

Warto spróbkować, część 5

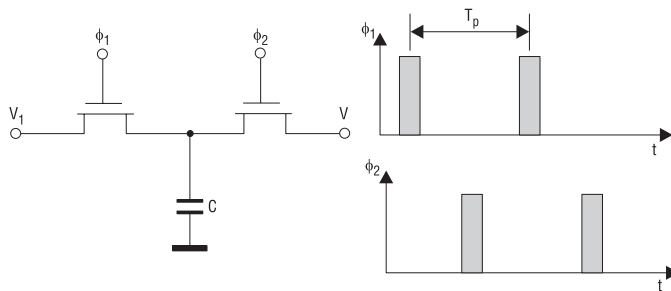
Implementowanie przetworników analogowo-cyfrowych i cyfrowo-analogowych w popularnych mikrokontrolerach stało się już na tyle powszechne, że próby sprawdzenia się w dziedzinie cyfrowego przetwarzania sygnałów coraz częściej są podejmowane przez zwykłych składaczy kitów (z całym szacunkiem dla składaczy). Często nie dysponują oni odpowiednimi podstawami teoretycznymi. Robią więc to na wyczucie lub „na słuch”. Tymczasem wiedza na ten temat jest nie mała, zawiera sporą dawkę elementów matematyki wyższej.

W pierwszych dwóch częściach kursu poznaliśmy metody analogowo-cyfrowego i cyfrowo-analogowego przetwarzania sygnałów. Dowiedzieliśmy się o niektórych problemach, z jakimi możemy się spotkać w praktyce. W trzeciej części kursu były przedstawione parametry statyczne i dynamiczne przetworników A/C i C/A. Zapoznanie się z nimi pozwoliło nam zrozumieć przyczyny występowania niektórych niepożądanych efektów w działających urządzeniach. Źródeł ich powstawania często nie wiążemy z samymi przetwornikami. Wielokrotnie była zwracana uwaga na zjawisko aliasingu polegające na generowaniu składowych widma o częstotliwościach, które nie występują w oryginalnym (próbkowanym) sygnale. Dowiedzieliśmy się, że me-

todą zwalczania tego najczęściej niepożądanego zjawiskiem jest stosowanie odpowiedniej filtracji. W ten sposób dotknęliśmy zagadnienia, które samo w sobie mogłoby być tematem na osobny kurs. Tymczasem na zakończenie kursu o próbkowaniu proponuję zająć się tematyką, która niejako łączy w sobie jednocześnie problemy i filtrowania i próbkowania. Mowa będzie o filtrach z przełączaną pojemnością.

W przykładach zamieszczanych do tej pory były stosowane filtry analogowe. Filtry takie wymagają doprowadzenia sygnału analogowego do wejścia i taki też rodzaj sygnału występuje również na wyjściu. Filtry analogowe mogą być wykonane jako pasywne – składające się wyłącznie z elementów biernych (rezystory, cewki, kondensatory) lub aktywne, do budowy których używa się tranzystorów, wzmacniaczy operacyjnych, itp. Zaletą filtrów aktywnych jest możliwość dodatkowego (oprócz funkcji filtrowania) wzmacniania lub tłumienia sygnału, filtry takie mogą jednocześnie pełnić rolę bufora/separatora pomiędzy współpracującymi ze sobą blokami aplikacji.

Z części kursu poświęconej oversamplingowi dowiedzieliśmy się również, że istnieją filtry cyfrowe powszechnie stosowane w technice DSP. Ich zasada działania jest zgoła odmienna od filtrów analogowych. Filtry takie wymagają sygnału cyfrowego. Jest nim zestaw danych próbek sygnału analogowego. Samo filtrowanie polega na wykonywaniu operacji matematycznych na tych danych. Na wyjściu otrzymuje się nadal sygnał cyfrowy, i aby mógł być on ponownie wykorzystany musi być w większości przypadków zamieniony na postać analogową w przetworni-



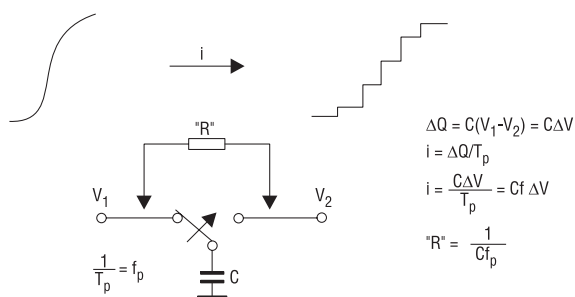
Rys. 36. CMOS-owa implementacja filtra SCF

ku C/A. Metoda cyfrowego filtrowania wykorzystuje liczne algorytmy pozwalające na realizację wielu typów filtrów, o różnych parametrach i charakterystykach. Niektórych z nich nie da się wykonać klasycznymi metodami analogowymi.

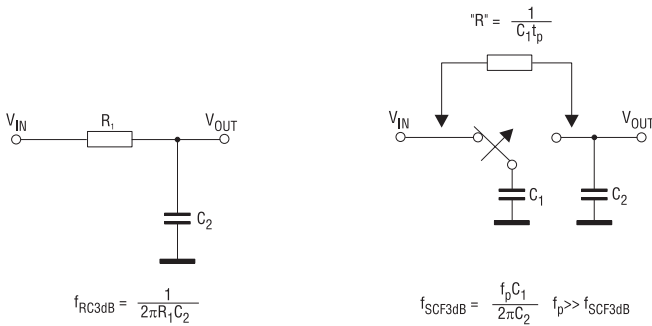
Filtry z przełączaną pojemnością

Filtry z przełączaną pojemnością (SCF – *Switched Capacitor Filter*) można zakwalifikować zarówno jako elementy cyfrowe, jak i analogowe. Do ich budowy zazwyczaj są wykorzystywane CMOS-owe klucze i kondensatory, dzięki czemu minimalizuje się liczbę dodatkowych elementów. Filtry takie można zrealizować w całości w układzie monolitycznym. Z racji swych właściwości filtry SCF są powszechnie stosowane w aplikacjach obróbki sygnałów audio wykorzystujących techniki DSP. Musimy pamiętać, że przełączanie kondensatorów jest z punktu widzenia analizy widmowej równoważne próbkowaniu i dlatego filtry SCF podlegają wszystkim regułom omawianym w poprzednich częściach kursu. Będziemy zatem stosować do nich twierdzenie Nyquist'a, musimy zwracać uwagę na zjawisko aliasingu, itp. Do zrozumienia zasady działania filtra z przełączaną pojemnością pomocny będzie rys. 35. Widocznego na nim rezystora „R” nie ma fizycznie w układzie, został umieszczony na rysunku jedynie po to, żeby pokazać analogię między układem kondensator-klucz, i zwykłym członem filtrującym RC. Spróbujmy przeanalizować, dlaczego kondensator z kluczem w konfiguracji jak na rys. 35 ma własności filtrujące.

Załóżmy, że przyłączony do



Rys. 35. Jednobiegunowy filtr z przełączaną pojemnością (SCF)



Rys. 37. Klasyczny odpowiednik filtru SCF

punktu o potencjale V_1 kondensator zostanie gwałtownie przełączony do punktu V_2 . Wskutek tego nastąpi przeładowanie pojemności, a zgromadzony w kondensatorze ładunek będzie musiał się zmienić o wartość równą: $\Delta Q = C(V_1 - V_2)$. Kierunek przepływu ładunku jest zależny od tego, który z potencjałów V_1 , czy V_2 jest wyższy. Nie ma to jednak znaczenia. Do rozważań teoretycznych zakładamy, że mamy do czynienia z elementami idealnymi, co oznacza m. in., że rezystancja klucza jest zerowa. Wiemy już, co się dzieje dla pojedynczej zmiany stanu klucza, przeanalizujmy więc, jak omawiany układ będzie się zachowywał, gdy klucz będzie cyklicznie zmieniał stan. Załóżmy, że częstotliwość pracy klucza będzie równa f_p (czemu odpowiada okres T_p). W takim przypadku w układzie popłynie średni prąd o natężeniu: $i = \Delta Q / T_p = C(V_1 - V_2) / T_p$. Z takim prądem możemy skojarzyć ekwiwalentną rezystancję „R”, której wartość można obliczyć z zależności:

$$„R” = \Delta U / i = (V_1 - V_2) / i = T_p / C = 1 / C f_p$$

W realizacjach praktycznych jako element przełączający stosuje się scalone klucze CMOS sterowane zegarem 2-fazowym (rys. 36). Elementy te powinny posiadać jak najmniejszą rezystancję w stanie włączenia i jak największą w stanie wyłączenia.

Wykorzystując przedstawioną wyżej ideę można zbudować filtry o różnych konfiguracjach i charakterystykach częstotliwościowych, zarówno pasywne, jak i aktywne. Przykładowe porównanie klasycznego, dolnoprzepustowego filtra RC i odpowiadającego mu SCF przedstawiono na rys. 37. Częstotliwość graniczna dla filtra RC (-3 dB) jest równa: $f_{RC, 3dB} = 1 / (2\pi R_1 C_2)$, a odpowiadająca jej częstotliwość filtra SCF jest równa: $f_{SCF, 3dB} = f_p C_1 / (2\pi C_2)$, przy czym $f_p \gg f_{SCF, 3dB}$

Budując filtr SCF należy pamiętać o kilku ważnych sprawach. Z podanego wyżej wzoru na 3dB częstotliwość filtra SCF wynika, że zależy ona m.in. od częstotliwości kluczowania, a także od stosunku pojemności C_1 i C_2 . Bardzo ważnym założeniem jest, aby częstotliwość kluczowania była wielokrotnie większa od częstotliwości granicznej filtra. W praktyce przyjmuje się krotności od 50 do 100, co zapewnia minimalizację efektu postrzępienia napięcia na cyklicznie przełączającym się kondensatorze. Zależność częstotliwości granicznej filtra SCF od częstotliwości kluczowania może być jednocześnie wadą i zaletą. Z jednej strony możemy np. wykorzystać częstotliwość kluczowania do strojenia filtra, z drugiej natomiast musimy się liczyć ze zmianą parametrów filtra w przypadku nieoczekiwanej zmiany częstotliwości kluczowania.

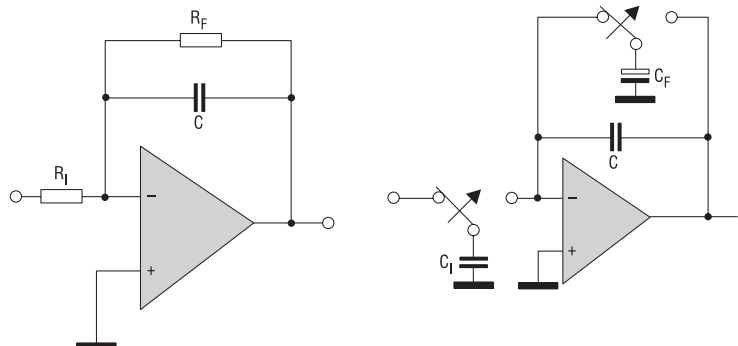
Zastosowanie filtrów SCF w układach audio powoduje znaczne zmniejszenie wymiarów elementów pasywnych filtra i ułatwia dobieranie ich wartości. Na przykład do zaimplementowania filtra audio metodą klasyczną, przy założeniu rozsądnej wartości pojemności kondensatora monolitycznego ok. 10 pF, będzie wymagany rezystor rzędu 10 MΩ. Jeśli zastosujemy filtr SCF, w którym pojemność 1 pF będzie kluczowana z częstotliwością 100 kHz, to wymagana do tego celu powierzchnia struktury półprzewodnikowej będzie równa ok. 0,01 mm². Dla zaimplementowania rezystora 10 MΩ w tech-

nologii polisilikonowej lub dyfuzyjnej niezbędna powierzchnia półprzewodnika będzie większa ponad 100-krotnie.

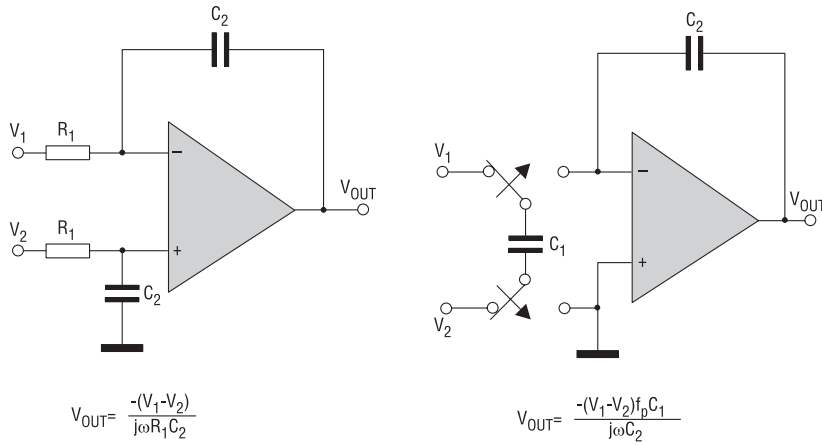
Popatrzmy teraz, jak można zrealizować aktywne filtry SCF. Będą one zbudowane w oparciu o wzmacniacze operacyjne. W przeciwieństwie do filtrów cyfrowych, filtry SCF mogą być definiowane tak samo, jak zwykle filtry analogowe. Na rys. 38 przedstawiono tradycyjny filtr analogowy RC 1-rzędu i jego odpowiednik w wersji z przełączaną pojemnością.

Niestety kluczowanie wejścia w filtrze SCF powoduje, że konieczne jest dodatkowe zastosowanie... prostego, analogowego prefiltru antyaliasingowego, eliminującego wszystkie produkty kluczowania powyżej częstotliwości Nyquista. Wiemy jednak, że przełączanie pojemności filtra SCF następuje z dużą częstotliwością, znacznie większą niż pasmo użytkowe. Jako filtr antyaliasingowy wystarczający więc będzie prosty, 1- lub 2-biegunowy filtr RC.

W niektórych aplikacjach, w których mamy do czynienia np. z sygnałami o bardzo małych poziomach lub tam, gdzie zależy nam na możliwie skutecznej eliminacji zakłóceń mogących się pojawiać w długich przewodach doprowadzających sygnał ze źródła do układu, najczęściej są stosowane wejściowe wzmacniacze różnicowe. Nic nie stoi na przeszkodzie, żeby taki wzmacniacz był jednocześnie filtrem. Można go wykonać w wersji tradycyjnej lub jako filtr SCF. W obu przypadkach zalety konfiguracji różnicowej, głównie duża wartość tłumienia sygnału wspólnego (CMRR) pozostają zachowane. Przykładową realizację przedstawiono na rys. 39.



Rys. 38. Klasyczny, dolnoprzepustowy filtr aktywny 1 rzędu RC i jego odpowiednik SCF



Rys. 39. Aktywny, różnicowy integrator klasyczny i jego odpowiednik SCF

Warto również wspomnieć o tym, że technikę przełączanej pojemności wykorzystuje się również w układach całkujących w przetwornikach A/C typu sigma-delta.

Filtry z przełączaną pojemnością, jak wszystko z czym mamy do czynienia w świecie rzeczywistym, mają swoje zalety, ale i kilka wad. Do najważniejszych należy ograniczenie zastosowań do pasma akustycznego. Układy prób-

kujące z częstotliwością rzędu kilkuset kHz nie mogą być zrealizowane współczesnymi technologiami CMOS. Przełączanie pojemności powoduje generację przypadkowego szumu, powiększanego dodatkowo przez współpracujące z kluczami nieidealne przecieź wzmacniacze operacyjne. Prądy upływu elementów stosowanych w filtrach SCF są przyczyną powstawania niepożądanego offsetu. Błędy powstają też

w wyniku braku synchronizacji poszczególnych przełączników działających w układzie. Na zakończenie należy jeszcze raz podkreślić, że filtry SCF należą do klasy urządzeń próbkujących i z tego powodu, aby skutecznie wyeliminować wpływ aliasingu wymagają stosowania oversamplingu o dużej krotności.

Temat filtrów z przełączaną pojemnością zakończył krótki kurs o próbkowaniu. Możliwe, że problemy przedstawione w pięcioczęściowym artykule wywołały tylko apetyt na większą dawkę wiedzy. Cieszyłbym się, gdyby przedstawione zagadnienia okazały się przydatne Czytelnikom zajmującym się konstruowaniem urządzeń elektronicznych.

Jarosław Doliński, EP
jaroslaw.dolinski@ep.com.pl

Materiały źródłowe:
http://www.analog.com/UploadedFiles/Application_Notes/257206974259641368301086579520703792632610264805090AN282.pdf

Wszystko o **ARM**-ach

FLEKTRONIKA PRAKTYCZNA plus

Jedynie (po polsku) kompendium wiedzy o mikrokontrolerach i mikroprocesorach wyposażonych w rdzenie opracowane przez firmę ARM.

http://www.ep.com.pl/?ep_plus.htm

>>arm.ep.com.pl

www.sklep.avt.pl

akcesoria GSM
 akumulatory
 chemia
 czasopisma
 podzespoły
 kity do montażu
 książki
 lutownice
 nagłośnienie
 narzędzia
 obudowy
 oprogramowanie
 oświetlenie dyskotekowe
 przewody
 przyrządy pomiarowe
 systemy alarmowe
 wykrywacze metali
 zasilacze

AVT-Korporacja
 01-939 Warszawa
 ul. Burleska 9
 tel: 22/568 99 50
 fax: 22/568 99 55

handlowy@avt.pl