

Sygnal drugiej częstotliwości pośredniej o modulacji częstotliwości jest kierowany do demodulatora, z którego odbiera się przebiegi już z modulacją amplitudy. Sygnały te można przesłać do zwykłego odbiornika telewizyjnego. Także sygnał dźwięku jest demodulowany i doprowadzany do postaci przebiegów m.cz. o modulacji amplitudy.

Tuner z telewizorem łączy się podobnie jak z magnetowidem – wyjście w.cz. tunera przewodem koncentrycznym z gniazdem antenowym telewizora. Do transmisji wykorzystuje się jeden z kanałów UHF 30-39. Jeżeli dysponuje się nowoczesnym odbiornikiem telewizyjnym z gniazdem SCART, to lepiej połączyć obydwa urządzenia za pośrednictwem tych gniazd z pominięciem torów w.cz. Obecnie produkuje się wiele typów tunerów satelitarnych, od prostych z "ręcznym" programowaniem kilkunastu kanałów aż do bardzo rozbudowanych, z syntezą częstotliwości, zautomatyzowanym programowaniem 100-200 kanałów, funkcją OSD, timerem i podobnymi udogodnieniami.

Opisy satelitarnych tunerów można znaleźć w numerach 7 i 8/1992, 2 i 10/1993 Re AV.

Przegląd satelitów

Na geostacjonarnej orbicie krąży obecnie kilkadziesiąt satelitów należących do firm i organizacji międzynarodowych lub narodowych (rys. 3).

W tym przeglądzie wymieniono tylko te firmy i organizacje, których satelity przesyłają programy telewizyjne odbierane w Polsce. W następnych artykułach będą szczegółowo omówione poszczególne satelity i nadawane przez nie programy.

Satelity Intelsat należą do międzynarodowego towarzystwa o tej samej nazwie. Są to satelity telekomunikacyjne. Za ich pośrednictwem przesyłane są także programy telewizyjne do indywidualnego odbioru.

Satelity Eutelsat są eksploatowane przez europejską organizację telekomunikacji satelitarnej Eutelsat i przekazują również programy telewizyjne do indywidualnego odbioru.

Satelity Kopernikus są własnością telekomunikacji RFN i wykorzystuje się je do tych samych celów co poprzednio omówione.

Satelity ASTRA są wykorzystywane przez prywatną spółkę, której udziałowcami są europejskie firmy. Za ich pośrednictwem nadawane są programy telewizyjne, najbardziej popularne w Polsce.

Satelity Telecom są własnością francuskiej firmy France Telecom i nadają również programy telewizyjne.

Satelity TV SAT i TDF należą do firm francuskich i niemieckich. Są wykorzystywane do przekazywania programów TV, przede wszystkim do Francji i Niemiec.

Ilustracje zaczerpnięto z wydawnictw informacyjnych firmy TechniSat. □

Jednobitowe przetworniki a/c i c/a ⁽¹⁾

Michał Nadachowski

Jednobitowe przetworniki a/c i c/a są coraz częściej stosowane w systemach rejestracji i odtwarzania dźwięku, szczególnie na płytach kompaktowych, a także w komputerach osobistych. Warto więc poznać bliżej zasadę ich działania. Wracamy więc do zagadnienia omówionego już w numerze 5 /1993 ReAV przez prof. Bolesława Urbańskiego. Mamy nadzieję, że odmienny sposób ujęcia tematu zainteresuje również naszych Czytelników.

Po otwarciu pokrywy typowego odtwarzacza płyt kompaktowych można zobaczyć, że ok. 50 cm² powierzchni płytki drukowanej zajmuje system przetwarzania cyfrowo-analogowego obejmujący dwukanałowy scalony filtr interpolacyjny (aproksymujący), podwójny 16- lub 18-bitowy przetwornik c/a oraz dolnoprzepustowe filtry wygładzające. Sygnały z tych filtrów sterują wyjściowe wzmacniacze mocy. Wszystkie te układy (oprócz wzmacniaczy) można obecnie zastąpić jednym układem scalonym, np. 28-końcówkowym układem CS4328 firmy CRYSTAL o rozmiarach ok. 1,8 x 1 cm. Stosując go uzyskuje się, oprócz miniaturyzacji, także lepszą niż w rozwiązaniach tradycyjnych jakość odtwarzania.

Takie wyniki osiągnięto dzięki wykorzystaniu tzw. przetwarzania jednobitowego z nadpróbkowaniem (inaczej: próbkowanie nadmiarowe, ang. oversampling).

Podstawy teoretyczne przetwarzania jednobitowego powstały już dawno, lecz dopiero postęp technologiczny umożliwił opracowanie specjalizowanych układów monolitycznych, dzięki którym uzyskano przetwarzanie o lepszych parametrach przy mniejszych kosztach, z jednoczesnym uproszczeniem układów. Dlatego ta metoda zaczyna być szeroko stosowana w cyfrowym przetwarzaniu sygnałów audio, szczególnie w odtwarzaczach, płytach kompaktowych i w komputerach osobistych. Firmy CRYSTAL, BURR-BROWN i kilka innych wprowadziły już na rynek układy scalone z przetwarzaniem jednobitowym. Tę nową, coraz popularniejszą ostatnio technikę, warto omówić na tle metod tradycyjnych, które krótko przypomnimy.

Przetwarzanie sygnałów audio

Czynnikiem decydującym o jakości cyfrowego przetwarzania sygnałów jest przede wszystkim dokładność przetworników: analogowo-cyfrowego i cyfrowo-analogowego. Określa się ją liczbą poziomów kwantowania

sygnału analogowego, czyli rozdzielczością przetwarzania. Wymagana rozdzielczość zależy od zastosowania, np. przy cyfrowym zapisie dźwięku na płytach kompaktowych rozdzielczość nie powinna być gorsza niż 16 bitów, co odpowiada 65 535 poziomom kwantowania. Jest to dosyć ostry wymóg.

Bezpośredni sposób przetwarzania sygnału analogowego na sygnał cyfrowy jest stosowany w przetwornikach typu "flash", w których sygnał wejściowy jest za pomocą komparatorów napięciowych porównywany jednocześnie z wieloma napięciami odniesienia. Przetwarzanie takie jest bardzo szybkie (do setek MHz), gdyż limitowane jest tylko czasem odpowiedzi komparatora i następujących po nim prostych układów logicznych. Niestety wadą przetworników "flash" jest duża liczba komparatorów. Przetwornik 4-bitowy wymaga 16 komparatorów, 8-bitowy - 32, a przy rozdzielczości 16-bitowej trzeba użyć aż ok. 6500 komparatorów. Widać więc, że przetwornik tego typu o dużej rozdzielczości jest bardzo trudny do realizacji monolitycznej, nawet przy użyciu najnowszych technologii.

Inną grupę przetworników a/c tworzą układy z podwójnym całkowaniem, czyli tzw. przetworniki integracyjne. Ich działanie można w przybliżeniu opisać jako dokładny pomiar przedziału czasu, w którym napięcie liniowo narastające osiąga poziom sygnału przetwarzanego. Czas ten jest proporcjonalny do wartości sygnału. Pomiar następuje przez zliczanie impulsów zegarowych. Ta technika umożliwia wprawdzie uzyskanie bardzo dobrej, nawet 24-bitowej rozdzielczości, lecz niestety kosztem pogorszenia szybkości przetwarzania i znacznego skomplikowania układowego. Kilka firm opracowało integracyjne przetworniki a/c przeznaczone do sygnałów audio, lecz są one dość drogie i charakteryzują się sporymi zniekształceniami przy większych częstotliwościach (typowo ponad 1% zniekształceń harmonicznym przy częstotliwości 10 kHz).

Najpopularniejszym sposobem przetwarza-

nia sygnałów audio jest **metoda kompensacyjna** (lub kolejnych aproksymacji). Sygnał wejściowy jest próbkowany, jego wartość chwilowa zapamiętywana na pewien czas i kolejno porównywana z wagowymi wartościami (czyli z 1/2, 1/4, 1/8, 1/16... itd.) napięcia odniesienia. Takie układy są niedrogie i dobrze nadają się do przetwarzania sygnałów audio z niezbyt dużą rozdzielczością. Przy większych (kilkunastobitowych) rozdzielczościach maleje szybkość przetwarzania i rosną wymagania dotyczące dokładności i szumów napięć odniesienia.

Przetwarzanie sygnałów analogowych, niezależnie od metody, podlega podstawowej regule zwanej **kryterium Nyquista**. Głosi ona, że **sygnał pierwotny można odtworzyć na podstawie pobranych z niego próbek tylko wtedy, gdy częstotliwość próbkowania jest co najmniej dwa razy większa od maksymalnej częstotliwości występującej w widmie sygnału**. Tak więc sygnał akustyczny o widmie do 20 kHz trzeba próbować z częstotliwością minimum 40 kHz, aby móc go potem dokładnie odtworzyć na podstawie pobranych próbek. Warto się zastanowić, co się stanie, gdy kryterium Nyquista nie będzie spełnione, np. jeżeli w sygnale próbkowanym z częstotliwością 40 kHz pojawią się częstotliwości powyżej 20 kHz. Może się

z pozoru wydawać, że po prostu część widma powyżej 20 kHz nie będzie odtwarzana z pobranych próbek i będzie tracona w sygnale przetworzonym. Nie miałyby to większego znaczenia, gdyż te częstotliwości są praktycznie niesłyszalne. W rzeczywistości jest jednak inaczej. **Niespełnienie kryterium Nyquista powoduje nie tylko pominięcie części widma o zbyt wielkich częstotliwościach, lecz także znaczne zniekształcenia odtwarzanego sygnału w całym jego pasmie**. Przyczyną tego zjawiska jest nakładanie się segmentów widma sygnału próbkowanego (ang. aliasing), co można wykazać przeprowadzając głębszą analizę kryterium Nyquista wykraczającą poza ramy tego artykułu. Szersze wyjaśnienie problemu można znaleźć w [1]. Tak więc w sygnale przetwarzanym nie powinny występować częstotliwości większe od połowy częstotliwości próbkowania. Konsekwencją jest konieczność dokładnej filtracji sygnału przed próbkowaniem. Stosuje się w tym celu specjalne filtry dolno-przepustowe (tzw. filtry "antialiasing"). Przetwarzanie sygnału analogowego na cyfrowy metodami tradycyjnymi musi zatem obejmować trzy elementy:

- filtr dolnoprzepustowy ("antialiasing"),
- układ próbkujący,
- kwantyzator,

przy czym sam przetwornik a/c wykonuje tylko tę trzecią funkcję. Bardzo kłopotliwym elementem w tradycyjnych systemach przetwarzania jest właśnie filtr wejściowy. Musi on spełniać bardzo ostre wymagania: mieć charakterystykę idealnie płaską i bez zniekształceń fazowych w pasmie przenoszenia (zwykle do 20 kHz) i dobre tłumienie powyżej tej częstotliwości. Można obliczyć, że dla zapewnienia 16-bitowej dynamiki sygnału tłumienie powinno wynosić co najmniej 96 dB. Tak wysokiej jakości filtr sygnału analogowego musi być zbudowany z wielu elementów o dobrych parametrach, co podnosi jego koszty i powoduje znaczną rozbudowę układu.

Filtr wejściowy jest jednym ze źródeł błędów w tradycyjnych systemach przetwarzania. Innymi są: układ próbkująco-pamiętający oraz sam przetwornik a/c dający błąd kwantyzacji nieodłączny od procesu przetwarzania.

Po tym wprowadzeniu w cyfrowe przetwarzanie sygnałów, w następnym numerze, w dalszej części artykułu Autor przedstawi sposoby przetwarzania jednobitowego – "delta" i "sigma-delta", omówi ich zalety i wady.

L I T E R A T U R A

- [1] Kulka Z., Nadachowski M., Libura A. : Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe. WKŁ, Warszawa 1987

Przetworniki a/c i c/a (2)

Michał Nadachowski

Nadpróbkowanie (oversampling)

Stosując przetwarzanie jednobitowe z nadpróbkowaniem (ang. oversampling) uzyskuje się uproszczenia układowe dzięki możliwości eliminacji filtra "antialiasingowego" i układu próbkująco-pamiętającego oraz zredukowania niektórych błędów, w tym szczególnie błędu kwantyzacji. Nadpróbkowanie polega na zastosowaniu częstotliwości próbkowania znacznie (od 8 do 128 razy) większej od wynikającej z reguły Nyquista. Przetwarzanie sygnału z tak dużą częstotliwością mogłoby nastęrczać trudności przy metodach tradycyjnych, a jest dość łatwe przy przetwarzaniu jednobitowym polegającym, ogólnie mówiąc, na przetwarzaniu zamiast kolejnych wartości sygnału tylko ich różnic. Przy takim przetwarzaniu uzyskuje się jednobitową, łatwą do przesłania informację o sygnale przyrostowym. Dla lepszego zrozumienia przetwarzania jednobitowego omówimy dwa jego główne sposoby: delta oraz sigma-delta. Ta ostatnia nazwa

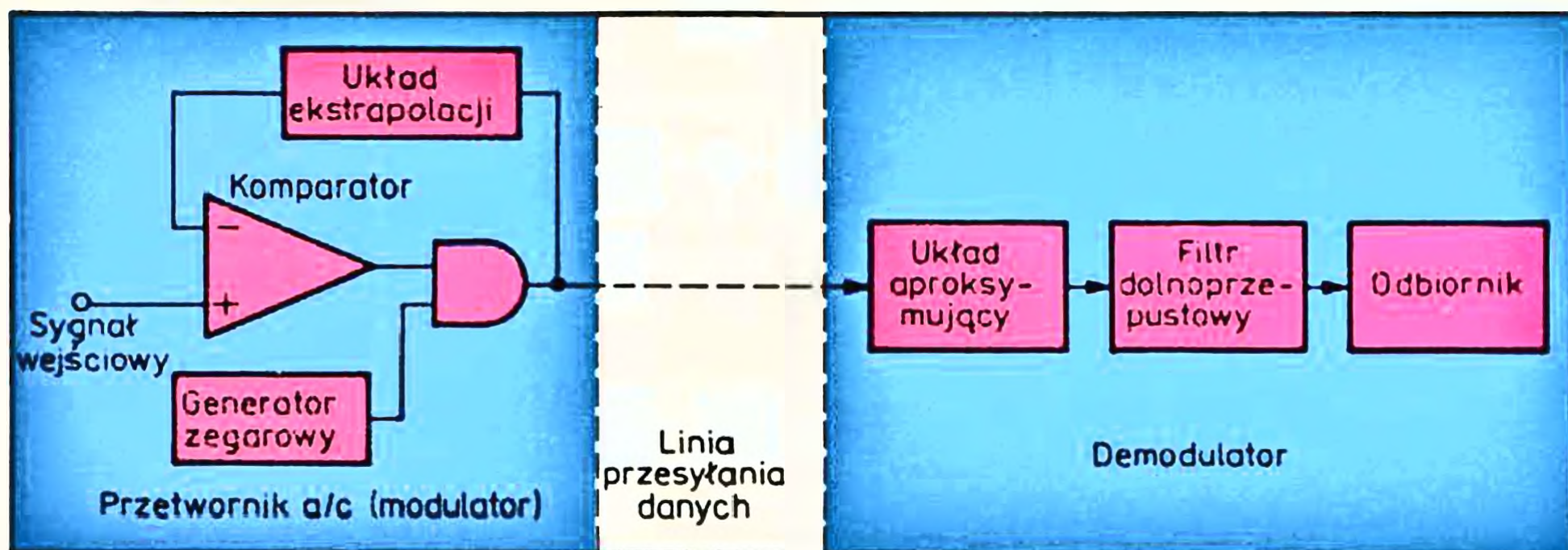
jest zwykle używana jako ogólne określenie przetwarzania jednobitowego z nadpróbkowaniem.

Metoda "delta"

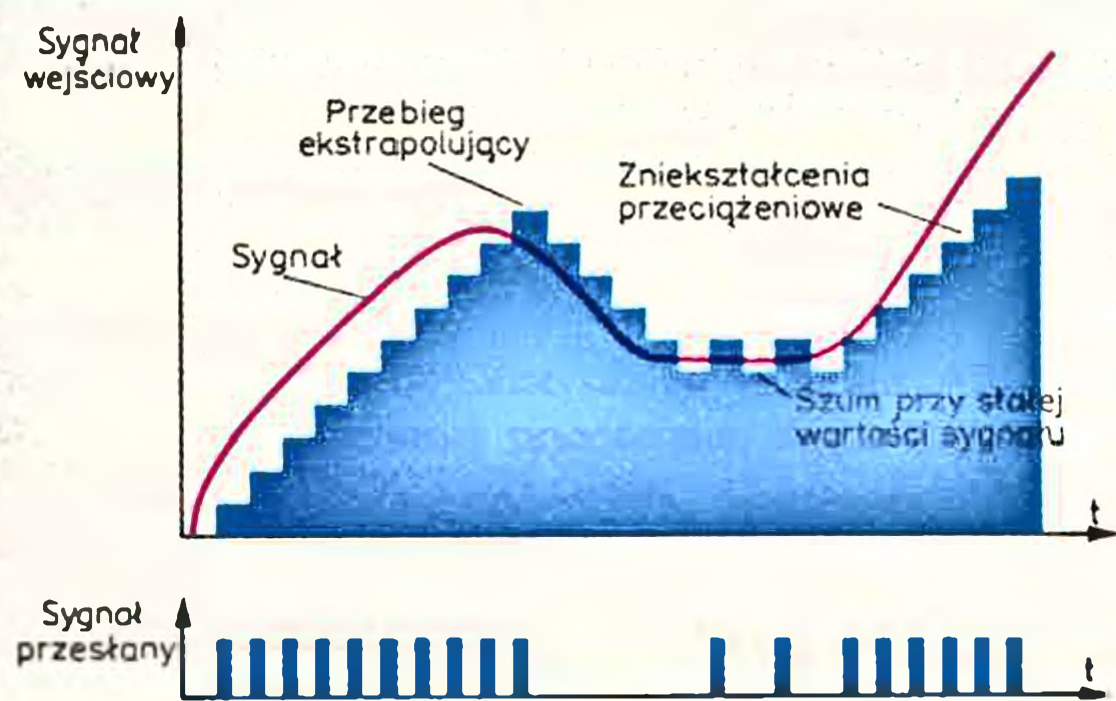
Najstarszym, znanym od dawna sposobem przetwarzania jednobitowego jest modulacja delta, stosowana głównie w telekomunikacji do impulsowej modulacji kodowej DCMP. W celu łatwiejszego wprowadzenia w tę tematykę omówimy najpierw praktyczną realizację modulatora delta, przechodząc później do schematu funkcjonalnego. Przetwornik a/c z modulacją delta (rys. 1) jest urządzeniem dość prostym, składającym się z komparatora, generatora zegarowego, układu ekstrapolującego i nieskomplikowanych układów logicznych. Układ ekstrapolacji określa spodziewaną wartość kolejnej próbki na podstawie uśrednionej wartości próbek poprzednich. Funkcję tego układu może spełniać, np. rejestr rewersyjny połączony z przetwornikiem cyfrowo-analogo-

wym lub – w najprostszym rozwiązaniu – filtr dolnoprzepustowy. Sygnał wejściowy jest porównywany w komparatorze (czyli w jednobitowym przetworniku a/c) z wartością ekstrapolowaną i w zależności od wyniku tego porównania jest lub nie jest wysyłany impuls wyjściowy do linii przesyłania danych. Tak więc **wynik przetwarzania jest informacją jednobitową mającą postać ciągu impulsów o gęstości proporcjonalnej do wartości sygnału** (tzw. strumień bitowy - ang. bit. stream), albo inaczej mówiąc falą prostokątną o modulowanym współczynniku wypełnienia. Po drugiej stronie linii znajduje się prosty dekodery zawierający układ aproksymujący i filtr dolnoprzepustowy.

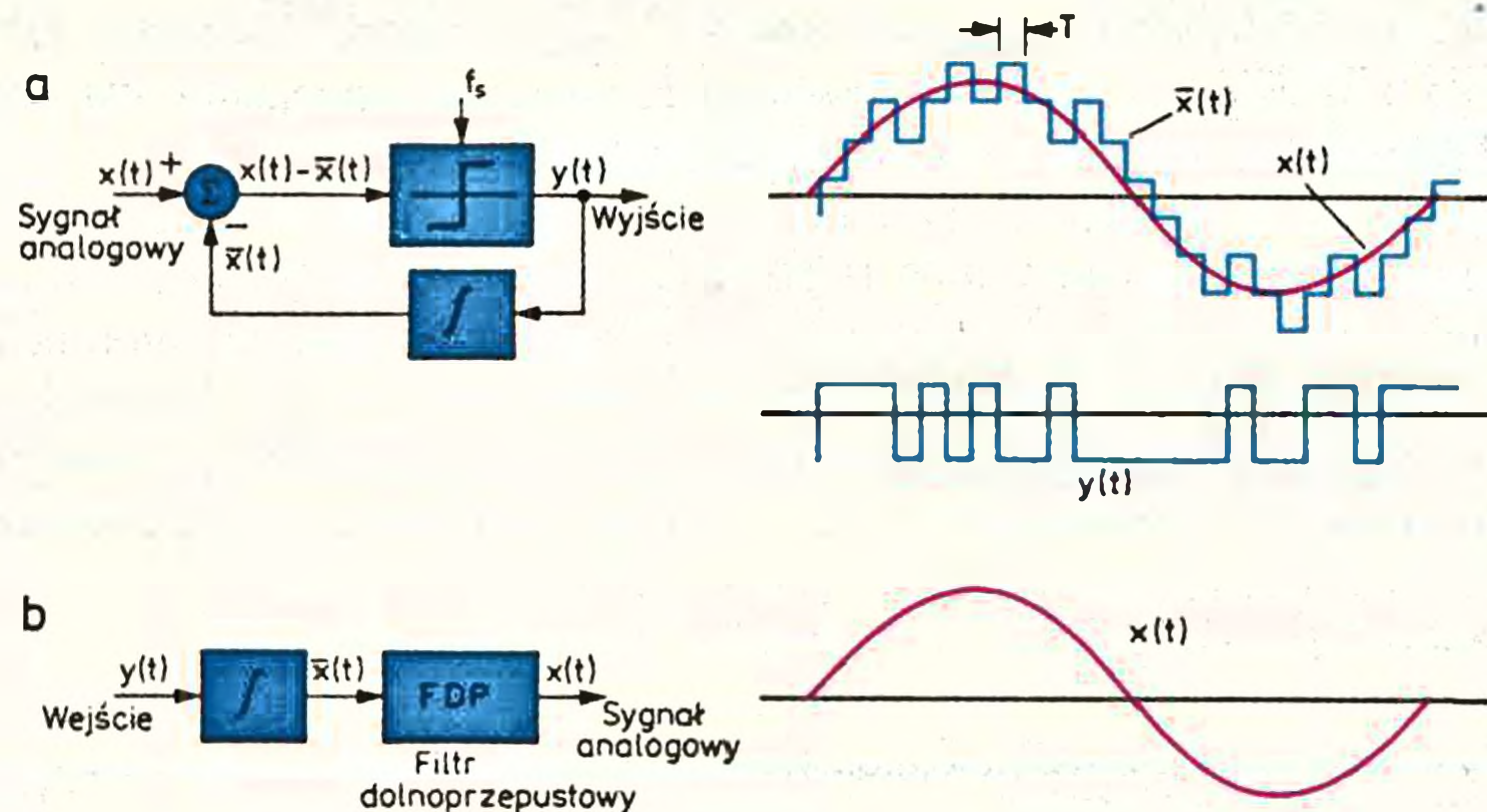
Pracę układu najłatwiej prześledzić na przebiegach sygnałów przedstawionych na rys. 2. Dla uproszczenia przedstawiono przebieg ekstrapolujący jako funkcję schodkową, gdy w rzeczywistości przebieg ten jest na ogół uzyskiwany przez dwukrotne całkowanie tej funkcji. Błędy przetwarzania powstają wówczas, gdy sygnał ma wartość niezmienną w czasie lub zerową, albo gdy zmienia się bardzo szybko. W pierwszym przypadku powstaje szum o wartości międzyszczytowej równej amplitudzie schodka, a w drugim przebieg ekstrapolujący ulega znacznemu opóźnieniu w stosunku do sygnału, dając tzw. zniekształcenie przeciążeniowe. Wartość schodka powinna być dobierana w sposób optymalny, gdyż jej zmniejszanie powoduje wzrost zniekształceń przeciążeniowych, a zwiększanie – wzrost szumu przy sygnale równym zero.



Rys. 1. Przetwarzanie a/c z modulacją delta



Rys. 2. Przebiegi sygnałów w przetworniku (demodulatorze) delta



Rys. 3. Schemat funkcjonalny układu delta
a - modulator (przetwornik a/c), b - demodulator (c/a)

Działanie układu modulacji i demodulacji delta można zilustrować schematem funkcjonalnym przedstawionym na rys. 3. Poszczególne układy przedstawiono na tym schemacie zgodnie z ich funkcjami: układ ekstrapolacji jako element całkujący, a komparator jako jednobitowy kwantyzator z układem różnicowym na wejściu. Demodulator składa się z układu całkującego i filtra dolnoprzepustowego. Przebieg przewidywany $x(t)$ jest porównywany z sygnałem $x(t)$, dając na wyjściu kwantyzatora falę prostokątną $y(t)$ o modulowanym współczynniku wypełnienia. Z fali tej w demodulatorze jest odtwarzany sygnał pierwotny.

Metoda "sigma-delta"

Wadą prostych układów z modulacją delta są zniekształcenia przeciążeniowe występujące przy szybkich zmianach sygnału, co powoduje ograniczenie pasma częstotliwości. Ulepszonym przetwornikiem jednobitowym jest układ sigma-delta powstały z przekształcenia układu delta (rys. 4). W modulatorze delta, jak wynika z rys. 1, były konieczne dwa integratory: jeden do modulacji, drugi do demodulacji. Ponieważ całkowanie jest operacją liniową, więc drugi integrator może, bez wpływu na charakterystykę całego systemu, być przeniesiony przed modulator (rys. 4b). Co więcej, oba integratory mogą być połączone w jeden dając układ przedstawiony na rys. 4c, nazywany modulatorem lub przetwornikiem sigma-delta. Nazwa pochodzi od przetwarzania różnicy (delta) między aktualną wartością sygnału a wartością aproksymowaną, czyli sumą (sigma) wielu poprzednich różnic. W odróżnieniu od modulatora delta układ sigma-delta jest mało wrażliwy na obciążenia przeciążeniowe przy szybkich zmianach sygnału. Ta zaleta wynika z faktu, że sygnał wejściowy jest przed kwantyzacją całkowany.

Praktyczne realizacje przetworników a/c

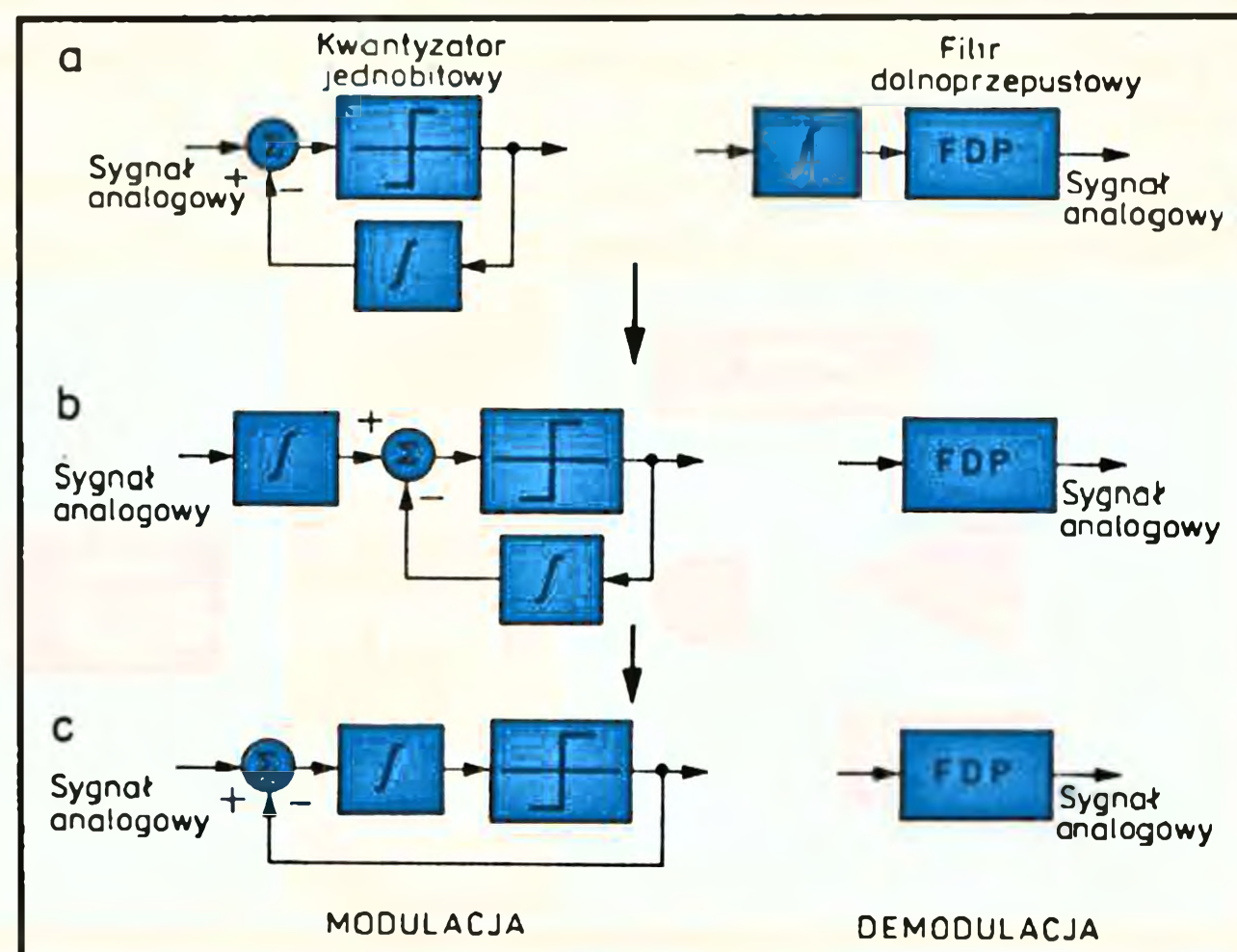
(modulatorów) sigma-delta są układami opartymi zwykle na zasadzie integratora z równoważeniem ładunku. Szczegółowy opis takiego układu można znaleźć np. w [1]. Tu się ograniczymy do przedstawienia na rys. 5 najprostszego schematu układu sigma-delta. Wejściowy sygnał analogowy jest przy użyciu dwóch rezystorów sumowany z sygnałem wyjściowym i poddawany filtracji w filtrze dolnoprzepustowym FDP. Poziom logiczny na wyjściu komparatora zależy od znaku sygnału po filtracji. Przerzutnik sterowany impulsami próbkującymi wytwarza na wyjściu falę prostokątną o współczynniku wypełnienia proporcjonalnym do wartości przetwarzanego sygnału analogowego.

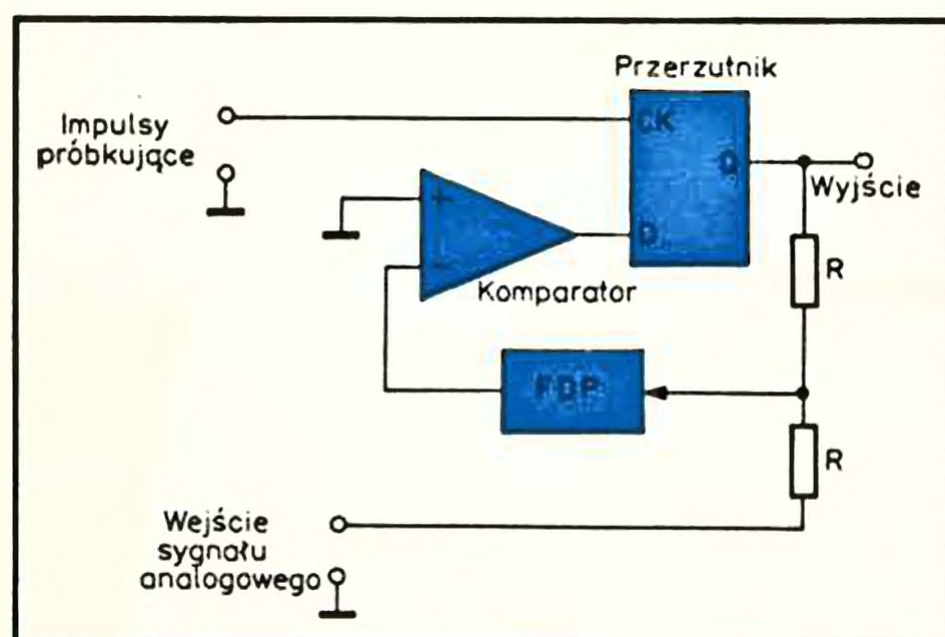
Zalety techniki sigma-delta z nadpróbkowaniem

W systemach sigma-delta z nadpróbkowaniem stosuje się przetworniki a/c o małej rozdzielczości (jednobitowej), lecz o dużej częstotliwości próbkowania, znacznie przekraczającej częstotliwość Nyquista. O ile w klasycznych przetwornikach (z częstotliwością próbkowania równą lub zbliżoną do częstotliwości Nyquista) każde przetworze-

nie odpowiada pełnej rozdzielczości, to przy nadpróbkowaniu pojedyncze przetworzenie ma dokładność tylko przybliżoną. Ponieważ jednak przetworzenia odbywają się bardzo często, po odpowiedniej filtracji i obróbce wyników uzyskuje się doskonałą rozdzielczość – nawet do 20 bitów, czyli znacznie lepszą niż w przetwornikach tradycyjnych. Strumień danych z przetwornika jednobitowego ma dużą częstotliwość i w celu ułatwienia dalszej obróbki jest poddawany procesowi redukcji częstotliwości próbkowania (ang. decimation). Ta czynność jest stosunkowo prosta, gdyż podobnie jak wiele innych funkcji w systemie sigma-delta może być wykonywana techniką cyfrową. Zastosowanie prostego przetwarzania jednobitowego powoduje, że w systemach sigma-delta część analogowa jest niewielka, a większość funkcji układu, a szczególnie filtracje, jest przerzucona na układy cyfrowe. Około 90% struktury monolitycznej sigma-delta zajmują układy cyfrowe, dzięki czemu może być łatwo zrealizowana z bardzo wielkim stopniem scalenia VLSI. Jest to główną zaletą techniki sigma-delta. Inną korzystną cechą jest możliwość kształtowania charakterystyki szumów z przesuwaniem ich w obszar

Rys. 4. Przekształcenie modulatora/demodulatora delta w sigma-delta
a - układ delta,
b - układ z dwoma integratorami,
c - układ sigma-delta





Rys. 5. Schemat prostego modulatora sigma-delta

częstotliwości ponadakustycznych oraz, jak już powiedziano, znacznie łagodniejsze wymagania ma filtr wejściowy ("antialiasingowy").

To wszystko, co powiedziano tu o technice sigma-delta, dotyczy głównie przetwarzania a/c, ale ma też zastosowanie w systemach przetwarzania c/a – w odtwarzaczach płyt kompaktowych. Dzięki kształtowaniu charakterystyki szumów i łatwiejszej filtracji cyfrowej jakość dźwięku uzyskiwana w odtwarzaczach wykorzystujących tę nową technikę, o których pisaliśmy w nrze 6/1992 [7], jest znacznie lepsza niż w typowych układach starszego typu. Temat przetwarzania jednobitowego i nadpróbkowania jest bardzo szeroki i z pewnością powrócimy jeszcze do niego na łamach naszego pisma.

L I T E R A T U R A

- [1] Kulka Z., Nadachowski M., Libura A.: Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe. WKŁ, Warszawa 1987
- [2] Margan E.: Single-bit, oversampling A-to-D converter. Electronics & Wireless World, Aug. 1989, str. 814
- [3] Goodenough F.: 18-bit audio DACs cut PCB space dramatically. Electronic Design, nr 16, 1990, str. 39
- [4] Agnello A.: 16-bit conversion paves the way to high-quality audio for PCs. Electronic Design, nr 14, 1990, str. 51
- [5] Goodenough F.: Digital audio drives 14-to-20 bit DAC designs. Electronic Design, nr 8, 1992, str. 55
- [6] Park S.: Principles of sigma-delta modulation for analog-to-digital converters. Motorola Inc., 1990
- [7] Rudnicki C.: Technika 1-bitowa w odtwarzaczach płyt kompaktowych. "Re" nr 6/1992 □