

Druga część artykułu opisującego studyjny przetwornik A/C przybliży nam zasadę działania podstawowego fragmentu nowoczesnych urządzeń do cyfrowej obróbki dźwięku.

Odrobina rozważań teoretycznych, wspartych prostą matematyką, tworzą doskonałe podstawy do konstruowania własnych urządzeń.

# 20-bitowy studyjny przetwornik A/C, część 2

## Sampling (próbkiowanie)

Przetwornik może oczywiście zostać skonfigurowany na typowe częstotliwości próbkiowania (32kHz; 44,1kHz; 48kHz). Wejście zegarowe ICKLD układu CS5390/CS5389 jest bezpośrednio połączone z wybranym kwarcem; sygnał generatora kwarcowego steruje filtrem cyfrowym i impulsami próbkującymi modulatora. Na częstotliwość próbkiowania ma również wpływ zwora J3, przez którą dochodzi sygnał do n. 11 (CMODE) przetwornika. W przypadku gdy na CMODE jest „1” (wysoki poziom), to częstotliwość kwarcu jest dzielona przez 384 aby otrzymać częstotliwość próbkiowania. Jeśli natomiast CMODE jest połączona z masą, to częstotliwość kwarcu odpowiada 256-krotności częstotliwości próbkiowania. Typowe kombinacje kwarców i pozycje zwory są przedstawione w tabeli 1. Świadomie zrezygnowano z podstawki dla drugiego kwarcu, aby nie wprowadzać kolejnego potencjalnego źródła zakłóceń.

Chociaż na płycie nie zostało to przewidziane, możliwe jest zsynchronizowanie wielu kart z przetwornikami A/C.

Standardowo układ znajduje się w „Master Mode”. Przełączenie w „Slave-Mode” i wszelkie związane z tym możliwości zostaną jedynie zasygnalizowane, ale nie będą omawiane; w przypadku zainteresowania wszelkie dalsze szczegóły są dostępne w karcie aplikacyjnej układu. Warto jeszcze zaznaczyć, że można zsynchronizować dwie karty pracujące w trybie „Master-Mode”. W tym celu muszą być one taktowane z jednego

Tab. 1. Oscylatory kwarcowe i stopa próbkiowania

L/R (kHz)	CMODE (J3)	ICKLD (MHz)
32	niski	8,129
32	wysoki	44,1
	niski	11,2896
44,1	wysoki	16,9344
48	niski	12,288
48	wysoki	18,432

Tab. 2. Półczenia mikroprzełącznika w trybie profesjonalnym

Przełącznik nr	0 - otwarty, 1 - zwarty	Tryb pracy
3	/PRO=1	Tryb profesjonalny C0 = 1 (domyślnie)
1	CRE	Lokalny numer próbki
domyślnie	0	Wyłączony
	1	Generacja wewnętrzna
2 i 5	/C6, /C7	C6, C7 - częstotliwość próbkiowania
	1 i 1	00 - niedefiniowany - domyślnie do 48kHz
domyślnie	1 i 0	01 - 48kHz
	0 i 1	10 - 44,1kHz
	0 i 0	11 - 32kHz
6	/C9	C8, C9, C10, C11 - tryb kanału (1 z 4 bitów)
domyślnie	1	000 - niedefiniowany (2 kanały)
8 i 7	EM1, EM0	0100 - stereo
domyślnie	1 i 1	C2, C3, C4 - emfaza (2 z 3 bitów)
	1 i 0	000 - niedefiniowany
	0 i 1	100 - emfaza wyłączona
	0 i 0	110 - 50/15µs
		111 - CCITT J.17

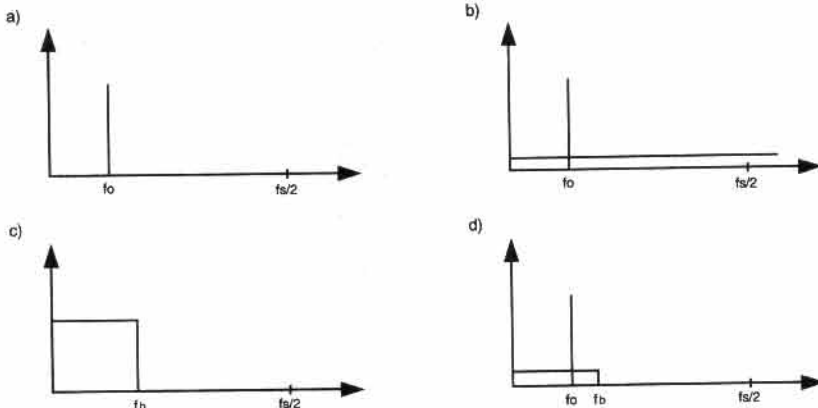
generatora kwarcowego, a sygnał wspólny Reset (DPD, n. 10 układu CS5390/CS5389) musi wypadać poza 30ns oknem, na opadającym zboczku impulsu zegarowego ICKLD (na „0”).

Cyfrowy stopień wyjściowy przetwornika A/C został wykonany na układzie CS8402. W przeciwieństwie do wymienionego w pozycji [1] układu YM3437, który posiada jedynie interface szeregowy, zastosowany układ ma niewątpliwą zaletę w postaci wejścia równoległego dla najważniejszych bitów statusu kanału. Za

manipulowanie pojedynczymi bitami odpowiedzialny jest SW1 - mikroprzełącznik (DIP-Switch). W przypadku gdy linia /PRO jest zwarta do „0”, układ pracuje w „Professional Mode”. Wyprowadzenia numer 14 (EM0), 13 (EM1), 3 (/C1), 4 (/C6), 1 (/C7), 12 (/C9) układu CS8402 wpływają na bity statusu kanału C1, C2, C3, C4, C6, C7, C9. Linie /C1, /C6, /C7, /C9 oznaczają bezpośrednio odpowiednio zanegowane bity statusu kanału. EM0 i EM1 kodują odpowiednio C2, C3 i C4 (tabela 2, pozycje przełącznika 7 i 8).

W przypadku, gdy na linię /PRO podana jest „1”, CS8402 przechodzi w „Consumer Mode”. Wejścia otrzymują wówczas całkiem inne znaczenia. Są teraz dostępne bity statusu kanału C2, C3, C8, C9, C15, C24 i C25. Mogą one być sterowane przełącznikiem. Należy zauważyć, że stany na wyprowadzeniach 3 i 24 (FC0 i FC1), zgodnie z tabelą 3, zawierają informację o częstotliwości. Pozostałe bity są bezpośrednio ustawiane albo zerowane przy pomocy przełącznika. Stan FC0=1 i FC1=1 umożliwia przejście w „CD-Submode”. Oprócz opcji rejestrowania informacji CD-Subcode (w prezentowanym rozwiązaniu nie została uwzględniona) należy zaznaczyć, że istnieje możliwość przełączenia kodu kategorii (7 i 8 pozycja przełącznika) na „CD”. Osoby zainteresowane dalszymi szczegółami na temat znaczenia bitów statusu kanału Cxx mogą uzyskać więcej informacji w [3].

Zaprezentowane rozwiązanie układowe daje różnorodne możliwości wyboru standardu wyjść: klasyczne poprzez gniazda cinch, XLR albo optyczne (światłowodowe). Zwory J4 i J5 służą do ustawienia parametrów wyjścia: zgodnie z normą AES/EBU dla „professional/broadcast” poziom 5V i obciążenie 110Ω, lub dla zastosowań komercyjnych napięcie 0,5V przy rezystancji wyjściowej 75Ω. W obydwu przypadkach



Rys. 2. Widmo sygnału poddanego oversamplingowi

jest oczywiście dostępne złącze optyczne.

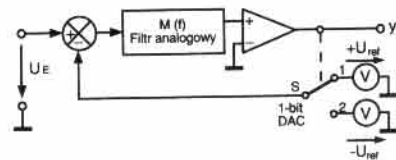
W czasie konwersji wielkości analogowych na wartości cyfrowe, na skutek ograniczonej rozdzielczości, powstaje błąd systematyczny nazywany błędem kwantyzacji. Gdy wejściowy sygnał analogowy jest wystarczająco duży i szybko się zmienia, można przyjąć, że błąd kwantyzacji odpowiada szumowi białemu. Efektywna rozdzielczość przetwornika może zostać podwyższona, gdy zastosuje się filtr cyfrowy i dzięki temu zmniejszy szumy kwantyzacji. Filtracja ogranicza jednak szerokość pasma sygnału. Próbkowanie sygnału z częstotliwością znacznie większą niż wartość Nyquista nazywamy oversamplingiem. Metoda ta jest przedstawiona na rys. 2a. Wejściowy sygnał sinusoidalny wchodzi na przetwornik A/C i jest próbkowany częstotliwością fs.

Rysunek 2b przedstawia widmo sygnału po przetworzeniu.

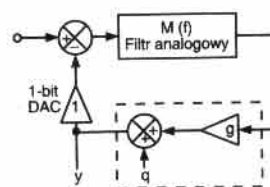
Kolejnym elementem układu jest filtr cyfrowy, który posiada częstotliwość graniczną fb (rysunek 2c). Na skutek filtracji napięcie szumów zostaje zmniejszone o współczynnik  $\sqrt{(fs / (2 \cdot fb))}$ .

### Oversampling

Procedura oversamplingu sama w sobie nie jest w stanie zapewnić uzyskania 16-bitowej rozdzielczości przy zastosowaniu 1-bitowego układu kwantowania, gdyż wymagana w tym celu stopa próbkowania (Oversampling rate) byłaby zbyt wielka. Z tego powodu stosuje się technikę o nazwie „Noise shaping” (kształtowanie szumów). Filtr analogowy wyższego rzędu (integrator) w pętli modulatora jest zastosowany w celu zmniejszenia szumów w interesującym zakresie ( $f < fb$ ) kosztem zwiększenia szumów powyżej tego pasma ( $f > fb$ ). W związku z tym widmo sygnału wejściowego nie ulega zmianie. Składowe o  $f > fb$  zostaną jednak skutecznie usunięte przez filtr cyfrowy.



Rys. 3. Zasada funkcjonowania przetwornika Delta-Sigma



Rys. 4. Model zintegrowanego przetwornika Delta-Sigma

Tab. 3. Położenia mikroprzetwornika w trybie konsumenckim

Przełącznik nr	0 - otwarty, 1 - zwarty	Tryb pracy
3 1 i 4	/PRO=1 FC1 i FC0 0 i 0 0 i 1 1 i 0 0 i 0	Tryb konsumencki C24, C25, C26, C27 - częstotliwość próbkowania 0000 - 44,1kHz 0100 - 48kHz 1100 - 32kHz 0000 - 44,1kHz, podtryb CD
2	/C3 1 0	C3, C4, C5 - emfaza (1 z 3 bitów) 000 - brak 100 - 50/15µs
5	/C2 1 0	Bit zabezpieczający 0 - z blokadą kopiowania 1 - bez blokady kopiowania
6	/C15 1 0	C15 - generacja statusu 0 - bazowanie na kodzie kategorii 1 - patrz [1]
7 i 8	/C8, C9 1 i 1 1 i 0 0 i 1 0 i 0	C8-C14 - kod kategorii (2 z 7 bitów) 0000000 - ogólny 0100000 - COPEC PCM 1000000 - Compact Disk (CD) 1100000 - Digital Audio Tape (DAT)

## WYKAZ ELEMENTÓW

## Rezystory metalizowane 1%

R1-R4, R8, R9, R15, R16: 7,75kΩ

R5, R6, R17, R18: 10kΩ

R7, R19: 1MΩ

R10, R11, R20, R21: 39Ω

R12: 51Ω

R14: sieć rezystorów 8x10kΩ

R22: 8,2kΩ

R23: 154Ω

R25: 121kΩ

R31: 90,9Ω

R32: 374Ω

## Kondensatory

C1, C2, C7, C60, C61: 4,7μF

C3, C4, C29, C30: 0,22μF

C5, C6: 0,47μF

C8, C10-C12, C15, C19-C21:  
100pFC9, C24-C27, C31, C33, C34,  
C36, C37, C40-C50, C52, C62:  
0,1μF

C13, C22: 10pF

C14, C23: 6,8nF

C28: 100μF

C32, C39, C63: 10μF

C53-C59: 0,1μF SMD

## Półprzewodniki

D1-D9: BAT85

Z1, Z2: dioda zabezpieczająca  
przed przepięciem 1N6276A

1,5KE/16V

Z3: dioda zabezpieczająca przed

przepięciem P6KE-6V8P

Z4, Z5: dioda Zenera 5,6V

IC1-IC6: OPA-627 (Burr-Brown)

IC7: stabilizator 7905

IC8: stabilizator 7805

IC9: CS5390 (Crystal)

IC10: oscylator kwarcowy

12,2880MHz (48kHz) lub

11,2896MHz (44,1kHz) lub

16,9344MHz (44,1kHz)

IC11: 74HC74

IC12: 74HC14

IC13: CS8402 (Crystal)

OPT1: TOTX173

## Różne

BU1, BU2, BU8: gniazdo XLR

BU3-BU7: gniazdo bananowe

BU9: gniazdo cinch

SW1: mikroprzełącznik (DIP) 8-

pozycyjny

SW2: przycisk do montażu

poziomego na płycie

L1, L2: cewka 47mH

L3: transformator dla wyjścia

cyfrowego (Afantik-Elektronik)

J2-J5: listwa na zwory 3-

ofworowe

## Przetwornik Delta-Sigma

Ten wariant przetwornika A/C z reguły składa się z dwóch bloków funkcjonalnych, modulatora analogowego i filtra cyfrowego. Sygnał wejściowy wraz z sygnałem wyjściowym z 1-bitowego kwantyzatora są podawane na integrator, gdzie są poddawane próbkowaniu z częstotliwością znacznie większą niż szerokość pasma mierzonego sygnału (rysunek 3). Z ciągu danych 1-bitowych o dużej częstotliwości filtr cyfrowy uzyskuje wartości mierzone o dużej dokładności.

Szczególną zaletą przetwornika A/C z modulatorem Delta-Sigma - w odróżnieniu od zwykłych metod - jest to, że poszukiwanie nowej wartości pomiaru nie rozpoczyna się od porównania z zerem, ale od porównania z wartością szacunkową wyznaczoną na podstawie poprzednich pomiarów. Poza tym - w przeciwieństwie do przetworników 1-bitowych - przetwornik Delta-Sigma może w każdej chwili dostarczyć informacji o wartości absolutnej napięcia wejściowego. Osoby zainteresowane rozwinięciem wiedzy na temat podstaw przetworników Delta-Sigma powinny sięgnąć do podręczników, np. [5] i [6]. Informacje zawarte w tej ramce mogą osobom nie zorientowanym dostarczyć tylko odrobinę wiedzy na temat zasad funkcjonowania tych przetworników.

Typowe zastosowanie tej metody polega na tym, że do wzmocnionego o współczynnik  $g$  sygnału wyjściowego z filtra analogowego dodaje się stały sygnał szumu o średnim napięciu  $q$  (rysunek 4). Sygnał wyjściowy modulatora, jako funkcja napięcia wejściowego  $x$  szumów kwantyzacji, może być opisany następującym równaniem:

$$y = (x-y) \cdot H(f) \cdot g + q$$

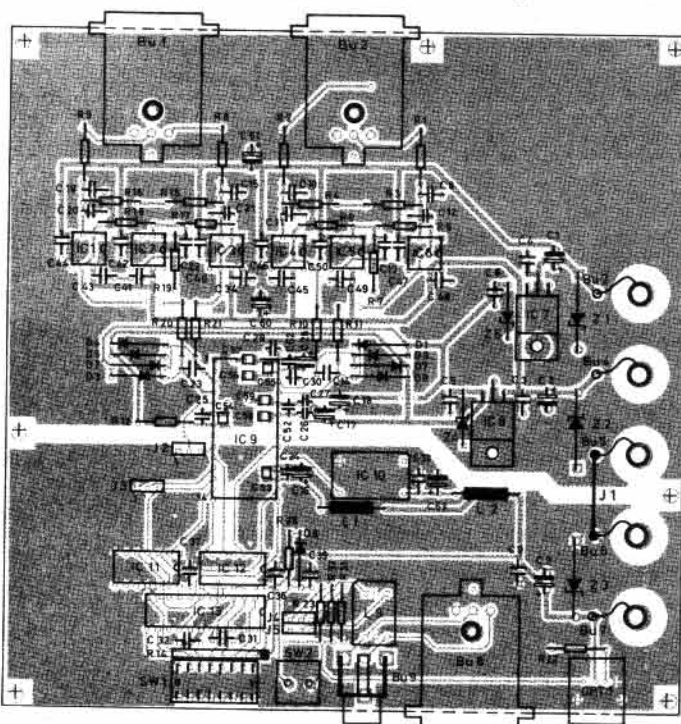
gdzie  $H(f)$  przedstawia funkcję transmitancji integratora. W przybliżeniu

$$H(f) \cdot g > 1$$

z czego wynika:

$$y = x + q / (H(f) \cdot g)$$

Widmo wyjściowe składa się z widma sygnału wejściowego i szumów ograniczonych przez filtr. Wynika więc z tego, że szumy kwantyzacji mogą być utrzymywane na niskim poziomie albo przez kwantyzator o podwyższonej rozdzielczości, albo poprzez umiejętny wybór funkcji filtrowania. Powinna ona zapewniać bardzo dobrą przenikalność w pas-



Rys. 5. Rozmieszczenie elementów na płycie przetwornika A/C

mie przepuszczania i wysoką tłumienność poza zakresem słyszalnym.

W układzie CS5390/CS5389 firmy Crystal zastosowano połączenie 1-bitowego kwantyzatora i integratora piątego rzędu. W karcie informacyjnej układu w Data Book [2] nie ma informacji na temat charakterystyki filtru. Bieguny filtru w modulatorze nie są rozmieszczone jednakowo, ale zostały rozdzielone na całe pasmo słyszalne. Wykorzystano fakt, że bieguny są miejscami zerowymi w funkcji przenoszenia napięcia szumów. Optymalne usytuowanie

biegunów może więc doprowadzić do dalszego zredukowania szumów kwantyzacji.

**Martin Kirst, Uwe Kirst**

#### **Literatura:**

- [1] Martin Kirst, Uwe Kirst: *Take five, Harddiskrecording auf dem PC.* ELRAD 8/94.
- [2] *Digital Audio Products Data Book.* Crystal Semiconductor Co. 1994.
- [3] *Digitale Audiodaten-Schninstelle.* ELRAD 9/92.
- [4] *Zaubesteine.* ELRAD 1/95. *T umaczenie w EP 2/95.*
- [5] *Crystal Semiconductor Audio*

*Databook 94. Delta-Sigma A/D Conversion Techniques Overview,* strony 8-11.

[6] *Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 37 (1988), June. A Stereo 16-Bit Delta-Sigma A/D Converter for Digital Audio von Welland. Del Signore, Swanson. Przedruk w: Crystal Semiconductor Audio Databook 94, strony 8-43.*

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją niemieckiego miesięcznika ELRAD.