получаемая после выделения элементарного четырехполюсника на i -м шаге, имеет вид:

$$G_{i+1} = \frac{C_i(z) - A_i(z)G_i(z)}{B_i(z)G_i(z) - D_i(z)}, \quad (3)$$

где $A_i(z), B_i(z), C_i(z), D_i(z)$ - элементы цепочечной матрицы четырехполюсника, определяемые через элементы матрицы (2), $G_i(z)$ - входная функция или остаточная функция, полученная на предыдущем шаге. Параметры передаточной матрицы (2) $\alpha, \beta, M_1, M_2, M_3$ определяется частотой максимума АЧХ реализуемой передаточной функции и типом используемых активных элементов.

Такой подход применяется для реализации всех структур, в том числе новой волновой перекрестной, решетчатой, каскадной и квазилестничной. Сформулированы требования к функциональным блокам, реализующим обобщенные модели ЦПК с временным мультиплексированием.

Для моделирования и оптимизации ЦПК предложены новые методы формирования разностных уравнений состояния и уравнений в Z -области. Задачи оптимизации (5) позволяют выполнить центрирование области работоспособности и оптимальное распределение допусков. Оптимизация выхода годных может осуществляться одновременно с оптимизацией других целевых функций, например

$$\min[\Phi_1(\xi), \Phi_2(\xi), \dots, \Phi_m(\xi), 1 - B(\xi)]^T, \quad (4)$$

где $\Phi_i(\xi)$ - различные целевые функции, подлежащие оптимизации, $1 - B(\xi)$ - доля брака, ξ - вектор параметров. Для уменьшения вычислительных затрат при использовании метода Монте-Карло, рекомендуется применять метод коррелированных процессов в различных модификациях [6].

Задачу аппроксимации АЧХ для цифро-аналоговых и цифровых систем рекомендуется решать как задачу центрирования с вектором параметров ξ , элементы которого являются коэффициентами передаточной функции.

Анализ нелинейных ЦПК с периодически изменяемой структурой базируется на кусочно-линейной аппроксимации нелинейных характеристик [7].

Литература

1. TMS320C5x DSP Starter kit, User's Guide. Texas Instruments, 1994, 250p.
2. Аллен Ф. Санчес-Синенсио Э. Электронные схемы с переключаемыми конденсаторами. М.: Радио и связь, 1989, 256с.
3. Миронов В. Г. Адаптация в системах обработки сигналов. Известия академии наук, Энергетика. М.: № 5, 1998 с. 34-51
4. Миронов В. Г. Григорьев А. Н. Методы синтеза цепей на переключаемых конденсаторах, использующих временное мультиплексирование. М.: Электричество, №1, 2001, с.37-48.
5. Миронов В.Г., Немов Ю.Н. Некоторые задачи оптимизации при проектировании электронных цепей и систем. М.: Вестник МЭИ, №3 2000г. с. 82-87.
6. Миронов В. Г., Крутяков В.В. Построение рационального алгоритма рационального анализа электронных цепей. М.: Вопросы радиоэлектроники. Серия ТПО, 1983, вып.3, стр 28-34.
7. Миронов В. Г. Методы кусочно линейного анализа нелинейных цепей. Львов, Теоретические основы электротехники, издательство Львовского университета, 1983, с. 162-168.

DIGITAL-ANALOG INTERFACES AND SYSTEMS FOR ONE-DIMENSIONAL AND MULTI-DIMENSIONAL SIGNAL PROCESSING

Mironov V.

Moscow Power Engineering Institute (Technical University), Department of Electrical Physics
105835, GSP, Moscow E-250, 17 Krasnokazarmennaya st., Phone: +7 (095) 362 7463

The paper considers the present and future of semiconductor integral circuits based on switching capacitors that are used as digital-analog interfaces for signal processing systems, as whole systems for one dimensional and multidimensional signal processing. The schemes are proposed and theorems are proved for design of different structures of one-dimensional filters having minimal sensitivity in pass band and minimal capacitance of all system. The new techniques are worked out aimed at magnitude response approximation, which can be used also for digital filters. The modeling methods which take into account nonlinearity of elements and spurious capacitance are proposed. The methods of parametrical optimization and of optimization of good devices output number while manufacturing are also proposed. It's shown that multidimensional signal processing tasks can be solved in terms of circuits based on switching capacitors.

References

1. TMS320C5x DSP Starter kit, User's Guide. Texas Instruments, 1994, 250p.
2. Аллен Ф. Санчес-Синенцио Э. Электронные схемы с переключаемыми конденсаторами. М.: Радио и связь, 1989, 256с.
3. Миронов В. Г. Адаптация в системах обработки сигналов. Известия академии наук, Энергетика. М.: № 5, 1998 с. 34-51
4. Миронов В. Г. Григорьев А. Н. Методы синтеза цепей на переключаемых конденсаторах, использующих временное мультиплексирование. М.: Электричество, №1, 2001, с.37-48.
5. Миронов В.Г., Немов Ю.Н. Некоторые задачи оптимизации при проектировании электронных цепей и систем. М.: Вестник МЭИ, №3 2000г. с. 82-87.
6. Миронов В. Г., Крутяков В.В. Построение рационального алгоритма рационального анализа электронных цепей. М.: Вопросы радиоэлектроники. Серия ТПО, 1983, вып.3, стр 28-34.
7. Миронов В. Г. Методы кусочно-линейного анализа нелинейных цепей. Львов, Теоретические основы электротехники, издательство Львовского университета, 1983, с. 162-168.