

7. Zapis cyfrowy i studyjna technologia nagrań

Rozważając parametry toru zapisu albo transmisji, który musi być zastosowany aby wiernie przenieść sygnał foniczny, trzeba wziąć pod uwagę w pierwszej kolejności charakteryzujący ten tor stosunek sygnału do szumu i porównać go z zakresem dynamicznym źródeł sygnału akustycznego. Zakres dynamiczny mowy i muzyki będzie określony poprzez stosunek poziomu mocy akustycznej (albo ciśnienia akustycznego), odpowiadający dźwiękom o maksymalnej głośności, do poziomu mocy odpowiadającego dźwiękom najcichszym. Pomiar stosunku sygnału do szumu toru fonicznego w warunkach technicznych można przeprowadzić (o ile nie jest to tor z kodowaniem perceptualnym), pobudzając tor foniczny za pomocą generatora funkcji harmoniczej. Napięcie odpowiadające maksymalnemu poziomowi wysterowania można zmierzyć, zbliżając się maksymalnie do poziomu obcinania (ang. *hard clipping*), które wynika z osiągnięcia przez konwerter analogowo-cyfrowy maksymalnego zakresu przetwarzania. Pomiar poziomu minimalnego może jednak prowadzić do niejasności, gdyż wynik pomiaru będzie zależał od charakteru szumów i zakłóceń, występujących w torze oraz od rodzaju użytego miernika (patrz Tab. 7-1). Najczęściej przyjmuje się, że pomiar taki powinien być dokonywany za pomocą miernika szczytowo-impulsowego.

Tab. 7-1. Porównanie wskazań mierników napięcia

Typ miernika/charakter szumu w torze	Szum biały	Imp. 1:10	10 ms /5 kHz
Wartości średniej	20%	10%	wynik zależny od stałej czasowej
Wartości skutecznej	30%	32%	wynik zależny od stałej czasowej
Wartości quasi-szczytowej	100%	100%	48%
Szczytowo-impulsowy	100%	100%	60%

Objaśnienia:

- Imp. 1:10 – zakłócenia impulsowe mają charakter fali prostokątnej o wypełnieniu 1:10
 10 ms/5 kHz – zakłócenia o charakterze impulsów o czasie trwania 10 ms i wypełnieniu przebiegiem harmonicznym o częstotliwości 5 kHz

Na trudności i niejednoznaczności interpretacyjne można napotkać także, próbując wyznaczyć zakresy dynamiki rzeczywistego sygnału

akustycznego, który ma zostać zarejestrowany. Mierząc dynamikę sygnałów akustycznych w rzeczywistych wnętrzach, trzeba wziąć pod uwagę szum tła, który rzadko jest niższy od 35 dB_A oraz szum własny mikrofonów, który jest na poziomie 30 dB_A (patrz Tab. 7-2, w której zgromadzono parametry najlepszych mikrofonów studyjnych). Biorąc pod uwagę te oba czynniki, wyznaczono rzeczywiste zakresy dynamiczne dla różnego typu sygnałów fonicznych (patrz Tab. 7-3). Zakresom tym odpowiadają minimalne rozdzielczości konwersji, które również scharakteryzowano w Tab. 7-3.

Tab. 7-2. Charakterystyki przykładowych mikrofonów

Typ	Zasada działania	Czułość	Impedancja	Szum własny
C 34	pojemnościowy	-47 dB/Pa	130Ω	30,3 dB
MZK 431	dynamiczny	-57 dB/Pa	270Ω	32,1 dB
PGS	dynamiczny	-55 dB/Pa	300Ω	30,4 dB

Tab. 7-3. Rzeczywiste wartości dynamiki sygnałów fonicznych

Kategoria	Dyna- mika	przy uwzgl. szumu mikrofonu	przy uwzgl. szumów tłowych	Liczba bitów konwertera a/c
Mowa	98 dB	68 dB	65 dB	12
Słuchowisko	92 dB	62 dB	59 dB	11
Recital muzyczny	111 dB	81 dB	78 dB	13
Orkiestra symf.	113 dB	83 dB	80 dB	14
Muzyka pop	129 dB	99 dB	96 dB	16

W przypadku zapisu analogowego, najpoważniejszym ograniczeniem możliwej do zarejestrowania dynamiki są właściwości fizyczne taśmy (patrz Tab. 7-4). Znaczną poprawę w tym zakresie można osiągnąć, stosując dynamiczne układy redukcji szumów, czyli komandery (patrz Tab. 7-5). Wadą układów redukcji szumów jest jednak zniekształcanie charakterystyki fazowej, co prowadzi do pogorszenia czytelności obrazu stereofonicznego oraz zniekształcania szybkich przebiegów transjentowych. Słabą stroną analogowej techniki rejestracji sygnałów jest ponadto pogarszanie się dynamiki i wzrost zniekształceń przy kopiowaniu oraz brak możliwości zabezpieczenia (protekcji) sygnału przy jego rejestracji i transmisji. Z tych względów należy się spodziewać całkowitego wyparcia analogowej techniki fonicznej przez technikę cyfrową. Wybranym zagadnieniom cyfrowej rejestracji i transmisji sygnałów będą poświęcone kolejne paragrafy niniejszego rozdziału.

Tab. 7-4. Przykładowe charakterystyki taśm magnetofonowych.

Typ taśmy	Przesterowałość (h=3%)	zniekształcenie w zakresie liniowym	Szum -miernik szczytowo impulsowy	Przesłuch	Szum modulacji	Zakres dynamiki
AMPEX 456	+12,5 dB	0,1 %	-52 dB	-50,5 dB	-62 dB	61 dB
EMI 862	+11 dB	0,3 %	-51 dB	-57,5 dB	-56 dB	58 dB
3M 256	+9,5 dB	0,4 %	-52,5 dB	-58,5 dB	-58 dB	60 dB

Tab. 7-5. Parametry systemów dynamicznej redukcji szumów

Typ	Maks. sygnał wyj.	Zakres częstot.	Współcz. red. szumu	Zniekształcenia	Opóźnienie	Liczba pasm częstot.
dbx	+18 dB	30 - 15 k	30 dB	<0,1%	16μs	1
Dolby A	+19 dB	30 - 20 k	11 dB	<0,2%	24μs	4
TelCom	+18 dB	30 - 20 k	25 dB	<0,2%	28μs	4
Dolby SR	+21 dB	20 - 20 k	35 dB	<0,2%	32μs	16

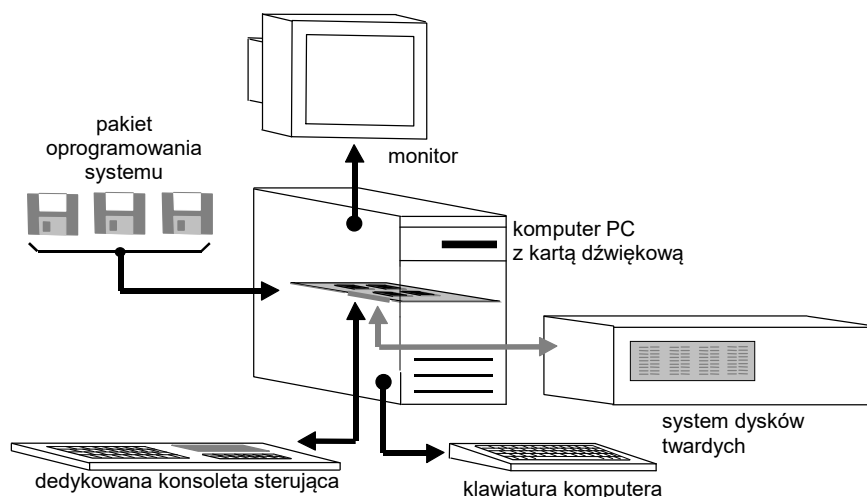
7. 1 Cyfrowy zapis sygnałów fonicznych

7.1.1 Zapis magnetyczny

Pomimo rozwoju zapisu dyskowego, zapis na taśmie magnetycznej jest wciąż szeroko stosowany w technice fonicznej. Występuje znaczna różnorodność typów i rodzajów magnetofonów cyfrowych i związanych z nimi formatów zapisu. Obecnie użytkowanych jest wiele są typów magnetofonów cyfrowych, m.in:

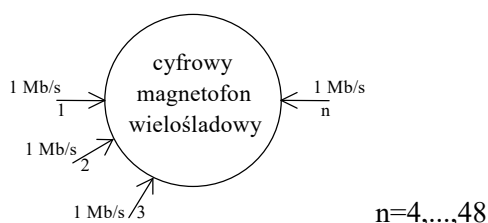
- R-DAT (magnetofon stereofoniczny z ruchomymi głowicami - zapis helikalny)
- ADAT, DA-88 (video 8 mm) - formaty wielośladowe na kasetach S-VHS i Video 8 mm (zapis helikalny, ruchome głowice)
- PD, DASH (formaty studyjne, rejestracja wielośladowa, głowica nieruchoma)
- DCC (format do użytku powszechnego - głowica nieruchoma) i inne.

Osobną grupę urządzeń do magnetycznej rejestracji dźwięku stanowią wielośladowe rejestratory dźwięku na twardych dyskach magnetycznych komputerów. Komputerowe systemy wielośladowej rejestracji dźwięku są zespołem programowych narzędzi współpracujących z kartą dźwiękową zainstalowaną w komputerze. Komputer pełni funkcję jednostki sterującej i jest częścią sprzętowego interfejsu użytkownika. Systemy tego typu wykorzystują lokalny dysk twardy komputera lub dysk dodatkowy dołączany do komputera i sterowany przez standardowy kontroler. Karty rozszerzeń wchodzące w skład systemu zawierają zwykle blok konwerterów A/C i C/A, blok napięciowych wzmacniaczy analogowych i blok cyfrowej obróbki sygnału. W blokach obróbki cyfrowej najczęściej wykorzystywane są procesory sygnałowe (jeden lub nawet kilka procesorów). Wykorzystanie procesorów sygnałowych dużej mocy pozwala na pracę systemu w czasie rzeczywistym. Przykładowa konfiguracja komputerowego systemu wielośladowej rejestracji dźwięku przedstawiona została na rysunku 7-1. Zapis na dysku magnetycznym wykorzystuje podobną zasadę do znanego wcześniej zapisu na taśmie magnetycznej.



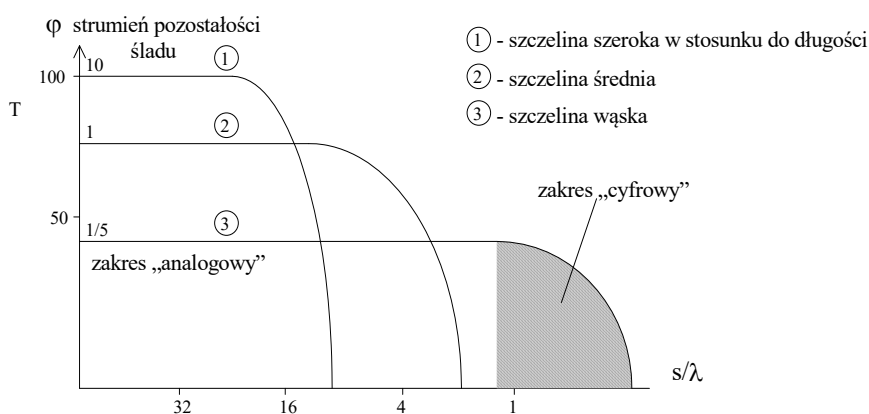
Rys. 7-1. Przykładowa konfiguracja sprzętu w systemie wielośladowej rejestracji dźwięku w pamięciach dyskowych komputera

Przykładem najbardziej zaawansowanego magnetofonu taśmowego jest magnetofon wielośladowy pracujący w formacie z nieruchomą głowicą. Jak wynika z rys. 7-2, urządzenie to jest zdolne do zarejestrowania w czasie rzeczywistym strumienia danych o łącznej przepływności wynoszącej nawet kilkadziesiąt Mb/s. Aby było to możliwe, niezbędne jest stosowanie zapisu o wysokiej gęstości.



Rys. 7-2. Wielośladowy magnetofon cyfrowy jako odbiornik n strumieni binarnych (śladów)

W cyfrowym zapisie magnetycznym o wysokiej gęstości wykorzystuje się inny zakres charakterystyki taśmy magnetycznej, niż w technice analogowej (patrz rys. 7-3).



Rys. 7-3. Strumień pozostałości magnetycznej śladu zapisu ϕ w zależności od stosunku s/λ , gdzie s – jest szerokością szczeliny, λ - reprezentuje długość fali

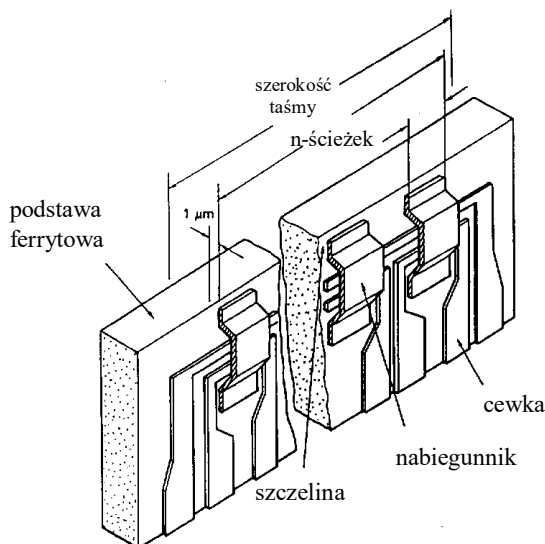
Jak wynika z rys. 7-3, w zapisie cyfrowym stosuje się rejestrację przy użyciu głowicy o wąskiej szczelinie. Szerokość szczeliny jest porównywalna z długością zapisywanej fali. Dla sygnałów o częstotliwościach rzędu MHz, które są zapisywane w przypadku zastosowania głowic wirujących, długość fali jest bardzo mała. Wymaga to zastosowania głowic wykonanych techniką cienkowarstwową (patrz rys. 7-4). Głowice tego typu mogą być także wykonane jako wielośladowe poprzez umieszczenie poszczególnych sekcji jedna nad drugą (konstrukcja typu *sandwich*). W przypadku, gdy magnetofon jest wielośladowy i pracuje w formacie zapisu z nieruchomą głowicą, w celu zmniejszenia przepływności binarnej stosuje się dodatkowo demultipleksację, czyli podzielenie strumienia na kilka mniejszych strumieni binarnych. W takim przypadku głowica może zawierać nawet do kilkuset

sekcji wykonanych techniką cienkowarstwową z napyłaniem cewek indukcyjnych (rys. 7-4).

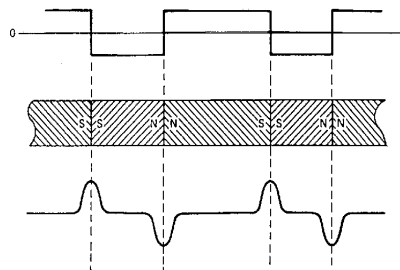
Główce magnetyczne dzielą się na:

- indukcyjne cienkowarstwowe (scalone - podłoże ferrytowe z napyłoną cewką, w podłożu ferrytowym jest szczelina, można łączyć tego typu elementy w wielowarstwowy układ)
- czujniki Halla (hallotrony)
- czujniki magnetorezystancyjne

Powierzchnia śladu magnetycznego, zapisanego głowicą o wąskim śladzie i przy stosunkowo niewielkiej prędkości przesuwu taśmy jest bardzo mała. Zapewnia to zapis o dużej gęstości, aby jednak strumień pozostałości magnetycznej nie był zbyt słaby, wykorzystuje się wgłębne magnesowanie taśmy. Strumień pozostałości magnetycznej zależy od objętości namagnesowanego nośnika, zatem magnesując taśmę w głąb można go utrzymać na odpowiednio wysokim poziomie. Dobierając parametry zapisu należy poszukać kompromisu, gdyż szczelina musi być jednocześnie wąska, aby zapewnić wysoką gęstość zapisu i jednocześnie odpowiednio szeroka, aby zapewnić odpowiednio głębokie wnikanie pola magnetycznego w taśmę. Kompromis sprowadza się zatem do dokonania wyboru między korzystnymi parametrami energetycznymi zapisu i jego korzystnymi charakterystykami widmowymi.

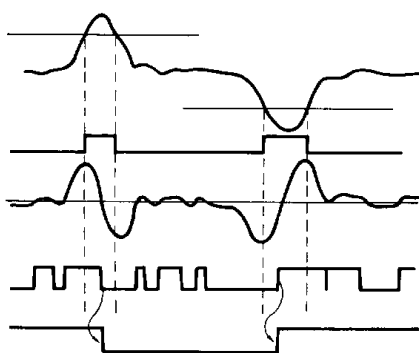


Rys. 7-4. Konstrukcja wielosekcyjnej głowicy magnetofonowej, wykonanej techniką cienkowarstwową

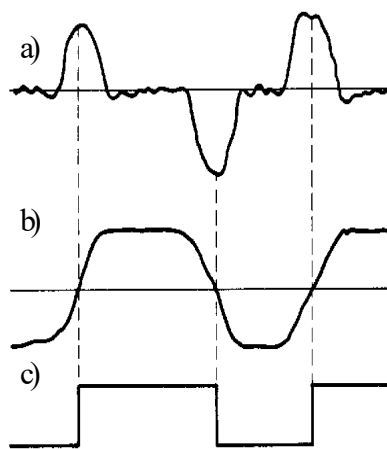


Rys. 7-5. Sygnały zapisu i odczytu magnetycznego

odczytującej może być jednak zaindukowany tylko sygnał zmian kierunku pola magnetycznego (patrz rys. 7-5). Ponadto, na skutek szeregu zjawisk, które wynikają m.in. ze skończonej szerokości szczeliny głowicy i strat energii pola magnetycznego, odczytywany sygnał jest przebiegiem silnie zniekształconym (patrz rys. 7-7a). Stosowane są zatem dwie główne metody regeneracji odczytywanego sygnału: metoda bramkowania (rys. 7-6) oraz metoda całkowania (rys. 7-7b,c).

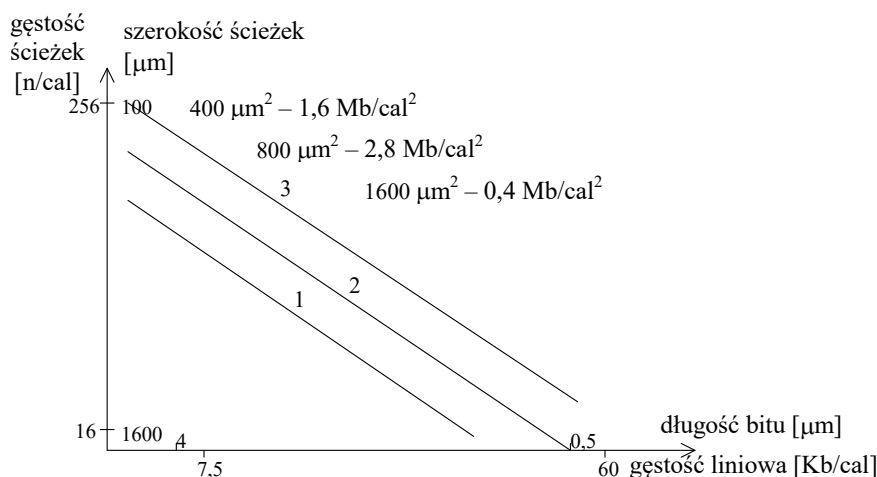


Rys. 7-7. Metoda regeneracji sygnału odczytu poprzez jego bramkowanie. Od góry: obcinanie przebiegu odczytu, poniżej kolejno: przebieg impulsowy odpowiadający szczytom sygnału odczytu; różniczkowany przebieg wejściowy; obcięty przebieg różniczkowany; zbocza impulsów odtwarzane w regionie szczytów sygnału odczytu, w punktach, odpowiadających zerom sygnału różniczkowanego



Rys. 7-6. Regeneracja sygnału odczytu uzyskiwanego z głowicy magnetofonowej, od góry: zniekształcony sygnał na zaciskach głowicy odczytującej; sygnał po scałkowaniu; scałkowany sygnał po obcięciu w układzie progowym

Sygnał binarny jest zapisywany na taśmie w wyniku zmiany kierunku prądu w cewce głowicy. Zmiana kierunku przepływu prądu powoduje odwrócenie kierunku wytwarzanego pola magnetycznego. Wynikałoby stąd, że odczytywany sygnał powinien być przebiegiem prostokątnym. W głowicy



Rys. 7-8. Izolinie gęstości zapisu i usytuowanie gęstości zapisu wybranych magnetofonów wielośladowych

Objaśnienia:

gęstość liniowa - liczba prążków magnetycznych przypadająca na jednostkę długości taśmy

1 - magnetofon Mitsubishi

2 - magnetofon Mitsubishi TPX MX 180

3 - magnetofon TP MX 800

Na rys. 7-8 pokazano płaszczyznę powierzchniowej gęstości zapisu wraz usytuowaniem wybranych typów magnetofonów względem izolinii gęstości zapisu. Typowy wielośladowy magnetofon cyfrowy ma następujące parametry:

- taśma 1 cal
- 32 ślady PCM
- szerokość śladu 0,526 mm
- prędkość 72,6 cm/s

Przykładowy magnetofon o określonych powyżej parametrach odznacza się o połowę mniejszym zużyciem taśmy na godzinny zapis od swego odpowiednika analogowego, zapis w przypadku magnetofonu, którego przykład podano zajmuje bowiem $72,6 \cdot 0,526 = 400 \text{ mm}^2/\text{śląd/s}$.

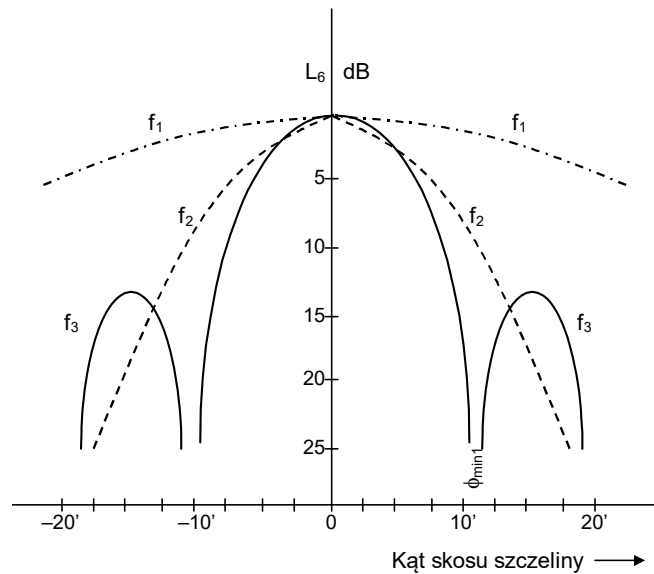
W przypadku zapisu cyfrowego, szczególnie istotne jest bardzo dokładne ustawienie kąta pochylenia głowicy w taki sposób, aby szczelina była ustawiona dokładnie prostopadle do śladu zapisu. Nawet dla stosunkowo małych częstotliwości można zaobserwować bardzo silny wpływ skosu szczeliny na poziom napięcia indukowanego w głowicy (patrz rys. 7-9). Strumień magnetyczny, wnikający w szczelinę niedokładnie ustawionej głowicy maleje zgodnie z następującą zależnością, określającą straty indukowanego napięcia η_1 :

$$\eta_1 = \frac{\sin \frac{\pi d \operatorname{tg} \alpha}{\lambda}}{\frac{\pi d \operatorname{tg} \alpha}{\lambda}} \quad (7-1)$$

gdzie: α - kąt skosu szczeliny względem kierunku prostopadłego do śladu
 λ - długość fali
 d - długość szczeliny (szerokość śladu zapisu)

Ponieważ kąt α jest z zasady bardzo mały, zależność (7-1) przyjmuje postać:

$$\eta_1 = \frac{\sin \frac{\pi d \alpha}{\lambda}}{\frac{\pi d \alpha}{\lambda}} = \operatorname{sinc} \pi d \alpha \quad (7-2)$$



Rys. 7-9. Wpływ kąta skosu głowicy na poziom indukowanego napięcia. Zapisywane częstotliwości spełniają warunek: $f_3 > f_2 > f_1$

Charakter obwiedni widma sygnału w postaci funkcji $\operatorname{sinc} x$ jest łatwy do uzasadnienia. Jest to szczególnie widoczne na przykładzie odczytu śladu

magnetycznego, na którym zapisany jest bardzo krótki impuls. W tym przypadku skos głowicy spowoduje, że ślad magnetyczny odpowiadający zapisanemu impulsowi będzie znajdował się w obrębie szczeliny dłużej, niż powinien. Spowoduje to podobny efekt, jak przetrzymywanie próbki sygnału w pamięci układu próbkująco-pamiętającego (patrz rys. 2-3), a zatem efektem będzie splot odczytywanego sygnału z przebiegiem impulsowym o niezerowym czasie trwania. Zgodnie z wynikami płynącymi z rozważań w roz. 2, sytuacji tej odpowiada pojawienie się obwiedni typu sinc x po stronie widmowej.

Skończona (niezerowa) szerokość szczeliny wpływa na przedłużenie czasu odczytu impulsów, gdyż zapisany fragment nośnika znajduje się przez pewien skończony czas w strefie czułości głowicy, tzn. przesuwa się przed szczeliną o niezerowej szerokości. Z tego powodu, jest rzeczą zrozumiałą, że powstające z tej przyczyny zniekształcenia widma również mają charakter funkcji sinc x.. Wpływ (niezerowej) szerokości szczeliny objawia się stratami η_2 , które wynikają z zależności:

$$\eta_2 = \frac{\sin \frac{\pi s}{\lambda}}{\frac{\pi s}{\lambda}} \quad (7-3)$$

gdzie: s – szerokość szczeliny

W sytuacji, gdy nośnik nie przylega idealnie do czoła głowicy, powstają straty η_3 , nazywane stratami odsunięcia. Wpływ tych strat na wartość indukowanego napięcia określa następująca zależność:

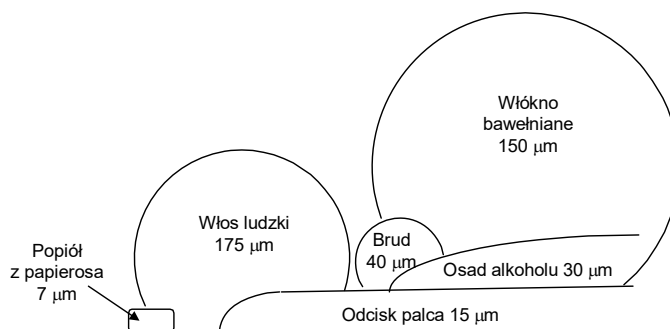
$$\eta_3 = e^{-2\pi a / \lambda} \quad (7-4)$$

gdzie: a – odległość nośnika od czoła głowicy

W przypadku zapisu cyfrowego, który odbywa się w sytuacji, gdy długość zapisywanej fali λ jest bardzo mała, straty te są szczególnie dolegliwe, nawet jeżeli pomiędzy czołem głowicy a nośnikiem pojawią się niewielkie drobiny kurzu (patrz rys. 7-10).

Inną przyczyną zniekształceń obwiedni widma jest wspomniana wcześniej zasada magnesowania wgłębnego taśmy, wykorzystywana w zapisie cyfrowym. Strumień pozostałości magnetycznej głębiej położonych domen magnetycznych odczytywany jest ze stratami, które powodują, że widmo napięcia indukowanego w głowicy jest produktem filtracji górnoprzepustowej o nachyleniu 6 dB/okt. Występowanie różnego rodzaju

strat, które opisano powyżej powoduje, że proces zapisu odpowiada złożonej filtracji, której charakter ilustruje rys. 7-11.



Rys. 7-10. Porównanie wielkości różnego typu zanieczyszczeń w stosunku do śladu zapisu pojedynczego bitu, który odpowiada długości 1 µm

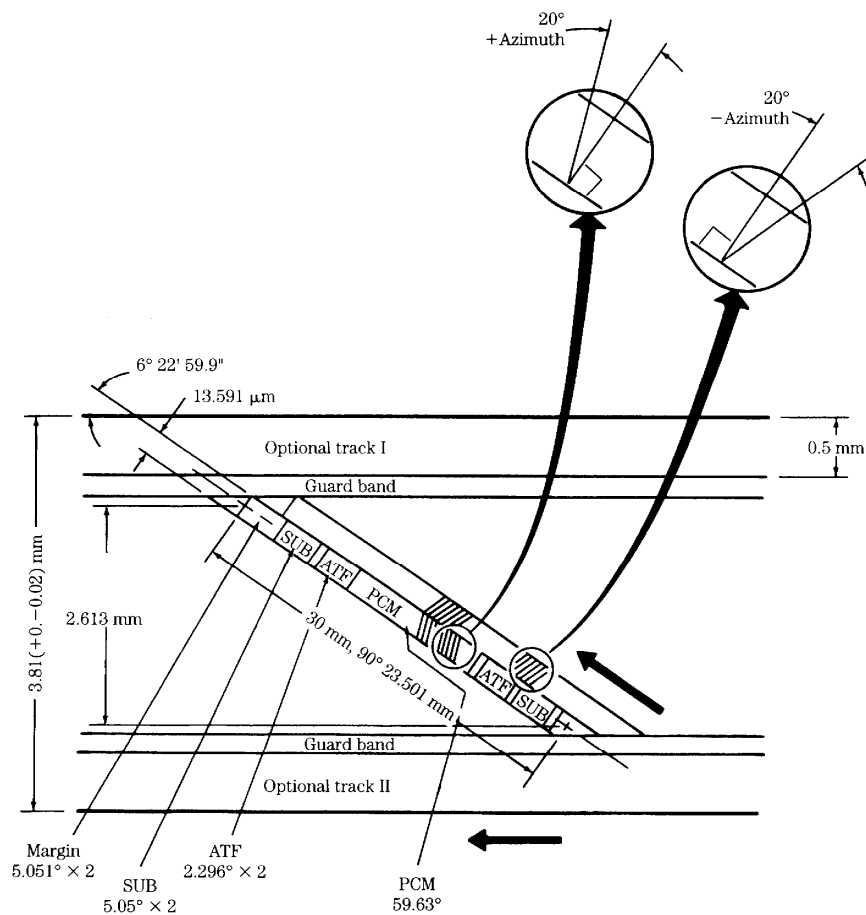


Rys. 7-11. Główne czynniki wpływające na ograniczenie pasma zapisu magnetycznego

w niektórych formatach zapisu sąsiednie ścieżki nagrywa się celowo pod różnym kątem (patrz rys. 7-12).

W niniejszej pracy brak miejsca, aby można było dokonać systematycznego przeglądu formatów zapisu i towarzyszącego im złożonego sposobu kodowania informacji. Niezbędne jest jednak choćby skrótowe omówienie przykładowego formatu zapisu magnetycznego z nieruchomą głowicą. Wybrano w tym celu format DCC, który jest propozycją cyfrowej wersji formatu kompaktowych kaset fonicznych firmy Philips.

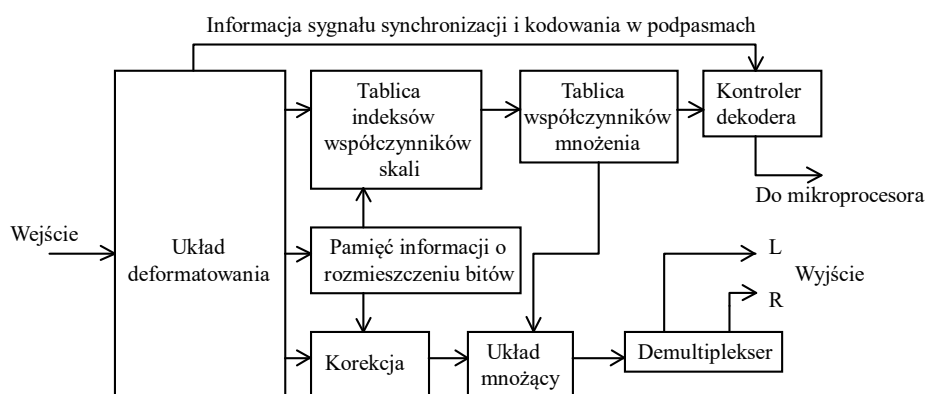
Wspomniane wcześniej straty strumienia zapisu, które są powodowane przez nie idealnie prostopadłe ustawienie szczeliny głowicy odczytującej w stosunku do śladu zapisu są także wykorzystywane celowo w zapisie cyfrowym. Spadek poziomy odczytywanego napięcia przy odczytywaniu śladu umieszczonego pod nieco innym kątem, niż właściwy ślad, odpowiadający ścieżce, która ma być aktualnie odczytywana, może być sygnałem, że głowica nie jest umieszczona nad właściwą ścieżką. Aby wykorzystać tę możliwość,



Rys. 7-12. Format zapisu magnetofonu z wirującą głowicą (R-DAT, SONY). Oznaczenia: Azimuth – zapis śladu pod określonym kątem; Guard band – ścieżka ochronna; Optional track – ścieżka do wykorzystania opcjonalnego; ATF (Auto Track Following) – informacja (częstotliwość powtarzania bitów) umożliwiająca naprowadzanie głowicy nad ścieżkę z zapisem; SUB – słowa subkodowe (zapis informacji dodatkowej), PCM – zakodowane protekcyjnie i kanałowo ciągi próbek sygnału fonicznego; Margin – słowo kodowe, sygnalizujące koniec ścieżki helikalnej

Wraz z pojawieniem się systemu kodowania PASC (patrz par. 5.5.3) powstał również nowy standard zapisu danych na kasie DCC (*ang. Digital Compact Cassette*). Osem głównych ścieżek danych zawiera: dane PASC, informacje służące do korygowania błędów i inne informacje systemowe. Pomocnicza, dziewiąta ścieżka zawiera głównie informacje synchronizujące oraz informacje dotyczące czasu zapisu ścieżki, pozwalające na wprowadzenie

znaków startu, stopu i przewijania. Informacje te mogą być używane dla celów montażowych, ponieważ znaki (markery) również wchodzi w skład strumienia danych (bitów użytkownika) sygnału wyjściowego, zgodnego z normą ISO 958. Pojedyncza ramka na taśmie zawiera: 12288 bajtów sygnału fonicznego i parzystości, 8192 bajty danych PASC i 128 bajtów informacji systemowych. Dane PASC są rozrzucone po całej ramce w sposób przypominający wzór szachownicy, co zwiększa odporność systemu na krótkotrwałe zaniki sygnału (*drop-outs*). Pozwala to na korygowanie zaników sygnału na taśmie spowodowanych skazami magnetycznymi o średnicy do 1,45 mm. Pozostałe 3968 bajtów stanowi nadmiarową informację służącą do detekcji i korygowania błędów. Do protekcji danych fonicznych stosowane są następujące sposoby kodowania: kod krzyżowy z przeplataniem Reed-Salomona CIRS (ang. *Cross-Interleaved Reed-Solomon*) typu (24, 20, 5) lub C2RS (32, 26, 7), do ochrony danych pomocniczych jest przeznaczony kod RS (24, 18, 7). Procedura przeplatania zabezpiecza dane główne przed rozrzuconymi błędami przypadkowymi (ang. *random errors*) i grupowymi (ang. *burst errors*). Dwie warstwy danych CIRS są dzielone i zapisywane na 8 głównych ścieżkach.



Rys. 7-13. Uproszczony schemat kodowania zapisu w magnetofonie DCC

Interfejs foniczny składa się z konwerterów a/c i c/a. Na wejściach cyfrowych możliwe są trzy wartości częstotliwości próbkowania (48; 44,1; 32 kHz). Dla wejścia analogowego dostępna jest tylko częstotliwość 44,1 kHz. Częstotliwość próbkowania 44,1 kHz obowiązuje w kasetach nagranych fabrycznie. Podczas zapisu szerokopasmowe cyfrowe dane foniczne są analizowane przez 32 filtry podpasmowe o jednakowej szerokości pasma (750 Hz). Takiego podziału dokonuje się w celu łatwiejszego określenia progu słyszalności (patrz roz. 5). Częstotliwość próbkowania w podpasmach jest więc zredukowana do 1/32 wejściowej częstotliwości próbkowania. Właściwe zaprojektowanie banku filtrów gwarantuje później dokładną (lub zbliżoną do dokładnej) rekonstrukcję

sygnału wejściowego. Aby uzyskać bardziej dokładną reprezentację widmową sygnału, dodatkowo stosuje się 512-punktową szybką transformację Fouriera FFT. Zgodnie z zasadami psychoakustyki dokonuje się estymacji efektów maskowania i uzyskane w ten sposób wyniki służą do kontroli bitów alokacyjnych. Informacja w 32-ch przetworzonych podpasmach jest zamieniana na kod PCM i zostaje połączona we wspólną reprezentację kanału stereofonicznego.

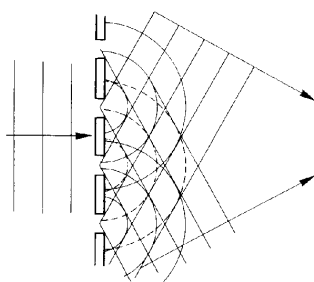
Podstawowe dane techniczne formatu DCC

Zakres dynamiki:	> 105 dB
THD (wraz z szumem):	> 95 dB
W&F (drżenie i kołysanie dźwięku):	zależne od stabilności generatora kwarcowego
Prędkość przesuwu taśmy:	4,76 cm/s
Liczba kanałów:	2 (stereo lub 2 kanały mono)
Częstotliwość próbkowania:	48/ 44,1/ 32 kHz
Kodowanie:	PASC
Szybkość transmisji strumienia danych PASC:	384 kbit/s
System modulacji:	8/10
Preemfaza:	opcjonalna (50/ 15µs)
Kwantyzacja:	16 bitów na próbkę
System korekcji błędów:	Reed-Solomon (RS), dane główne CIRS (24, 20, 5) lub CIRS (32, 26, 7), dane pomocnicze RS (24, 18, 7)
Szybkość transmisji w kanale mono :	dane główne 96 kbit/s dane pomocnicze 12 kbit/s
Długość celki bitowej:	dane główne 0,496 µm dane pomocnicze 3,968 µm
Cyfrowe wejścia/wyjścia	IEC 958

Najnowsze perspektywy rozwoju zapisu cyfrowego wskazują, że optyczny, ewentualnie magnetoptyczny zapis dyskowy mają lepsze perspektywy rozwoju, niż zapis magnetyczny, zwłaszcza zapis na taśmie.

7.1.2 Zapis optyczny

Możliwa do uzyskania gęstość zapisu optycznego zależy głównie od rozwoju technologii laserów. W obecnych warunkach ograniczenie dalszego zwiększania gęstości zapisu stanowią zjawiska fizyczne, związane z korpuskularno-falową naturą światła. Do najważniejszych zjawisk, które wpływają na ograniczenie możliwej do uzyskania gęstości zapisu należy



Rys. 7-14. Ilustracja zjawiska dyfrakcji

dyfrakcja (patrz rys. 7-14). Czoło fali świetlnej może być uważane za sumę nieskończenie wielkiej liczby fal sferycznych, generowanych przez źródła punktowe. Po przejściu przez siatkę dyfrakcyjną liczba punktów emitujących światło zmniejsza się do pewnej skończonej liczby. W związku z tym wypadkowa fala świetlna może zmienić kierunek, w sposób który jest zdeterminowany interferencją fal składowych. W wynikowym obrazie optycznym może być w związku z tym

niemożliwe rozróżnienie poszczególnych obiektów, które tworzyły siatkę dyfrakcyjną. Możliwą do uzyskania rozdzielczość można powiększyć, stosując soczewki optyczne. Dyfrakcja jest istotna w sytuacji, gdy na drodze fali znajdują się przeszkody o wymiarach porównywalnych z długością tej fali, lub o rozmiarach jeszcze mniejszych. Ponieważ zapis optyczny tworzy siatkę niewielkich obiektów (tzw. pitów), o możliwej do osiągnięcia gęstości zapisu będzie decydowała długość fali światła laserowego. Światło laserowe, czyli strumień emisji fotonów, otrzymuje się podwyższając energię elektronów w niektórych materiałach w taki sposób, aby elektrony mogły przejść na wyższy poziom walencyjny. Towarzyszy temu emisja fotonów. Energia potrzebna do wywołania tego zjawiska jest określona prawem Plancka, jako:

$$E = h \cdot f \quad (7-5)$$

gdzie: $h = 6,6262 \cdot 10^{-34}$ [J] - stała Plancka
 f – częstotliwość emisji fotonów

Na podstawie powyższej zależności nietrudno wyznaczyć długość światła lasera półprzewodnikowego, który wykorzystuje arsenek galu. Dla tego

półprzewodnika $E=1,6 \text{ eV}$, gdzie $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{19} \text{ [J]}$. Pamiętając, że prędkość światła $c = 3 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}$, otrzymujemy:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,6262 \cdot 10^{-34}}{2,56 \cdot 10^{-19}} = 780\text{nm} \quad (7-6)$$

Na tej podstawie można wyciągnąć wniosek, że zapis optyczny, w którym ślady optyczne odpowiadające zarejestrowanej informacji binarnej mają wymiar rzędu $1 \mu\text{m}$ (np. płyta kompaktowa CD) z pewnością wywoła zjawiska dyfrakcyjne i będzie w związku z tym wymagał stosowania odpowiednich układów optycznych (soczewek), aby mógł być poprawnie odczytany. Dalsze zwiększanie gęstości zapisu napotkałoby na ograniczenia fizyczne, wynikające z dyfrakcji. Przykładowo, w celu zwiększenia efektywności zapisu optycznego, w najnowszych mediach zapisu optycznego (np. dysk DVD - ang. *Digital Versatile Disc*) stosuje się wielowarstwowy zapis optyczny, w którym promień lasera dociera do informacji zapisanej w kolejnych warstwach nośnika, umieszczonych jedna pod drugą.

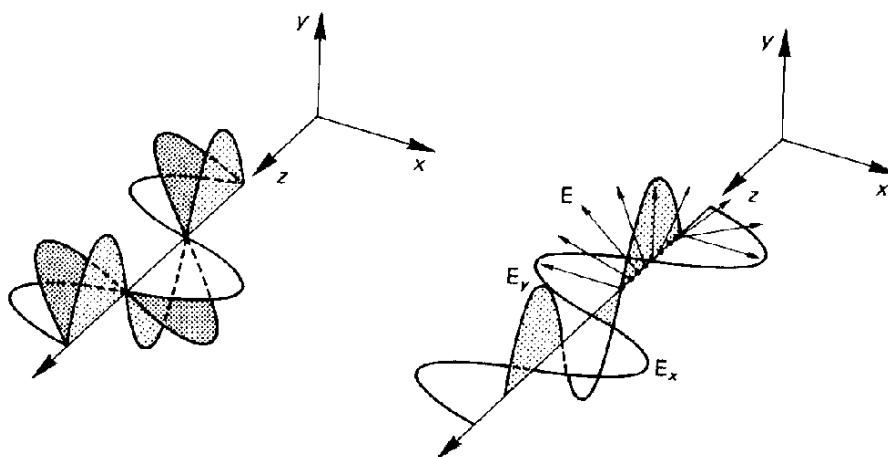
Spośród innych istotnych praw rządzących zjawiskami optycznymi warto przypomnieć powszechnie znane prawo Snelliusa, według którego kąt padania fali świetlnej jest równy kątowi jej odbicia, a kąt załamania przy przechodzeniu przez granicę ośrodków spełnia zależność:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} \quad (7-7)$$

gdzie: n_1, n_2 – współczynniki załamania światła w ośrodkach, zależne od stosunku prędkości światła w próżni do prędkości światła w danym ośrodku optycznym (dla szkła $n \approx 1,33$);
 α_1, α_2 – kąt padania i kąt załamania światła

Jeszcze jednym ważnym zjawiskiem, które jest wykorzystywane w konstrukcjach urządzeń optycznych do zapisu i odczytu sygnałów jest polaryzacja światła. Możliwość spolaryzowania światła wynika stąd, że jak wiadomo, fala świetlna jest falą elektromagnetyczną. Fala świetlna jest spolaryzowana, jeżeli może być rozłożona na dwa wzajemnie ortogonalne składniki. Jeżeli te składniki zostaną przesunięte względem siebie w fazie o kąt 90° , to mamy do czynienia z polaryzacją kołową. Polaryzację tego typu można otrzymać, przepuszczając światło lasera przez kryształ anizotropowy, tzw. płytkę ćwierćfalową (patrz rys. 7-15). Jeżeli promień lasera zostanie skierowany na taką płytkę pod kątem 45° , to polaryzację kołową otrzyma się

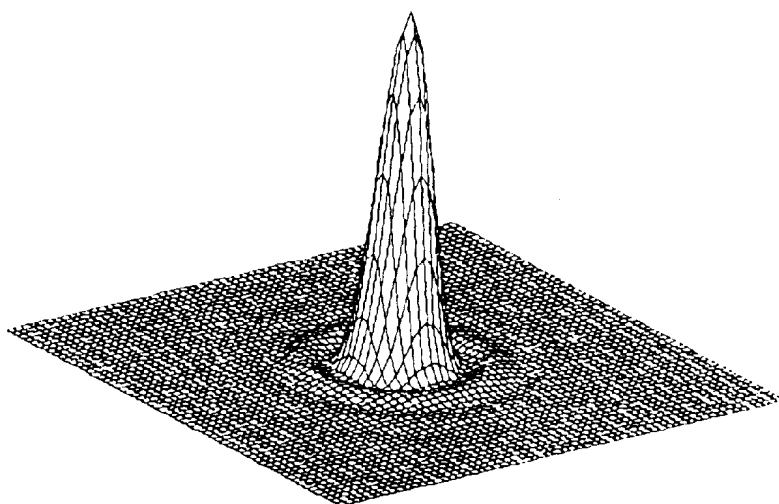
dopiero po dwukrotnym przejściu (tam i powrotnym) promienia laserowego przez płytkę ćwierćfalową. Dzięki temu, promień lasera odbity od powierzchni nośnika optycznego, chociaż przebiega tą samą drogą co promień źródłowy, może być łatwo oddzielony od promienia źródłowego, gdyż do ich rozdzielania można wykorzystać pryzmat (który załamuje światło spolaryzowane pod kątem zależnym od kąta polaryzacji). Zasada ta jest wykorzystywana we wszystkich urządzeniach laserowych do zapisu i odczytu dźwięku.



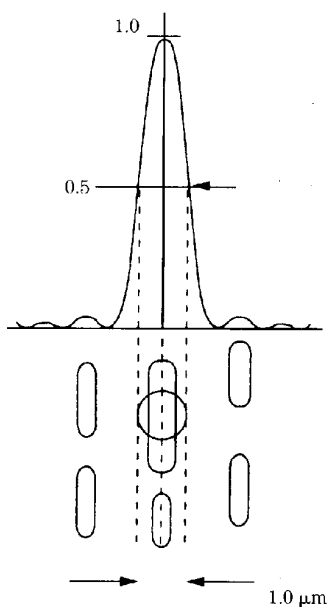
Rys. 7-15. Polaryzacja światła – z lewej: liniowa, z prawej: kołowa

Ogniskowanie wiązki światła laserowego za pomocą soczewek nie prowadzi do zogniskowania energii w jednym punkcie. Na skutek zjawisk dyfrakcyjnych poszczególne promienie (o różnej fazie) tworzą pewną figurę przestrzenną, która została określona w XIX wieku przez Airy'ego (patrz rys. 7-16). Na promień centralny przypada 83% energii wiązki, odległe od centralnej osi optycznej listki boczne przenoszą coraz mniejszą energię. Przyjęto, że optyczny ślad zapisu musi mieć takie wymiary, aby zmieścił się w obszarze plamki skupionej wiązki światła laserowego o nie mniejszej intensywności, niż połowa intensywności promienia centralnego (patrz rys. 7-17).

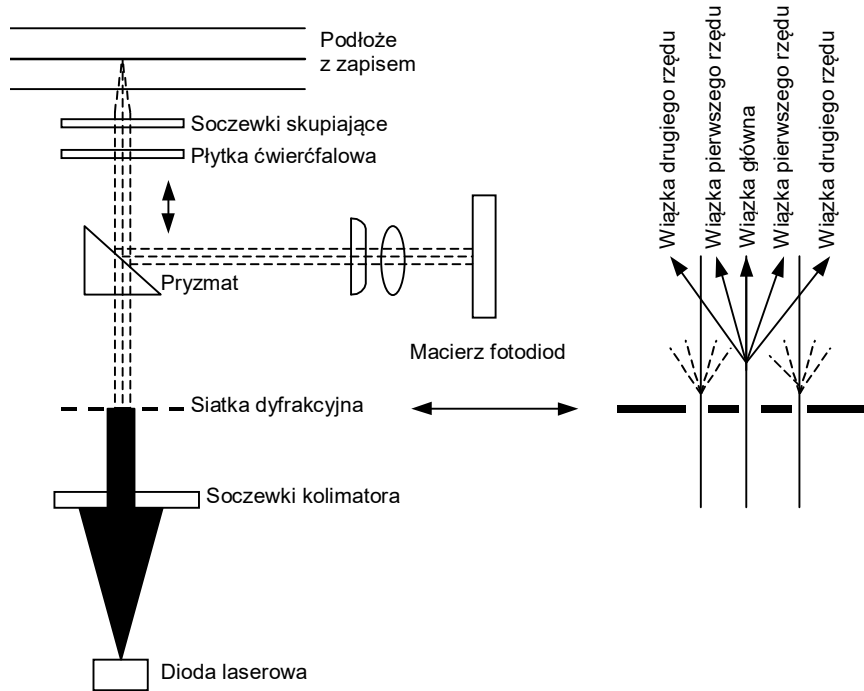
Wykorzystując omówione powyżej zjawiska optyczne skonstruowano laserowy czytnik zapisu optycznego. Dodatkowa siatka dyfrakcyjna (patrz rys. 7-18) pozwala na rozdzielenie wiązki na trzy równoległe promienie, z których pierwszy jest wykorzystywany do odczytu danych (i funkcji *autofocus*) a dwa boczne są wykorzystywane do naprowadzania wiązki na właściwy ślad zapisu.



Rys. 7-16. Kształt wiązki światła laserowego po zogniskowaniu



Rys. 7-17. Odczyt śladu optycznego (pitu) za pomocą zogniskowanej wiązki światła laserowego



Rys. 7-18. Zasada działania laserowego czytnika zapisu optycznego

Górną częstotliwość pasma przepustowego kanału optycznego f_g można obliczyć na podstawie następującej zależności:

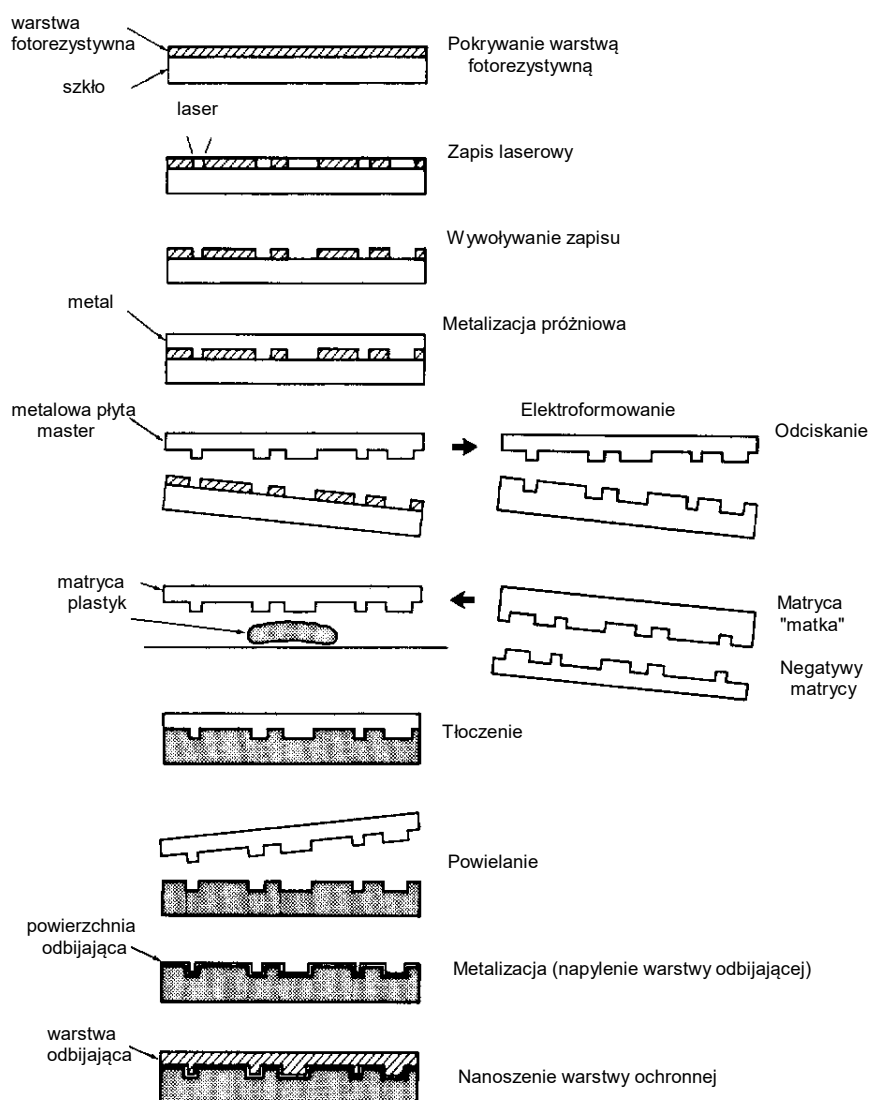
$$f_g = \frac{2R}{\lambda} v, \quad (7-8)$$

gdzie: R – rozwartość optyczna (stosunek średnicy soczewki do jej ogniskowej);
 v - prędkość liniowa odczytu (prędkość przemieszczania się śladów optycznych na wejściu czytnika optycznego)

Dla rozwiązań przyjętych w standardzie płyty kompaktowej (CD) otrzymuje się następującą górną częstotliwość graniczną:

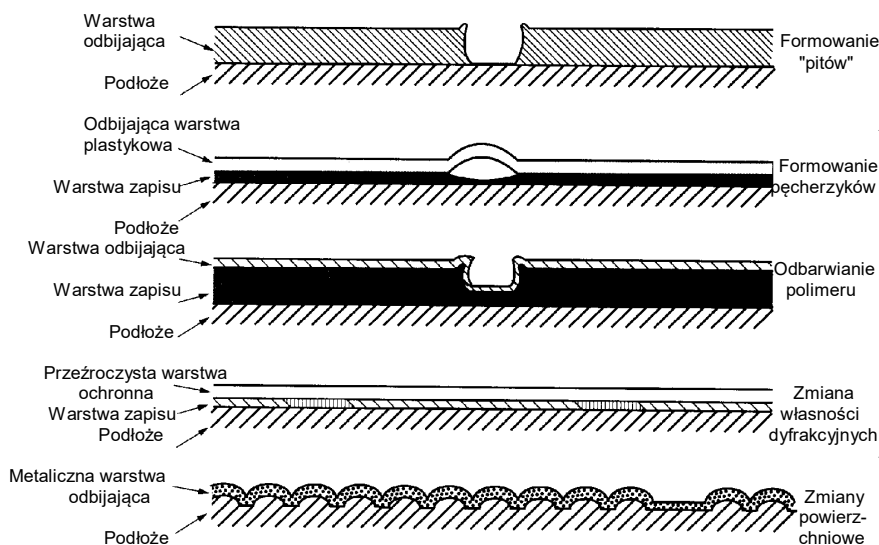
$$f_g = \frac{2 \cdot 0,45 \cdot 1,2}{780 \cdot 10^{-9}} = 1,38 \text{ MHz} \quad (7-9)$$

Płyty CD są produkowane metodą matrycową (patrz rys. 7-19). Istnieje także odmiana metody produkcji tych płyt, pozwalająca na pominięcie procesu fotochemicznego (technologia DMM – ang. *Direct Metal Mastering*). Metoda ta pozwala na zapis śladu optycznego bezpośrednio w matrycy metalowej za pomocą lasera o dużej mocy.



Rys. 7-19. Schemat produkcji płyt kompaktowych i płyt CD-ROM

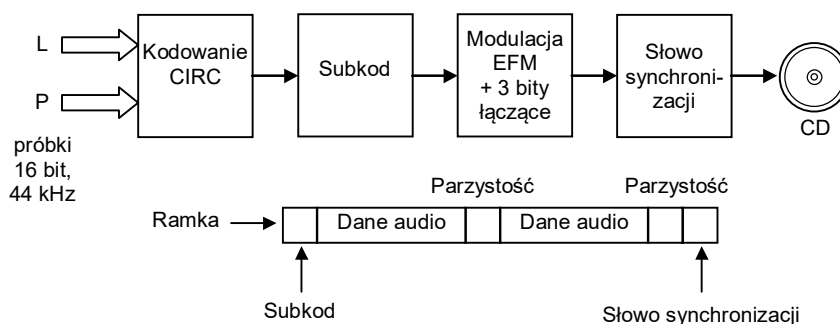
Standard CD należy do grupy standardów zapisu jednokrotnego (WORM - ang. *Write Once Read Many*). Nie jest to obecnie jedyny sposób zapisu tego rodzaju (patrz rys. 7-20). Inne sposoby, przedstawione na tym rysunku nadają się do wykorzystania do zapisu w warunkach poza produkcyjnych (nagrywanie płyt CD-ROM bądź CD przez indywidualnych użytkowników sprzętu komputerowego).



Rys. 7-20. Alternatywne metody zapisu optycznego

7.1.2.1 Kodowanie płyty kompaktowej

Kodowanie płyty kompaktowej (standard CD) zostanie omówione jako typowy przykład wykorzystania metod kodowania protekcyjnego i kanałowego, które zostały omówione w roz. 5. W procesie kodowania ciągi informacyjne, które przenoszą zmultipleksowany sygnał PCM, są uzupełniane informacjami dodatkowymi, których celem jest zapewnienie synchronizacji odczytu i zakodowanie różnego typu informacji pomocniczych. Przy masteringu płyty kompaktowej dodawana jest wstępnie określona liczba bitów, które uzupełniają ciągi kodowe, reprezentujące sygnał foniczny. Na rys. 7-21 pokazano proces kodowania. Składa się on z kodowania CIRC, subkodu, modulacji EFM, dodatkowej kontroli i słowa synchronizacji. Rysunek pokazuje, że zakodowane dane zostają upakowane w odpowiednie ramki, co umożliwia późniejsze rozróżnienie typu zakodowanych danych, na podstawie ich umiejscowienie w ramce.



Rys. 7-21. Proces kodowania płyty kompaktowej

Pierwszym etapem w kodowaniu płyty kompaktowej jest próbkowanie sygnału. Sygnał dźwiękowy jest próbkowany z częstotliwością 44.1 kHz i kodowany w formacie PCM. Spróbkowane dane są dzielone na ramki składające się z sześciu 32-bitowych okresów próbkowania. Każdy okres próbkowania składa się z 16 bitów kanału lewego i 16 bitów kanału prawego. Okres próbkowania jest dzielony na cztery 8-bitowe słowa, nazywane symbolami. Proces kodowania wykorzystuje system korekcji błędów nazywany krzyżowo-przeplatany kodem Reed-Solomona (ang. *Cross-Interleaved Reeda-Solomon Coding - CIRC*). Kod CIRC, który stanowi kombinację kilku technik korekcji błędów (patrz roz. 5), służy do detekcji i korygowania zarówno błędów seryjnych, jak i odseparowanych.

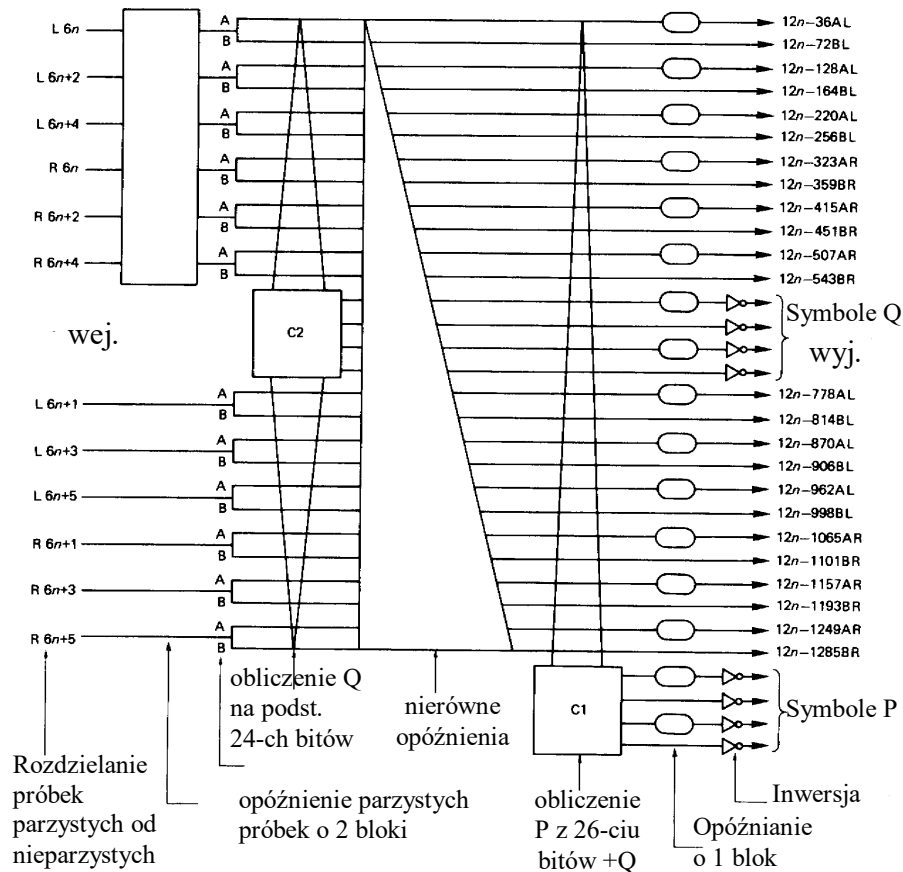
Maksymalna długość ciągu błędów seryjnych, które koder CIRC jest w stanie skorygować, wynosi 4000 następujących po sobie bitów, co odpowiada długości śladu zapisu 2.5 mm. Natomiast maksymalna liczba seryjnych błędów, które system CIRC jest w stanie zinterpolować, wynosi aż 12300 następujących po sobie bitów, co odpowiada długości śladu zapisu 7.7 mm. Algorytm kodowania CIRC rozpoczyna swoje działanie od podzielenia sześciu próbek z każdego z kanałów (lewego i prawego) na 8-bitowe słowa (symbole), które są zapamiętywane w pamięci RAM kodera CIRC. Do kodowania wybierane są 24 ośmiobitowe symbole, które zostają poddane przeplataniu. Próbki są opóźniane o dwa symbole, w celu ułatwienia zakodowania danych. Następnie, przeplecione 24 symbole są kierowane do kodera Reed-Solomona typu (28,24), na wyjściu którego otrzymuje się 28 symboli - 4 dodatkowe symbole to symbole parzystości Q. Następnie stosuje się dodatkowe opóźnienie i przeplatanie ciągów. Niejednakowo opóźnione bity są kodowane przez kolejny koder Reed-Solomona typu (32,28), gdzie dodawane są jeszcze 4 symbole parzystości P. Następnie próbki są opóźniane o jeden symbol, zaś symbole parzystości P i Q są odwracane. Zatem na wyjściu kodera CIRC otrzymuje się 32 symbole, które są formowane w ramkę. Wspomniane 32 symbole

obejmują 24 zakodowane 8-bitowe symbole danych plus 8 symboli parzystości. Schemat kodera CIRC przedstawiono na rys. 7-22.

Do każdego z 32 symboli wychodzących z kodera CIRC dodawany jest jeden 8-bitowy symbol nazywany słowem subkodowym. Słowo to zawiera informacje o tym, gdzie zaczynają się i kończą ścieżki na płycie, numery tych ścieżek oraz podział czasowy dysku. Każdy bit subkodowy opisany jest jako: P, Q, R, S, T, U, V lub W. Bity subkodu są usuwane z danych PCM podczas odtwarzania i formowane w słowo subkodowe o długości 98 bitów. Stąd, aby uformować słowo subkodowe dla każdej z flag P, Q, R, S, T, U, V oraz W, musi być odczytanych 98 ramek. Tylko kanały P i Q (których nie należy mylić z symbolami parzystości w systemie kodowania CIRC) są określone w podstawowym formacie CD. Inne bity subkodowe użytkownika mogą przenosić informacje, takie jak grafika i tekst. Subkod P jest używany do zaznaczania punktów startu i stopu pomiędzy ścieżkami muzycznymi. Podczas odtwarzania ścieżki muzycznej subkod P przyjmuje wartość 0, zaś pomiędzy ścieżkami - wartość 1. Natomiast przełączany jest on pomiędzy 0 a 1 podczas odtwarzania ostatniej ścieżki nagranej na dysku. Subkod Q dostarcza informacji takich, jak numer ścieżki, adres, detekcja błędu, czas odtwarzania, liczba kanałów, informacja „kopiowanie zabronione”, preemfaza i inne. W systemie zapisu płyty kompaktowej używane są trzy tryby dla danych Q. Tryb 1 opisuje format dysku oraz określa położenie ścieżek końcowych. Tryb 2 wskazuje numer katalogowy płyty. Tryb 3 określa 12-znakowy Międzynarodowy Standardowy Kod Zapisu (ang. *ISRC -International Standard Recording Code*) dla każdego nagrania na dysku. Znaki 1 i 2 pokazują kod państwa; 3, 4 i 5 - kod właściciela; 6 i 7 - rok nagrania; 8 - 12 określają numer seryjny nagrania. Prędkość przepływu danych, które obejmują kod CIRC, słowo synchronizacji i subkodu, wynosi 2,034 Mbit/s.

Zakodowana w powyższy sposób pełna informacja jest poddawana modulacji cyfrowej typu EFM. Ze względu na własności modulacji EFM, o których napisano w roz. 5, po dokonaniu modulacji możliwe jest użycie mniejszej prędkości zapisu i odtwarzania ścieżek, co pozwala na dłuższy czas odtwarzania (w widmie sygnału po kodowaniu kanałowym nie występują częstotliwości wyższe od 1,5 MHz). Konwersja z 8-bitowych bloków na 14-bitowe dokonywana jest na podstawie tablicy przejściowej przechowywanej w pamięci ROM. W kodzie 14-bitowym jest do dyspozycji $2^{14} = 16384$ możliwych symboli, ale tylko 256 jest wykorzystanych w tablicy przejścia. Wybrane zostały takie 14-bitowe słowa, które zawierają przynajmniej dwa, ale nie więcej niż dziesięć następujących po sobie zer. W ten sposób zredukowana jest szerokość pasma (redukcja najwyższej częstotliwości przejścia) oraz minimalizowana jest zawartość składowej stałej. Do każdego 14-bitowego słowa są dodawane trzy dodatkowe bity, nazywane bitami scalającymi (*merging bits*), w celu uzyskania dalszej

redukcji składowej stałej. Dwa z tych trzech bitów są zawsze równe 0. Trzeci bit przyjmuje wartość 0 lub 1 w zależności od poprzedzających go i następujących po nim słów.



Rys. 7-22. Koder CIRC. C2 – kod RS (28,24); C1- kod RS (32,28)

Po procesie modulacji EFM sygnał ulega konwersji z sygnału NRZ (*Non-Return-to-Zero*) w sygnał NRZI (*Non-Return-to-Zero Inverted*). Sygnał NRZI ma mniej przejść pomiędzy stanami niż NRZ, co upraszcza strukturę śladów (pitów) na dysku. W wyniku zastosowania sygnału NRZI najmniejsza długość pitu wynosi trzy okresy zegara, a najdłuższa - jednaście. Wynikowa przepływność w każdym z dwóch kanałów wynosi $2,034 \cdot 17/8 = 4,3218$ Mbit/s.

Po dokonaniu modulacji EFM, ramki danych składają się z 561 bitów i stają się one całościowymi po dodaniu 24-bitowego słowa synchronizacji i trzech bitów scalających. Słowo synchronizacji opisuje początek ramki.

Słowo synchronizacji ma postać: 100000000001000000000010. W związku z tym całkowita liczba bitów w pojedynczej ramce wynosi 588.

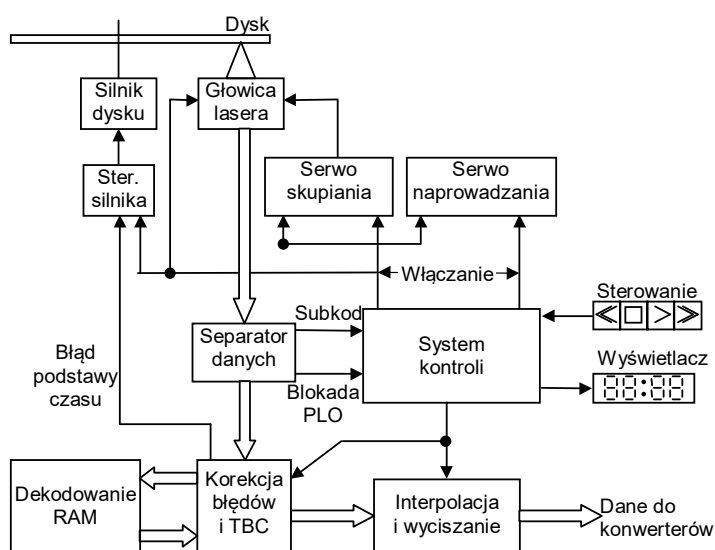
Czas odtwarzania zależy od średnicy dysku, podziału dysku na ścieżki i od prędkości liniowej. System CD był zaprojektowany na 60 min czasu odtwarzania, ale maksymalny możliwy czas przy najniższej prędkości liniowej wynosi 74,7 min. Ponieważ system CD wykorzystuje metodę nagrywania przy stałej prędkości liniowej, prędkość kątowna dysku nie jest stała. Standardowa prędkość liniowa wynosi 1,25 m/s. Stąd, prędkość obrotowa w trakcie odtwarzania dysku zmniejsza się z 500 do 200 obr./min. Podstawowe parametry systemu CD określa poniższa specyfikacja:

PODSTAWOWE PARAMETRY SYSTEMU CD

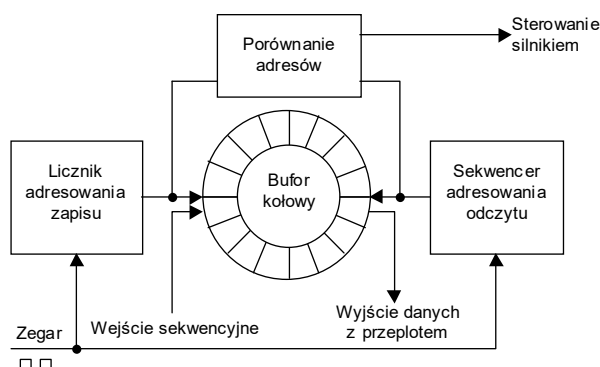
Metoda nagrywania	
Detekcja sygnału	Optyczna
Liniowa gęstość nagrywania	43 kbit/cal (1,2 m/s)
Obszarowa gęstość nagrywania	683 Mbit/cal ²
Specyfikacja sygnału fonicznego	
Liczba kanałów	2 (stereo)
Czas odtwarzania	W przybliżeniu 60 min
Pasma częstotliwości	20 - 20000 Hz
Zakres dynamiki	> 90 dB
Zniekształcenia harmoniczne	< 0.01 %
Separacja kanałów	> 90 dB
Kołysanie i drżenie	zależą od stabilności oscylator kwarcowego
Częstotliwość próbkowania	44,1 kHz
Kwantyzacja	16-bitowa liniowa
Sposób zapisu inf. bin.	kod z uzupełn. do 2
Preemfaza	brak lub 50/15 μs
Modulacja	EFM
Przepływność bin. [bit/kanał]	4.3218 Mbit/s
Korekcja błędów	CIRC
Szybkość transmisji	2,034 Mbit/s
Redundancja	ok. 30 %
Specyfikacja dysku	
Średnica dysku	120 mm
Grubość dysku	1,2 mm
Średnica otworu centralnego	15 mm
Przestrzeń programu	50 - 116 mm
Prędkość skanowania	1,2 – 1,4 m/s
Prędkość obrotowa	500 - 200 obr./min
Grubość ścieżki	1,6 μm
Rozmiar śladu bitowego (pitu)	0,11 x 0,5 x 0,9 – 3,2 μm

Schemat blokowy odtwarzacza kompaktowego pokazano na rys. 7-23. Pokazany na rys. 7-23b sposób dekodowania przeplecionych symboli binarnych wykorzystuje bufor kołowy. Sterowanie zapisem słów w pamięci buforowej jest dokonywane przez liniowy generator adresów, podczas gdy adresowanie odczytu jest dokonywane na podstawie skokowo zmiennego adresu generowanego przez sekwencer. Stany bufora kołowego są ponadto używane do sterowania serwomechanizmem kontrolującym prędkość obrotową dysku.

(a)



(b)



Rys. 7-23. Schemat blokowy odtwarzacza CD (a) oraz sposób dekodowania przeareszowanych symboli binarnych (b)

7.1.3 Zapis magnetoptyczny

Do grupy metod zapisu kasowalnego należy zapis magnetoptyczny. Został on wykorzystany m. in. we wspomnianym wcześniej miniaturowym optomagnetofonie cyfrowym MD (Mini Disc). System zapisu magnetoptycznego łączy w sobie cechy zapisu magnetycznego, umożliwiającego wielokrotny zapis na nośniku, oraz zapisu optycznego (przy pomocy lasera), pozwalającego na zapis dużej ilości informacji na nośniku. W zapisie magnetoptycznym domeny magnetyczne są ustawiane prostopadle do powierzchni dysku. Pionowy sposób zapisu umożliwia uzyskanie większej gęstości zapisu. Do tego celu nie można jednak wykorzystać klasycznych głowic magnetycznych, ponieważ nie jest możliwe uzyskanie w nich dostatecznie wąskiej szczeliny, przez co niepotrzebnie zużywa się zbyt duży obszar nośnika. Wykorzystanie techniki optycznej pozwala na zwiększenie gęstości zapisu.

W zapisie magnetoptycznym do umieszczenia danych na nośniku wykorzystuje się pole magnetyczne. Pole to jest jednak znacznie słabsze niż w klasycznym zapisie magnetycznym. Nie umożliwia ono zmiany ustawienia domen magnetycznych na nośniku w normalnych warunkach. Wykorzystuje się jednak inną właściwość materiałów magnetycznych. Gdy cząsteczki tlenku ferromagnetyka zostają podgrzane tak, że osiągną punkt Curie, ich wartość koercji (czyli minimalna wartość siły pola magnetycznego wymagana do odwrócenia ustawienia domeny) znacznie maleje. Zmiana ustawienia domen następuje w tych warunkach już przy umieszczeniu ich w słabym polu magnetycznym.

W zapisie magnetoptycznym dane mogą zostać zapisane na nośniku przy użyciu słabego pola magnetycznego. W temperaturze 150°C koercja nośnika spada niemal do zera. Wiązka laserowa jest skupiana przy pomocy soczewek optycznych, a następnie podgrzewa wybrany obszar nośnika magnetycznego do punktu bliskiego punktowi Curie. Jedynie domeny w miejscu podgrzewania są wrażliwe na działanie głowicy zapisującej (rys. 7-24). Gdy wiązka lasera zostanie wyłączona lub przesunięta w inne miejsce, temperatura ogrzanego uprzednio miejsca spada poniżej punktu Curie, a ustalone w procesie zapisu położenie domen pozostaje utrwalone. Przy takiej metodzie zapisu zużywa się znacznie mniej nośnika niż w przypadku innych metod.

Przy odczycie danych wykorzystuje się efekt Kerra: przy odbiciu spolaryzowanego światła od materiału namagnesowanego następuje niewielkie skrócenie płaszczyzny polaryzacji. Wielkość tego skrócenia różni się nieznacznie przy odbiciu światła od domen ustawionych normalnie oraz odwróconych w wyniku namagnesowania. Przy odczycie danych wiązka lasera jest skupiana na powierzchni dysku, a kąt skrócenia odbitego światła jest monitorowany, jak pokazano na rys. 7-25. Analizator rozróżnia stopień

skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła i zamienia tą informację na wiązkę światła o zmiennej intensywności. Przy przechodzeniu wiązki światła przez pryzmat, światło o płaszczyźnie polaryzacji równoległej do płaszczyzny pryzmatu zostanie przez niego przepuszczone, natomiast światło o skręconej płaszczyźnie polaryzacji będzie częściowo odbijane. Zatem wiązka światła po przejściu przez pryzmat będzie miała zmienną intensywność. Na podstawie zmodulowanego w taki sposób sygnału możliwe jest odtworzenie danych. Moc wiązki lasera przy odczycie jest około dziesięciokrotnie mniejsza niż przy zapisie, dzięki czemu zapisane uprzednio dane nie zostają zniszczone. Skasowanie danych na dysku jest możliwe dzięki zastosowaniu pola magnetycznego wraz z podgrzewaniem nośnika wiązką laserową (rys. 7-26).

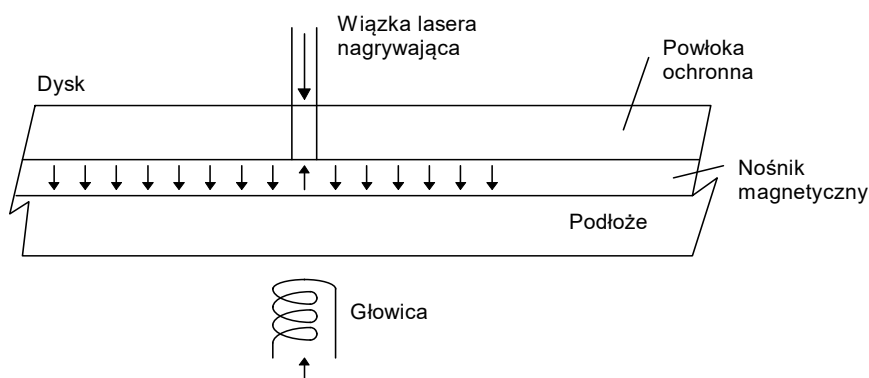
Powłoka magnetoptyczna może być umieszczona pomiędzy przezroczystym podłożem a warstwą ochronną. Światło lasera może przechodzić zarówno przez podłoże jak i przez warstwę ochronną, a kurz i zarysowania na powierzchni dysku nie wpływają na odczyt danych. Rolę głowicy magnetycznej może pełnić cewka nawinięta wokół soczewek lasera. Jako nośnik można wykorzystać wiele materiałów magnetycznych, różniących się możliwym do uzyskania stosunkiem sygnału do szumu, łatwością zmiany ustawienia domen oraz trwałością. Koercja nośnika w temperaturze pokojowej może przekraczać 10 000 Oerstedów, co eliminuje możliwość przypadkowego skasowania danych.

Jak wynika z przeprowadzonych testów, nośnik pozwala na dokonanie co najmniej 10 milionów operacji kasowania i zapisu, co odpowiada możliwościom klasycznych nośników magnetycznych. Odporność nośników magnetoptycznych na długotrwałe przebywanie w wysokiej temperaturze i dużej wilgotności jest większa niż w przypadku twardych dysków i dyskietek, są one też bardziej trwałe. Ponieważ koercja potrzebna do zapisu lub skasowania danych jest w wysokich temperaturach bardzo duża, przypadkowa zmiana zapisanych danych jest teoretycznie niemożliwa. Zapis magnetoptyczny jest zatem znacznie bardziej niezawodny od innych metod zapisu danych.

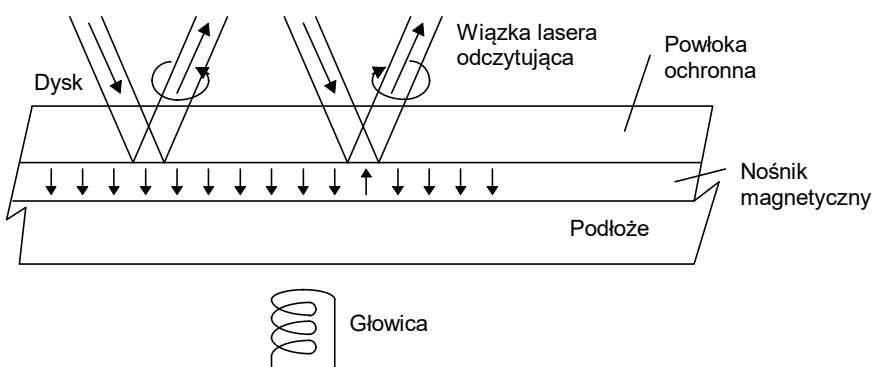
Aby zachować kompatybilność pomiędzy różnymi typami urządzeń nagrywających, niezapisane dyski mogą zawierać niemożliwą do skasowania informację adresującą. Jedną ze stosowanych metod, zwana sprzętowym adresowaniem sektorów, wykorzystuje dysk ze spiralnymi lub koncentrycznymi rowkami, w których umieszczona jest informacja adresująca, możliwa do odczytania przy pomocy wiązki światła skierowanej na powierzchnię dysku. Dzięki temu magnetoptyczne urządzenie odtwarzające jest w stanie automatycznie odczytywać z dysku zarówno dane, jak i informację adresującą.

Na jednym dysku magnetoptycznym o średnicy 5,25 cala (wielkość identyczna jak w przypadku płyty CD) możliwe jest zapisanie około

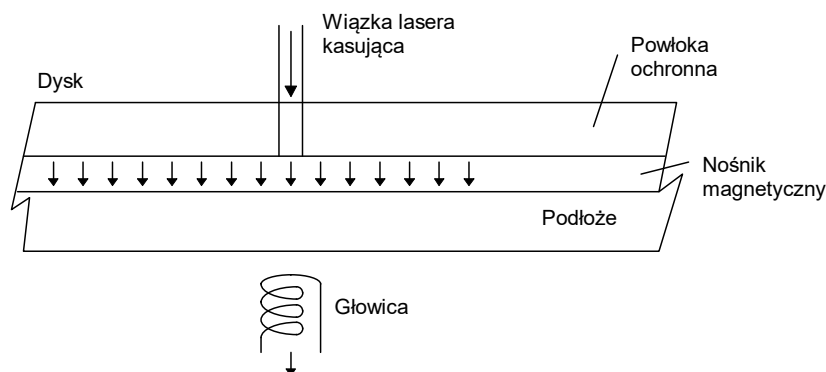
1 godziny muzyki. Fotopolimerowa powłoka pokryta rowkami jest umieszczona na szklanym podłożu i oddzielona za pomocą powłoki dielektrycznej od właściwego nośnika, złożonego z terbu, gadolinu i żelaza. Na górnej powierzchni dysku znajduje się powłoka ochronna. Dostęp do nośnika jest możliwy przez szklane podłoże. Źródłem światła w urządzeniu nagrywająco–odtwarzającym jest laser AlGaAs o długości fali 850 nm. W trakcie nagrywania laser wysyła impulsy światła o czasie trwania 50 ns w odstępach po 250 ns. Cząsteczki ferromagnetyka w rowku są magnesowane w miejscu, na które pada impuls światła. Przy odczycie pulsujące światło lasera odbija się od powierzchni nośnika, a różnica w skręceniu płaszczyzny polaryzacji jest odczytywana jako modulacja intensywności światła. Kasowanie danych następuje przez równomierne namagnesowanie i ponowny zapis. Po dokonaniu niewielkich modyfikacji możliwe jest przystosowanie urządzenia do odczytu standardowych płyt CD.



Rys. 7-24. Zasada dokonywania zapisu magnetoptycznego przy użyciu lasera o dużej mocy



Rys. 7-25. Odczyt z nośnika magnetoptycznego przy użyciu wiązki lasera o małej mocy



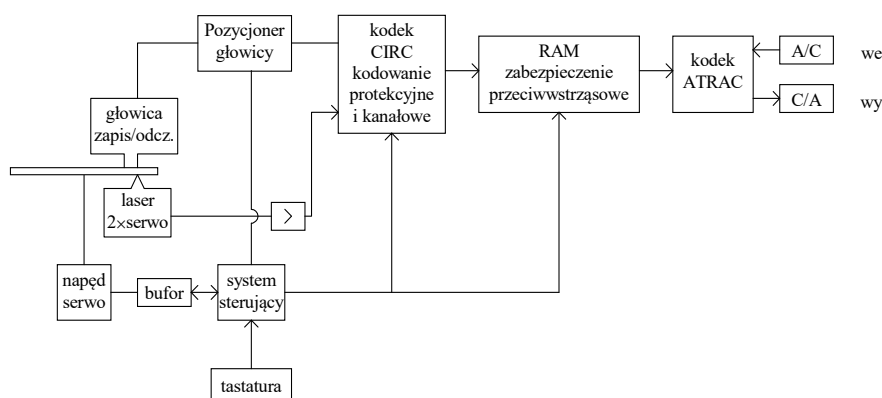
Rys. 7-26. Kasowanie danych na nośniku magnetoptycznym przy użyciu wiązki lasera o dużej mocy

7.1.4 Alternatywne formaty zapisu

W ostatnich latach rozwija się duża liczba nowych formatów zapisu. Obserwując ten rozwój można przewidywać, że przyszłość techniki zapisu dźwięku będzie należała do zapisu dyskowego (optycznego bądź magnetoptycznego). W niniejszym paragrafie zostaną podane dwa przykłady formatów alternatywnych w stosunku do płyty kompaktowej oraz przykład wykorzystania formatu CD do zapisu o podwyższonej jakości technicznej.

Rejestrator magnetoptyczny MD (*Mini Disc*), podobnie jak odtwarzacz kompaktowy, wykorzystuje system kodowania CIRC (patrz rys. 7-27). Dodatkowo, ze względu na to, że w zapisie wykorzystuje się stratne kodowanie perceptualne sygnału fonicznego (patrz roz. 5), w urządzeniu tym wykorzystano kodek perceptualny ATRAC (ang. *Adaptive Transform Audio Codec*). Format bloku danych wykorzystywany w systemie MD określa poniższa specyfikacja:

- pozycjonowanie głowic - 16 bitów
- słowo kontrolne synchronizacji PLL - 16 bitów
- adres - 16 bitów
- przełącznik odczyt / zapis - 16 bitów
- synchronizacja (PLL) - 16 bitów
- synchronizacja danych - 3 bity
- dane foniczne ATRAC - 556 bitów
- kod protekcyjny - 7 bitów
- koniec zapisu - 1 bit



Rys. 7-27. Schemat optycznego magnetofonu MD (Mini Disc)

Innego rodzaju format został zaproponowany przez konsorcjum złożone z firm Toshiba, Matsushita, Thomson, Pioneer, Time-Warner i in. Format ten został określony skrótem DVD (ang. *Digital Versatile Disc*). Zapis w tym formacie może odbywać się obustronnie na dysku o średnicy 120 mm. Dyski są zapisywane fabrycznie przy użyciu technologii zbliżonej do technologii produkcji płyt CD. W przypadku dysków z zapisem kasowalnym przewiduje się wykorzystanie zapisu magnetoptycznego. Na każdej stronie dysku można zapisać 135 minut obrazu wizyjnego wraz z towarzyszącym mu dźwiękiem. Odpowiada temu pojemność dysku, która wynosi 10 GB dla niekompresowanej informacji binarnej. Dysk jest złożony z dwóch płyt o grubości podłoża 0,6 mm, z których każda może przechować 5 GB informacji. Większą pojemność uzyskano dzięki zastosowaniu w odtwarzaczach lasera emitującego fale krótsze niż w standardzie CD, o długościach 650 oraz 635 nm., dla których rozwartość optyczna (patrz zależność 7-6) wynosi około 0,6, zaś rozmiar śladu optycznego jest rzędu 0,7 μm . W procesie kodowania i dekodowania protekcyjnego stosowany jest kod Reeda-Solomona. Przy zapisie sygnału wizyjnego stosowany jest standard MPEG-2, który pozwala przesyłać upakowane dane z szybkością 3-15 Mb/s i zapewnia jakość równoważną zapisowi w standardzie SVHS. Dźwięk jest kodowany w systemie Dolby Digital (AC3) – patrz roz. 5.

Stosuje się cztery typy płyty DVD:

- 4,7 GB – DVD 5 – jednostronna, jednowarstwowa
- 9,4 GB – DVD 10 – jednostronna, dwuwarstwowa
- 8,5 GB – DVD 9 – dwustronna, jednowarstwowa
- 17 GB – DVD 17 – dwustronna, dwuwarstwowa

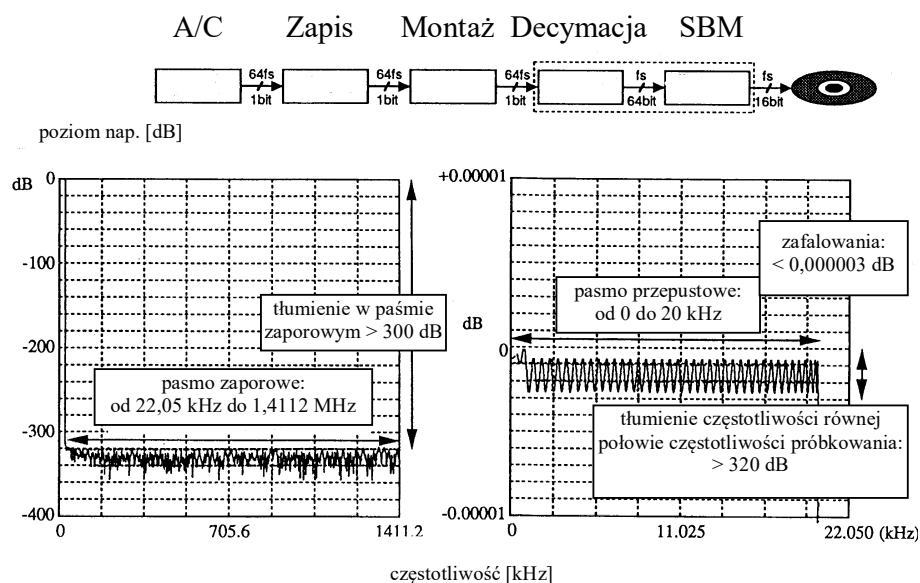
W DVD 9 i DVD 17 wykorzystywane są obie strony płyty w celu podwojenia pojemności. Przewagą DVD 5 i DVD 10 jest to, że w trakcie odtwarzania nie trzeba odwracać dysku.

Uzyskanie jak najlepszej jakości oznacza użycie największej możliwej przepływności bitowej. Dla DVD maksymalna przepływność wynosi 9,8 Mb/s. W przypadku zastosowania stałej przepływności bitowej CBR (ang. *Constant Bit Rate*), 1 godzina filmu wideo zajmuje 4,7 GB. Aby zwiększyć upakowanie informacji na dysku, zastosowano zmienną przepływność bitową. Technologia kompresji oparta na tej zasadzie jest określana jako VBR (ang. *Variable Bit Rate*). Standard Dolby Digital (AC-3), omówiony krótko w roz. 5 znalazł zastosowanie także w zapisie dźwięku dla DVD do odtwarzania dźwięku sześciokanałowego.

Na zakończenie warto wspomnieć o opracowanej w drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych koncepcji modyfikacji formatu płyty kompaktowej (CD), pod nazwą DSD (ang. *Direct Stream Digital*). Ze względu na oczywistą potrzebę zapewnienia kompatybilności z wcześniej stosowanym formatem, zachowano ten sam sposób budowy kodu, który pozwala na wykorzystanie 16-bitowej liniowej kwantyzacji PCM. We wcześniejszych rozwiązaniach stosowano technikę kształtowania widma szumów (*Super Bit Mapping* - patrz roz. 3), która pozwala na obniżenie poziomu szumów przy konwersji nagrań dokonanych techniką 20- lub 24-bitową PCM. Technika DSD wykorzystuje konwersję 1-bitową (patrz roz. 2). Studyjne nagrania w standardzie DSD odznaczają się bardzo wysoką jakością, ponieważ powiększono zakres dynamiczny sygnału do 120 dB i użyteczne pasmo częstotliwości do 100 kHz. Przewagą nowego systemu DSD nad standardem DVD jest pełna kompatybilność z wcześniejszym standardem CD. Stało się to możliwe dzięki opracowaniu dysku hybrydowego. Składa się on z dwóch warstw, zapisanych po tej samej stronie płyty. Warstwa zewnętrzna HD (ang. *High Density*) jest warstwą o zwiększonej gęstości zapisu. Warstwa ta jest skojarzona z zapisem w tzw. formacie Super Audio CD. Druga warstwa (wewnętrzna) odpowiada standardowemu formatowi płyty kompaktowej CD. Pierwsza warstwa pozwala na zapisanie wysokiej jakości dwukanałowego dźwięku stereo oraz dźwięku sześciokanałowego a także tekstu, grafiki i sygnału wideo. Warstwa druga (CD) pozwala na zapis dźwięku o wysokiej jakości, który powstaje w wyniku przetworzenia stereofonicznego dźwięku, który jest zapisany w warstwie pierwszej, przy użyciu wspomnianej wcześniej technologii SBM (*Super Bit Mapping*). Warstwy zapisu nałożone są jedna na drugą. Warstwa CD jest odczytywana przez laser o rozwartości optycznej 0,45 emitujący falę o długości 780 nm. Warstwa HD odczytywana jest przez laser o rozwartości optycznej 0,6 i długości fali 650 nm. Ta warstwa jest przezroczysta dla lasera 780 nm.

Studyjny montaż dźwięku i inne operacje w systemie DSD odbywają się z wykorzystaniem pełnej reprezentacji binarnej, tzn. o takiej rozdzielczości, jak otrzymywana z konwertera. Aby możliwe było dostosowanie formatu studyjnego DSD do formatu płyty kompaktowej (CD), strumień danych w formacie DSD musi być poddany odpowiedniemu przetworzeniu. W tym celu wykorzystuje się decymację i pewną odmianę metody kształtowania widma szumów. Precyzyjny filtr decymacyjny wykorzystuje 32767 odczepów i 64-bitowe wagi (patrz rys. 7-28).

Szczegółowe omówienie powyższych perspektywicznych i jednocześnie skomplikowanych formatów wykracza poza ramy niniejszej pracy, ze względu na konieczność ograniczenia jej objętości.



Rys. 7-28. Schemat blokowy systemu DSD i parametry filtru decymacyjnego

7.2 Sterowanie urządzeniami fonicznymi

7.2.1 Kody czasowe

Zadaniem kodu czasowego jest dokładne oznaczenie miejsca na taśmie poprzez zapisanie godziny, minuty, sekundy i numeru ramki. Te cztery składniki noszą nazwę wartości kodu. Pojęcie ramki wywodzi się z techniki telewizyjnej, gdzie stanowi ona odpowiednik jednego obrazu telewizyjnego.

Kod czasowy SMPTE

Kod czasowy w standardzie ustanowionym przez SMPTE (*Society of Motion Picture and Television Engineers*) przypisuje każdej ramce wizyjnej ramkę kodu zawierającą pewien ciąg binarny. Standard kodu czasowego, zaaprobowany przez SMPTE, określa norma amerykańska, która opisuje "kontrolny kod czasowy dla taśm wizyjnych i fonicznych w telewizyjnych systemach o 525 liniach i 60-ciu ramkach". Ze względu na istnienie kilku standardów telewizyjnych powstało kilka standardów kodu czasowego różniących się jedynie zakresem zmian licznika ramek oraz czasem trwania ramki. Jako pierwszy opracowano standard SMPTE dla telewizji amerykańskiej o częstotliwości powtarzania ramek 29.97 lub 30 [1/s]. Wprowadzony później standard telewizji europejskiej EBU (*European Broadcasting Union*) kodu czasowego przewiduje 25 ramek/s i określony jest mianem SMPTE/EBU. Dla urządzeń filmowych przyjęto standard o cyklu 24 ramek/s. Układy synchronizacji powinny umożliwiać współpracę urządzeń o różnym standardzie kodu.

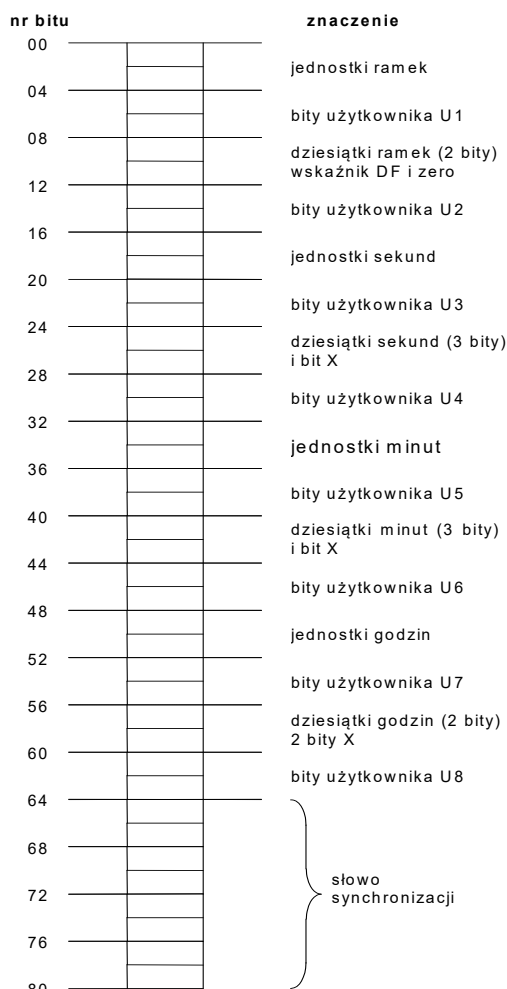
Podstawową jednostką kodu jest ramka. Każda ramka składa się z 80-ciu bitów, co oznacza, że w różnych standardach kodu czasowego jest stosowana różna przepływność binarna kodu. Kod jest przesyłany w sposób ciągły, tzn. koniec jednego bitu oznacza początek następnego a koniec jednej ramki stanowi początek następnej. Strukturę ramki przedstawiono na rysunku 7-29. Informacja o czasie ma format hh:mm:ss:ff i zapisana jest w kodzie BCD, co wymaga łącznie 32 bitów. Ponieważ zakres zmian licznika dziesiątek sekund i minut wymaga użycia tylko trzech bitów, lub dwóch w przypadku godzin, pozostają niewykorzystane bity, oznaczone na rysunku jako X. Jeden z nich został zarezerwowany przez standard SMPTE do wskazywania, czy kod współpracuje z systemem telewizji monochromatycznej NTSC o częstotliwości powtarzania ramki 30 Hz, czy

też z systemem telewizji kolorowej o częstotliwości 29,97 Hz. W tym drugim przypadku pomija się w każdej minucie, z wyjątkiem minut 10, 20, 30 itd., dwie ramki, co w wyniku daje efektywną częstotliwość ich powtarzania 29,97 Hz i pozwala uniknąć niepożądanego przesunięcia czasowego obrazu oraz towarzyszącej jemu wartości kodu. Wskaźnik $DF = 1$ oznacza pracę w cyklu 29,97 Hz. Kolejne 32 bity każdej ramki pozostawione są do dyspozycji użytkownika. Można je wykorzystać do detekcji i korekcji błędów przy odczycie kodu przez umieszczenie w ich miejsce bitów kodu protekcyjnego. Jest też możliwość umieszczenia tam informacji tekstowej towarzyszącej zapisowi dźwięku lub obrazu, służącej do identyfikacji nagrania takiej jak: data, miejsce, wykonawca, tytuł nagrania, uwagi realizatora itd. Dość duża przepływność binarna, wynosząca np. dla standardu SMPTE/EBU: $32\text{bity} \cdot 25\text{ ramek/s} = 800\text{ bit/s}$, pozwala na elastyczne wykorzystanie tego kanału binarnego. Pozostałe 16 bitów zawiera słowo synchronizacji. Dwa bajty o wartościach FC i FB (w kodzie heksadecymalnym) pozwalają na jednoznaczną detekcję słowa synchronizacji, ponieważ w poprawnym zapisie kodu czasowego taka sekwencja bitów może wystąpić tylko w miejscu słowa synchronizacji. Przyjęta postać tego słowa pozwala na łatwe określenie kierunku przesuwu taśmy z nagraniem kodem. Odczytana sekwencja 0011 1111 1111 1101 oznacza kierunek "do przodu", natomiast 1011 1111 1111 1100 "do tyłu".

Istnieją dwie odmiany kodu SMPTE. Kod "wzdłużny" oznaczany jest skrótem LTC (*Longitudal Time Code*). Obok tego rodzaju kodu, którego struktura została pokazana na rys. 7-29, istnieje odmiana określana skrótem VITC (*Vertical Interval Time Code*), która jest kodem "wertikalnym". Kod ten jest zapisywany na ścieżkach wizyjnych magnetowidów. Ze względu na fakt, że szerokość ścieżki wykorzystywanej w zapisie z wirującą głowicą jest bardzo mała, zapis ten jest w małym stopniu odporny na błędy. Dlatego w strukturze kodu (na ośmiu ostatnich bitach) przewidziano miejsce na kod protekcyjny CRCC. Bity synchronizacji umieszcza się w tym przypadku (po dwa) pomiędzy poszczególnymi blokami informacyjnymi.

Kod czasowy nie wymaga do zapisu specjalnej ścieżki. W niektórych magnetofonach dwuśladowych do zapisu kodu czasowego stosuje się jednak dodatkową wąską ścieżkę umieszczoną między ścieżkami fonicznymi. W magnetofonach wielośladowych i magnetowidach kod czasowy może być zapisywany na jednej ze ścieżek fonicznych. Informacja zawarta w ramce kodowana jest przy pomocy modulacji bifazowej typu *Manchester* (patrz roz. 5). W tym rodzaju modulacji początek i koniec każdego bitu sygnalizowany jest zmianą fazy sygnału odpowiednio z 1 na 0 lub z 0 na 1. Jeżeli kodowany bit ma wartość 1, to następuje dodatkowa zmiana fazy w środku trwania bitu. Gdy bit ma wartość 0, zmiana taka nie następuje. Sygnał zapisywany na taśmie ma postać fali prostokątnej. Użyta modulacja *Manchester* jest szczególnym przypadkiem modulacji z kluczowaniem

częstotliwości: logicznemu zeru odpowiada częstotliwość f_1 a logicznej jedynce $2f_1$. Aby ograniczyć przesłuchy sygnału kodu czasowego do kanałów fonicznych, zwłaszcza w zakresie wysokich częstotliwości, efektywne pasmo sygnału kodu ograniczone jest od 17.5 kHz a sygnał kodu zapisywany jest z poziomem 20 dB niższym w stosunku do poziomu sygnałów fonicznych. Na rysunku 7-30 przedstawiono przykładową ramkę kodu czasowego SMPTE. Wartość kodu odpowiada: 18 godzinie, 47 minucie, 25 sekundzie, 13 ramce. Na pozycjach bitów użytkownika zapísano w pokazanym przykładzie zera.

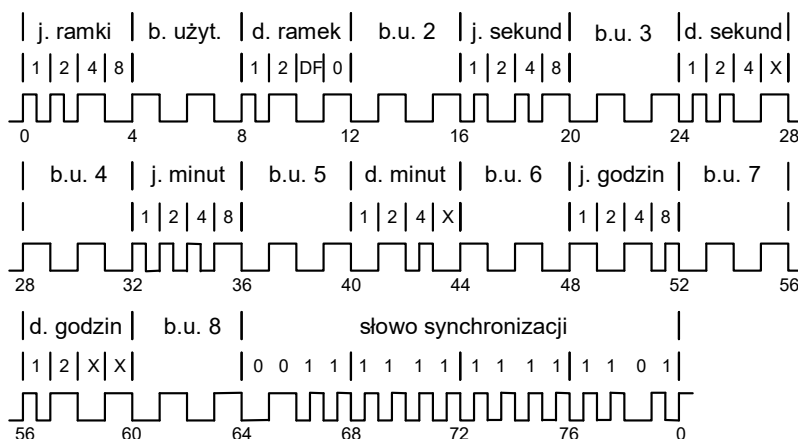


DF (Drop Frame flag) – wskaźnik pomijania ramek

1 oznacza pomijanie, 0 normalnie

X – bit nieokreślony, zero do momentu określenia funkcji

Rys. 7-29. Struktura ramki kodu SMPTE (kod LTC)



Rys. 7-30. Przykład ramki kodu SMPTE

Kod czasowy MIDI

W standardzie kodu sterującego MIDI (patrz następny paragraf) przewidziano komunikat niosący informację o czasie, jaki upłynął od chwili rozpoczęcia odtwarzania sekwencji. Tę rolę spełnia komunikat *MIDI Clock*. Jednak w ten sposób określony czas jest względny, gdyż zależy od ustawianego tempa, odpowiadającego czasowi trwania ćwierćnoty. W technice studyjnej, a zwłaszcza przy montażu dźwięku towarzyszącego obrazowi, istotny jest bezwzględny upływ czasu. Z tego względu standard MIDI został wzbogacony o komunikaty kodu czasowego MIDI (*MIDI Time Code - MTC*).

MTC stanowi odpowiednik kodu SMPTE, przeznaczony do odbioru przez urządzenia pracujące w standardzie MIDI. Dzięki temu informacja o czasie może być dołączona do strumienia innych komunikatów MIDI. Podobnie jak wszystkie inne komunikaty MIDI, MTC nie może być bezpośrednio zapisany na taśmie ale dzięki temu, że zawiera informacje równoważne kodowi SMPTE, w tym informacje o ilości ramek i bity użytkownika, MTC jest wymienny z kodem SMPTE.

Informacja o wartości kodu SMPTE (hh:mm:ss:ff) w MTC jest kodowana za pomocą 8 komunikatów wysyłanych w czasie transmisji dwóch ramek. Informacja zakodowana w bitach użytkownika kodu SMPTE w MTC jest przesyłana komunikatem *User Bits*, który może być zastosowany np. do oznaczania na taśmie daty nagrania lub numeru taśmy. Kod czasowy MIDI umożliwia programowanie sekwencerów a także innych urządzeń. Służy do tego grupa komunikatów *Set-Up*. Dzięki nim możliwe jest utworzenie i przesłanie do sekwencera listy poleceń ("zdarzeń" - *events*),

które mają zostać wykonane w chwili osiągnięcia określonej wartości kodu czasowego. Komunikaty *Set-Up* umożliwiają także montaż poszczególnych zdarzeń oraz ustawianie globalnych parametrów, jak np. czasu względnego od początku nagrania (*Time Code Offset*). Wprowadzenie komunikatów *Set-Up* stanowi znaczny postęp na drodze do integracji sterowania urządzeniami MIDI.

7.2.2 Kody sterujące – standard MIDI

Wspomniany w poprzednim paragrafie kod sterujący MIDI został wprowadzony do celu sterowania elektronicznymi instrumentami muzycznymi (patrz także roz. 8). Jednak obecnie lista zastosowań standardu MIDI, który normalizuje interfejs i konstrukcję kodu, jest dużo dłuższa, co wynika z faktu, że kod MIDI stosuje się do sterowania dowolnego typu urządzeniami fonicznymi, co jest wykorzystywane zwłaszcza w cyfrowej technice studyjnej.

7.2.2.1 Warstwa sprzętowa interfejsu

Interfejs pracuje w trybie asynchronicznym z bitem startu, 8 bitami danych (D0 - D7) i bitem stopu. Szybkość transmisji wynosi 31,25 ($\pm 1\%$) kb/s. Sygnały transmitowane są poprzez pętlę prądową (prąd o wartości 5 mA), przy czym przepływ prądu oznacza logiczne 0. Poszczególne urządzenia są wzajemnie izolowane galwanicznie przez zastosowanie optoizolatorów. Złącza są oznaczone jako "MIDI IN" i "MIDI OUT". Wyjście "MIDI THRU" odtwarza strumień danych trafiających do wejścia "MIDI IN".

7.2.2.2 Format danych

Komunikacja w systemie MIDI odbywa się przy pomocy wielobajtowych "komunikatów" na które składają się bajt *statusu* (*Status byte*) po którym następują jeden lub dwa bajty danych (*Data bytes*). Wyjątek stanowią komunikaty *Real-Time*, które składają się tylko z bajtu statusu oraz komunikaty typu *Exclusive*, które mogą zawierać dowolną liczbę bajtów danych. Bajt statusu, którego MSB=1, służy do określenia rodzaju przesyłanego komunikatu tzn. do oznaczenia następujących po nim bajtów danych. Z wyjątkiem statusu typu *Real-Time*, w przypadku otrzymania nowego bajtu statusu odbiornik przyjmuje nowy status, nawet jeśli poprzedni komunikat nie został w całości odebrany. Bajty danych, których MSB = 0, służą do przesyłania zasadniczej treści komunikatu. Liczba i zakres bajtów danych zależą od rodzaju komunikatu. Po każdym bajcie statusu musi nastąpić odpowiednia liczba bajtów danych. Dekodowanie

komunikatu i wykonanie związanych z nim poleceń następuje w odbiorniku dopiero po otrzymaniu wszystkich bajtów danych wymaganych przez bieżący status. Odbiornik ignoruje bajty danych, których liczba nie odpowiada zadeklarowanemu wcześniej statusowi.

Rodzaje komunikatów występujących w systemie MIDI:

- Komunikaty kanałowe (*Channel Messages*)
- Komunikaty głosowe (*Voice Messages*)
- Komunikaty trybu pracy (*Mode Messages*)
- Komunikaty systemowe (*System Messages*)
- Komunikaty wspólne (*System Common Messages*)
- Komunikaty synchronizacji systemu (*Real-Time Messages*)
- Komunikaty niestandardowe (*System Exclusive*)

Komunikaty kanałowe (*Channel messages*)

Komunikaty kanałowe służą do przesłania informacji bezpośrednio związanych z brzmieniem odtwarzanej sekwencji. W jednym strumieniu danych (wysyłanym przez jedno wyjście MIDI OUT) wydzielono 16 niezależnych kanałów, dzięki czemu możliwe jest selektywne nadawanie i odbiór danych przez poszczególne urządzenia.

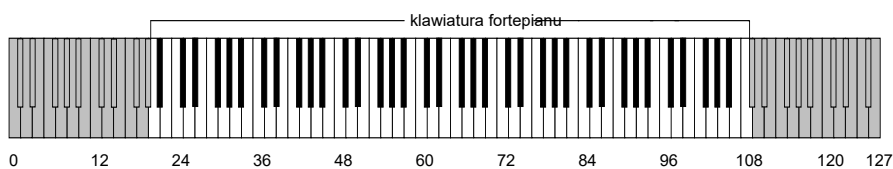
Komunikaty trybu pracy (*Mode Messages*)

Syntetyzery foniczne zawierają układy generujące dźwięk zwane głosami (*Voices*). W celu określenia zależności pomiędzy szesnastoma kanałami MIDI a głosami syntetyzerów musi zostać zdefiniowany tryb pracy odbiornika i nadajnika. Zarówno odbiornik, jak i nadajnik mogą pracować w jednym i tylko jednym trybie. Zwykle nadajnik i odbiornik pracują w tym samym trybie. Tryb współpracy określony jest przez dwa parametry określające polifonię oraz przypisanie głosów do poszczególnych kanałów. Pozostałe komunikaty umożliwiają wyłączenie wszystkich nut lub dźwięków uprzednio włączonych w danym kanale, zerowanie regulatorów oraz sterowanie trybem pracy klawiatury.

Komunikaty głosowe (*Voice Messages*)

Komunikaty głosowe określają w sposób parametryczny cechy dźwięków wydobywanych z instrumentu. W standardzie MIDI przewidziano kilka parametrów odpowiedzialnych za sterowanie barwą i wysokością dźwięku. Wysokość dźwięku określana jest przez tzw. Numer nuty (*Note number, Pitch*) oraz położenie regulatora oznaczonego jako "Płynna zmiana wysokości dźwięku" (*Pitch Wheel, Pitch Bender*). Numer nuty jest to liczba z przedziału 1-127 przesłana jako bajt danych odpowiedniego komunikatu.

Kolejne numery odpowiadają kolejnym dźwiękom skali chromatycznej – patrz rys. 7-31.



Rys. 7-31. Numery nut MIDI na skali chromatycznej

Rzeczywistą wysokość dźwięku określonego numerem nuty wskazuje położenie regulatora płynnego, umożliwiającego transpozycję danego dźwięku (w zakresie co najmniej 2 półtonów). Barwę dźwięku kształtować można za pomocą kilku parametrów:

- Wybór barwy (*Program Change*) - pozwala na wybór instrumentu, którego barwę syntetyzuje instrument;
- Szybkość naciśnięcia/zwolnienia klawisza (*Velocity*) - szybkość naciśnięcia klawisza określa głośność brzmienia dźwięku zaś szybkość zwolnienia klawisza bywa różnie interpretowana przez instrument np. decyduje o długości pogłosu.;

Parametry nacisku klawisza (*Polyphonic Key Pressure*), (*Channel Pressure/After Touch*) - umożliwiają kształtowanie barwy dźwięku już trwającego np. przez wprowadzenie modulacji głośności, wibrata.

Ustawienie kontrolera (*Control Change, Parameter*) - parametry reprezentujące informację o stanie innych regulatorów (np. pedału pogłosu, głębokości wibracji itp.), których wpływ na barwę jest różny dla różnych instrumentów a nawet barw tego samego instrumentu.

Komunikaty systemowe (*System Messages*)

Komunikaty systemowe służą do przesyłania informacji pomocniczych systemu MIDI. Są wysyłane do wszystkich urządzeń, w których została uwzględniona reakcja na dany komunikat. W przeciwnym wypadku komunikat jest ignorowany przez odbiornik. W systemie MIDI używane są trzy typy komunikatów systemowych:

- *Common* - Komunikaty wspólne
- *Real-Time* - Komunikaty synchronizacji systemu
- *Exclusive* - Komunikaty w formatach niestandardowych

Komunikaty wspólne (*CommonMessages*) i Komunikaty czasu rzeczywistego (*Real-Time Messages*)

Głównym przeznaczeniem komunikatów wspólnych i komunikatów czasu rzeczywistego jest synchronizacja poszczególnych urządzeń a w szczególności obsługa sekwencerów i automatów perkusyjnych. Poszczególne komunikaty umożliwiają m.in. rozpoczęcie i zatrzymanie odtwarzania sekwencji, wybór sekwencji, ustalenie punktu startu odtwarzania itp. Informacja o upływie czasu odtwarzanej sekwencji przesłana jest za pomocą wspólnego dla wszystkich urządzeń Komunikatu zegarowego (*Clock*). Pełni on w systemie rolę metronomu i jest wysyłany 24 razy w czasie trwania ćwierćnoty. W systemie może występować tylko jedno urządzenie wysyłające ten sygnał, wszystkie pozostałe urządzenia są odbiornikami i dostosowują swoje wewnętrzne zegary do tempa nadchodzących komunikatu zegarowego.

Pozostałe komunikaty służą do testowania sprawności połączeń w systemie, resetowania systemu oraz strojenia syntetyzerów analogowych.

Komunikaty niestandardowe (*System Exclusive Messages*)

Standard MIDI przewidziany był początkowo wyłącznie do obsługi syntetyzerów. Przewidziane w systemie komunikaty kanałowe w zasadzie wystarczają do obsługi odtwarzania sekwencji, jednak w miarę rozwoju syntetyzerów (np. samplerów) oraz pojawiania się innych zdalnie programowanych urządzeń fonicznych zaistniała potrzeba ich obsługi przez MIDI (patrz następny paragraf). W tym celu zarezerwowano w systemie status Komunikatu niestandardowego (*System Exclusive*). Dzięki niemu możliwe jest przesyłanie danych, np. ciągu próbek dźwięku do samplera, parametrów brzmienia czy połączeń komutacyjnych krosownicy, w specyficznym dla producenta danego urządzenia formacie. W celu rozróżnienia producentów urządzeń a nawet poszczególnych urządzeń danego producenta wprowadzono system identyfikatorów producenta ID oraz identyfikatory urządzenia. Szczególnym rodzajem urządzeń MIDI są konwertery kodów czasowych SMPTE/MTC. Do ich obsługi (oraz obsługi czasu bezwzględnego) również zarezerwowano pewną grupę komunikatów (patrz par. 7.2.1).

7.2.2.3 Sterowanie urządzeniami fonicznymi za pomocą kodu MIDI

Wprowadzenie systemu MIDI znacznie ułatwiło integrację urządzeń fonicznych w spójny system. Jednak nawet dokładne sprecyzowanie standardu nie rozwiązuje problemu łączenia (krosowania) urządzeń wymieniających dane MIDI. O ile do prawidłowego połączenia kilku urządzeń wystarczają wbudowane w urządzenia wyjścia MIDI OUT i MIDI THRU i wejście MIDI IN, to zbudowanie dużego systemu wymaga stosowania dodatkowych urządzeń umożliwiających rozdzielanie

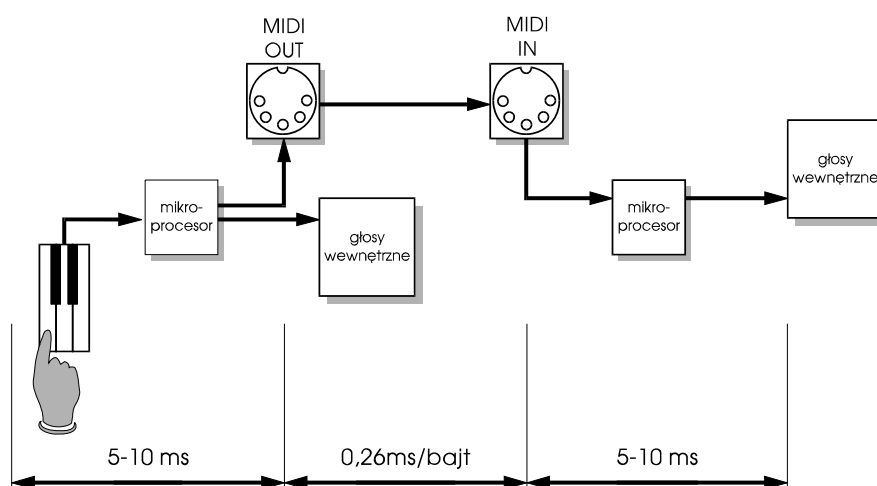
(zwielokrotnianie), przekierkowanie i komutację sygnałów. Urządzenia te muszą być stosowane także w celu minimalizacji opóźnień pomiędzy sygnałami docierającymi do poszczególnych urządzeń. Istotnym problemem jest bowiem powstawanie opóźnień w łańcuchu MIDI. Na powstawanie tych opóźnień składa się kilka czynników:

- ograniczona szybkość przetwarzania danych w urządzeniu nadrzędnym (np. w sekwencerze)
- skończona szybkość transmisji danych przez łącze MIDI
- szybkość interpretacji i wykonania komunikatów w odbiorniku
- opóźnienia spowodowane łańcuchowym połączeniem odbiorników

Przyjęty w systemie MIDI cyfrowy, szeregowy sposób przesyłania sygnałów wprowadza kolejne opóźnienia wynikające z faktu, że w danej chwili może być przesłany tylko jeden bit. Standardowa szybkość transmisji, wynosząca 31250 bit/s nie jest wysoka, jednak oznacza możliwość przesłania w czasie 1 sekundy ponad 1000 komunikatów 3-bajtowych (np. typu *włącz nutę*). Akordy są przesyłane kolejno, po jednej nucie. Zatem przesłanie 16-nutowego akordu trwa 15.4 ms. Opóźnienie pomiędzy kolejnymi nutami akordu wynosi 0.96 ms, co jest wielkością niewykrywalną słuchowo. Opóźnienie to może wzrosnąć, jeśli pomiędzy kolejnymi nutami będą przesyłane inne komunikaty, np. odnoszące się do innego kanału. Ten problem może być częściowo rozwiązany przez odpowiednie ustawienie priorytetów komunikatów w nadajniku. Zwiększenie przepustowości złącza MIDI można uzyskać m.in. stosując filtrację komunikatów, które nie są rozpoznawane przez odbiorniki. Główne przyczyny opóźnień w systemie MIDI leżą w samych instrumentach. Ilustrację tego problemu przedstawia rysunek 7-32. Od czasu naciśnięcia klawisza do chwili rozpoczęcia generacji dźwięku (w tym samym instrumencie) upływa 5 do 10 ms. Jedną z przyczyn tego zjawiska jest sekwencyjne przeszukiwanie klawiatury w instrumencie. Wykrycie naciśnięcia klawisza musi zostać zamienione na odpowiedni komunikat MIDI. Z kolei odebrany przez urządzenie podrzędne komunikat musi zostać zinterpretowany i wykonany, co trwa kolejne 5 do 10 ms. A zatem, nawet przy tak prostym połączeniu dwóch urządzeń występują zauważalne opóźnienia. Opisane zjawisko ma charakter stały, indywidualny dla danego instrumentu, dzięki czemu może być kompensowane przez stosowanie w sekwencerach ujemnych opóźnień ścieżek. Co więcej, zjawisko to może zostać wykorzystane do rozładowywania kolejek komunikatów w nadajniku poprzez rozłożenie chwil ich wysłania w taki sposób, aby odpowiednia reakcja na nie następowała synchronicznie. W tym samym celu stosuje się niekiedy specjalne linie opóźniające.

Największe opóźnienia powstają przy zastosowaniu łańcuchowego połączenia urządzeń MIDI z wykorzystaniem wyjść MIDI THRU, jak na rys. 7-33. Dzieje się tak m.in. na skutek zastosowania optoelektronicznej

izolacji pomiędzy urządzeniami. W celu wyeliminowania tego zjawiska stosuje się rozgałęźniki sygnału MIDI (*THRU Box*). Wszystkie urządzenia otrzymują wtedy sygnał równocześnie, przy czym jest on opóźniony w stosunku do sygnału nadawanego o czas opóźnienia rozgałęźnika tj. o ok. 3 ms.



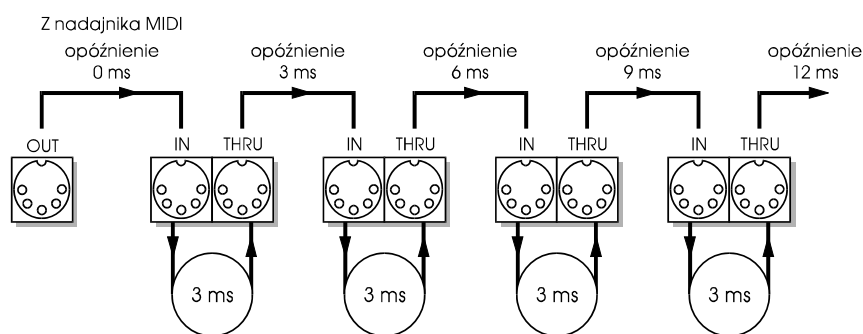
Rys. 7-32. Powstawanie opóźnień w instrumentach

Na rysunku 7-34 przedstawiony został przykładowy system, który został zaprojektowany z myślą o nagrywaniu w czasie rzeczywistym muzyki elektronicznej. Przy projektowaniu systemu z rys. 7-34 zostały uwzględnione następujące wymagania:

- możliwość odtwarzania całości przygotowanej sekwencji bez dogrywania
- indywidualne przetwarzanie sygnałów pochodzących z każdego syntetyzera
- synchronizowana muzyką zmiana parametrów procesorów
- możliwość gry "na żywo" w czasie odtwarzania sekwencji

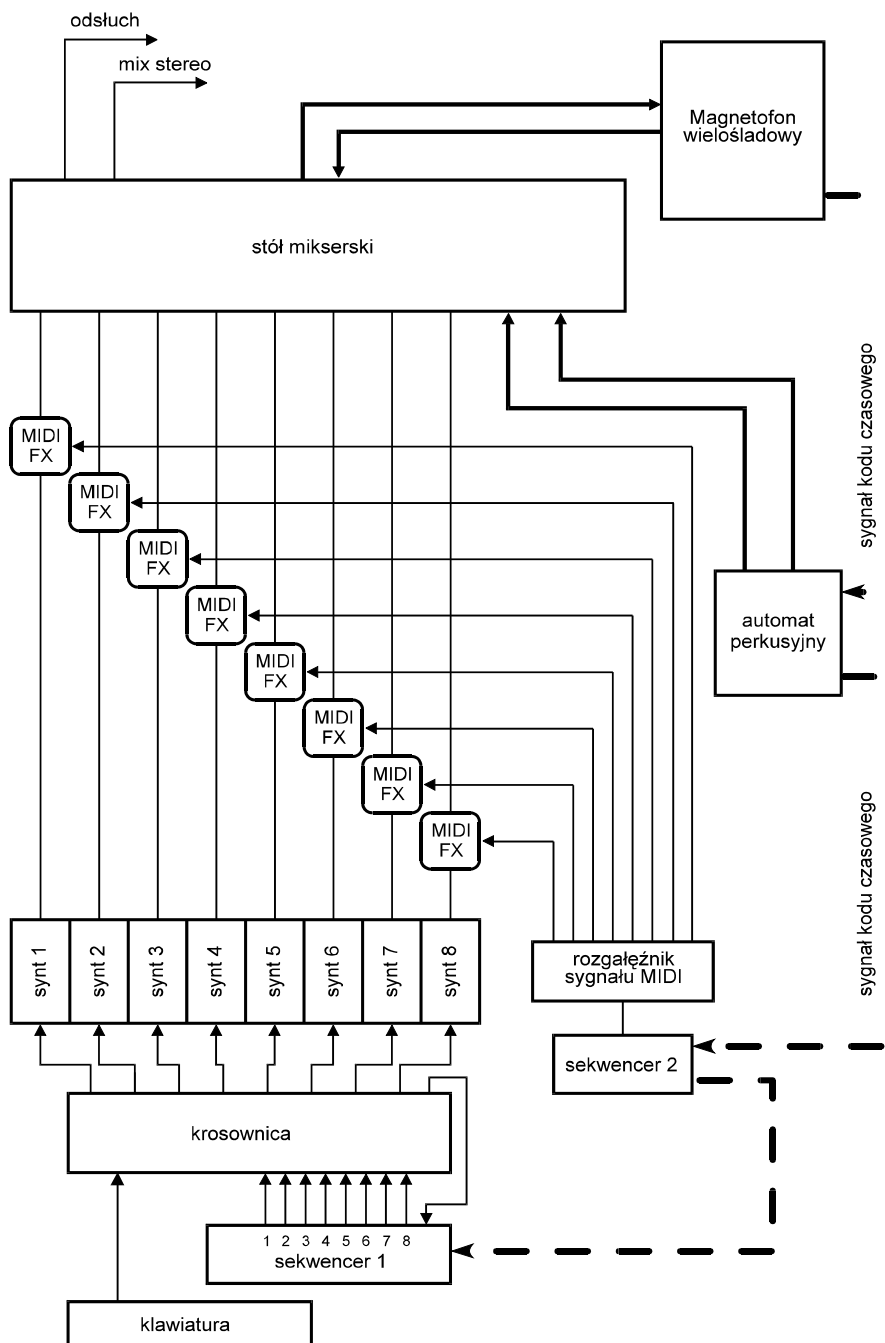
W omawianym przykładzie automat perkusyjny jest synchronizowany z zapisanym na taśmie tonem synchronizującym (funkcja *Sync-to-tape* automatu perkusyjnego) i dostarcza sygnału odniesienia czasu dla sekwencerów. Krosownica 10x10 umożliwia sterowanie wielu instrumentów przez zwielokrotnione wyjście sekwencera. Zwielokrotnianie sygnałów MIDI pozwala na zmniejszenie opóźnień sygnałów (poprzez równoległe, a nie szeregowe połączenie urządzeń). Drugi sekwencer automatyzuje sterowanie procesorami dźwięku, dzięki czemu sekwencer główny jest mniej obciążony. W opisanym systemie dźwięki syntetyczne nie muszą być

zapisywane na taśmie, dzięki czemu ślady magnetofonu wielośladowego mogą być wykorzystane do dogrania instrumentów naturalnych lub głosów solistów. Pomimo licznych ograniczeń, wynikających głównie z małej przepływności binarnej, system MIDI znalazł zastosowanie również do automatyzacji konsol mikerskich. Zagadnienia związane z automatyzacją stołów reżyserskich będą dokładniej omówione w par. 7.3.



Rys. 7-33. Powstawanie opóźnień w łańcuchu urządzeń MIDI

Różni producenci urządzeń studyjnych w odmienny sposób wykorzystują możliwości standardu MIDI. W najprostszym przypadku poszczególne regulatory ustawiane są komunikatami *Continuous Control*. Z użyciem opcji *Running Status* możliwe jest wysłanie ok. 1500 komend na sekundę przy rozdzielczości 128 kroków. System MIDI umożliwia użycie komunikatów *Continuous Control* parami, co zwiększa rozdzielczość do 16384 kroków przy przepływności ok. 750 komend na sekundę. Więcej możliwości daje projektantom systemów wykorzystanie komunikatów *System Exclusive*. Najkrótsza komenda zajmuje 5 bajtów, co oznacza przepływność 600 komend na sekundę. Przepływność ta może zostać zwiększona przez użycie komend *System Exclusive* rozciągniętych w czasie, wewnątrz których mogą być przesyłane pojedyncze bajty realizujące pojedyncze komendy. Wysyłając nagłówek i status *End of Exclusive* co kilka sekund można wewnątrz komunikatów osiągnąć przepływność ok. 3000 B/s. Przy użyciu typowego sekwencera możliwe jest uzyskanie rozdzielczości 128 kroków (pojedynczy komunikat *Continuous Control*), zaś przy zastosowaniu oprogramowania dedykowanego rozdzielczość może osiągnąć 256 kroków (przy zastosowaniu kombinacji komunikatów *Continuous Control* i *System Exclusive*).



Rys. 7-34. Przykładowa konfiguracja studia nagrań (tzw. MIDI-studio)
MIDI FX - procesor dźwięku sterowany kodem MIDI

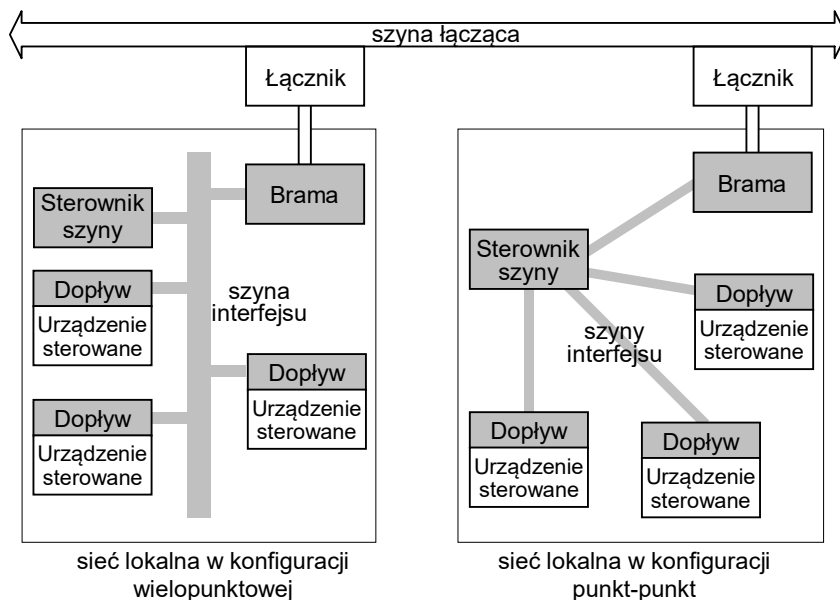
7.2.3 Standard EsBus

Standard EsBus został stworzony głównie do celów sterowania urządzeniami studia nagrań. Jest oparty na koncepcji "inteligencji rozproszonej", zgodnie z którą każde kontrolowane lub kontrolujące urządzenie jest dołączone do systemu za pomocą "inteligentnego" interfejsu, którego zadaniem jest wykonywanie wszystkich lokalnych operacji związanych z wykonaniem zadanego polecenia. Inteligentny interfejs nosi w systemie ESbus nazwę dopływu (ang. *tributary*). Zastosowanie tzw. rozproszonej inteligencji stwarza użytkownikowi szereg możliwości np.:

- możliwość dokonywania zmian konfiguracji systemu w czasie pracy
- niską awaryjność (uszkodzenie pojedynczego elementu nie wpływa na pracę całości systemu)
- redukcję liczby poleceń krytycznych czasowo
- niezależność systemu od typu urządzeń

7.2.3.1 Architektura systemu ESbus

Podstawową jednostką funkcjonalną systemu jest sieć lokalna. Główne elementy systemu zostały przedstawione na rysunku 7-35.



Rys. 7-35. Schemat systemu ESbus (przedmiotem specyfikacji standardu ESbus są elementy zaznaczone szarym kolorem)

Szyna interfejsu jest sprzętowym kanałem komunikacyjnym, w którym komunikaty są przesyłane z szybkością 38,4kbit/s pomiędzy dopływem a kontrolerem szyny. Standard transmisji jest zgodny z normą RS422. Transmisja odbywa się w trybie dwuparowym. Długość dwuparowego przewodu nie powinna przekraczać 1220 m.

Kontroler szyny (ang. *bus controller*) jest elementem każdej sieci lokalnej. Jego zadaniem jest nadzorowanie komunikacji pomiędzy pozostałymi urządzeniami dołączonymi do sieci lokalnej zgodnie z przewidzianym protokołem nadrzędnym (ang. *Supervisory Protocol*). Kontroler szyny może być elementem urządzenia pełniącego w systemie funkcje pomocnicze np. panelu sterującego. W sieci może znajdować się tylko jeden aktywny kontroler, ale może być on wspólny dla kilku sieci lokalnych.

Dopływ służy do dołączenia sterowanego urządzenia do sieci. Może on być jego integralną częścią lub osobnym urządzeniem. Dopływ pełni rolę interfejsu sieciowego, którego zadaniem jest synchronizacja przepływu danych, wykrywanie błędów transmisji oraz przekazywanie komunikatów sterujących do i od sterowanego urządzenia.

Szyna łącząca (ang. *interconnection bus*) umożliwia łączenie poszczególnych sieci lokalnych, dzięki czemu możliwa jest wymiana komunikatów pomiędzy dopływami znajdującymi się w różnych sieciach lokalnych.

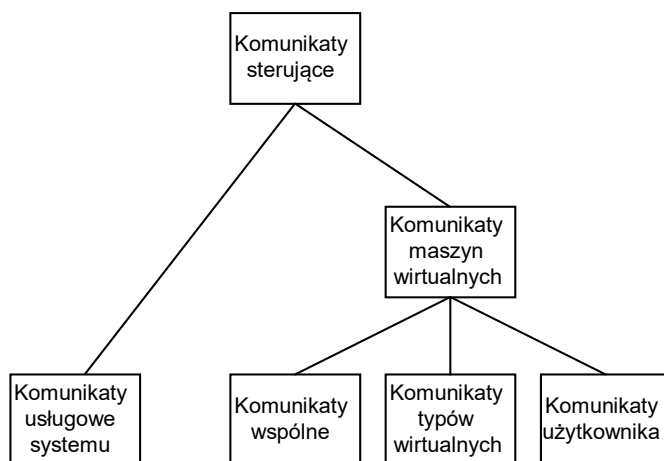
Brama (ang. *gateway*) jest elementem umożliwiającym dołączanie sieci lokalnych do szyny łączącej. Spełnia ona funkcję translatora pomiędzy protokołami używanymi w sieci lokalnej i sieci globalnej.

Jak zaznaczono na rysunku 7-35, sieć lokalna może być zorganizowana jako wielopunktowa (ang. *multipoint configuration*) lub posiadać wiele połączeń punkt-punkt (ang. *point-to-point configuration*). W konfiguracji punkt-punkt szyna interfejsu pełni rolę pojedynczego kanału komunikacyjnego i jest połączona tylko z jednym dopływem. Kontroler szyny może obsługiwać więcej niż jedną szynę. Zaletą tego rozwiązania jest szybkość, gdyż możliwy jest jednoczesny dostęp do wszystkich urządzeń. W konfiguracji wielopunktowej jeden aktywny kontroler szyny obsługuje jedną szynę interfejsu, do której może być dołączony więcej niż jeden dopływ. Zaletą tej sieci jest prostota i niski koszt okablowania, jednak zachodzi problem arbitrażu priorytetu komunikatów przesyłanych przez wspólny kanał. Wybór konfiguracji zależy od liczby dołączonych urządzeń, ich typu, średniej długości komunikatów oraz wymaganego czasu reakcji systemu.

7.2.3.2 Architektura komunikatów sterujących

Opisując składnię komunikatów specyfikacja standardu ESbus wprowadza pojęcie maszyny wirtualnej (ang. *virtual machine*), która jest urządzeniem logicznym składającym się z jednego lub więcej urządzeń, a której zachowanie jest reprezentatywne dla pewnej grupy urządzeń np. magnetowidów. Zastosowanie pojęcia maszyny wirtualnej przy definiowaniu komunikatów umożliwia stworzenie architektury niezależnej od typu urządzeń.

Komunikaty systemu ESbus zostały podzielone na dwie kategorie: nadzorujące (ang. *supervisory*) i sterujące (ang. *control*). Pierwsze służą do nadzorowania kanału komunikacyjnego i zarządzania przepływem informacji a drugie do zarządzania funkcjami wykonywanymi przez dołączone urządzenia. Klasyfikacja komunikatów sterujących została przedstawiona na rysunku 7-36.



Rys. 7-36. Komunikaty sterujące w standardzie ESbus

Komunikaty maszyn wirtualnych (ang. *virtual machine messages*) są używane do przekazywania komend i odpowiedzi pomiędzy maszynami wirtualnymi. Komendy są wysyłane przez urządzenie sterujące i powodują wykonanie określonego działania lub wysłanie odpowiedzi przez urządzenie sterowane. Zbiór komunikatów maszyn wirtualnych jest podzielony na podzbiory komunikatów specyficznych dla odpowiednich typów maszyn wirtualnych np. magnetowidy, magnetofony wielośladowe. Każdy taki podzbiór nazywany jest dialektem. Komunikaty wspólne (ang. *common messages*) są zarezerwowane dla głównych funkcji systemu np. restart, wzorzec czasu. Występują one we wszystkich dialektach, chociaż nie w każdej grupie muszą być implementowane. Komunikaty typów

wirtualnych (ang. *type specific messages*) służą do realizacji funkcji specyficznych dla każdej grupy maszyn wirtualnych. Komunikaty użytkownika (ang. *user-defined messages*) umożliwiają realizację poleceń związanych z konkretnym typem urządzenia (producent, model, wersja itp.). Komunikaty usługowe systemu (ang. *system service messages*) są to wszystkie pozostałe komunikaty sterujące. Służą do zarządzania wykonywaniem funkcji systemowych.

7.2.3.3 Protokół transmisji w standardzie ESbus

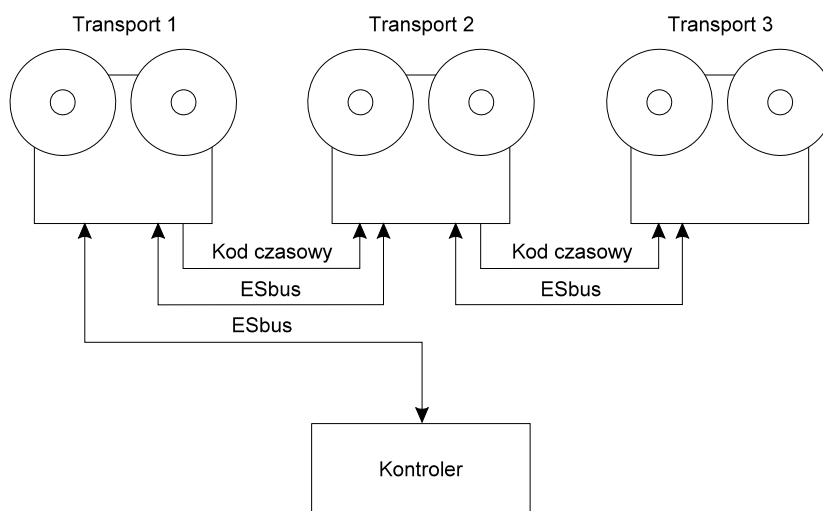
Protokół jest ciągiem znaków stosowanych w celu wymiany komunikatów pomiędzy kontrolerem szyny a dopływami, zabezpieczenia transmisji przed błędami oraz nadzoru nad wykorzystaniem kanału. Dla identyfikacji dopływów współpracujących z kontrolerem szyny w systemie ESbus przewidziany został system adresów. Adres dopływu składa się z dwóch bajtów ale jest kodowany za pomocą 13 bitów, stąd w systemie ESbus możliwe jest adresowanie 8064 dopływów. Każdy dopływ posiada dwa adresy: selekcyjny (ang. *select*) i zasobowy (ang. *pool*). Adres selekcyjny wskazuje aktywny dopływ w sieci a adres zasobowy jest stosowany w celu uzyskania informacji o statusie. Jeden dwubajtowy adres został zarezerwowany jako wywołujący wszystkie dopływy (ang. *all-call select address*). Po wysłaniu takiego adresu wszystkie dopływy dołączone do wielopunktowego systemu jednocześnie odbierają i realizują przesyłane polecenie. Każde źródło może zostać dołączone do jednej lub więcej ze 127 grup. Każda grupa posiada swój adres selekcyjny grupy (ang. *group select address*), który powoduje wybranie wszystkich dopływów należących do wybranej grupy.

W systemach, w których pracuje kilka urządzeń transportowych (magnetofony, magnetowidy) istnieje problem ich synchronizacji. Wiodąca na rynku producentów synchronizatorów firma Audio Kinetics wprowadziła w 1990 roku własną implementację standardu ESbus, pod nazwą Es.Lock 1.11. System ten jest modułowym systemem, dla którego zaprojektowano wiele interfejsów co umożliwia zrealizowanie dowolnego sposobu sterowania. Zasadę tworzenia sieci lokalnej w systemie ES.Lock przedstawiono na rysunkach 7-37 do 7-40. W porównaniu do standardu ESbus w standardzie ES.Lock wprowadzone zostały 4 dodatkowe linie sygnałowe:

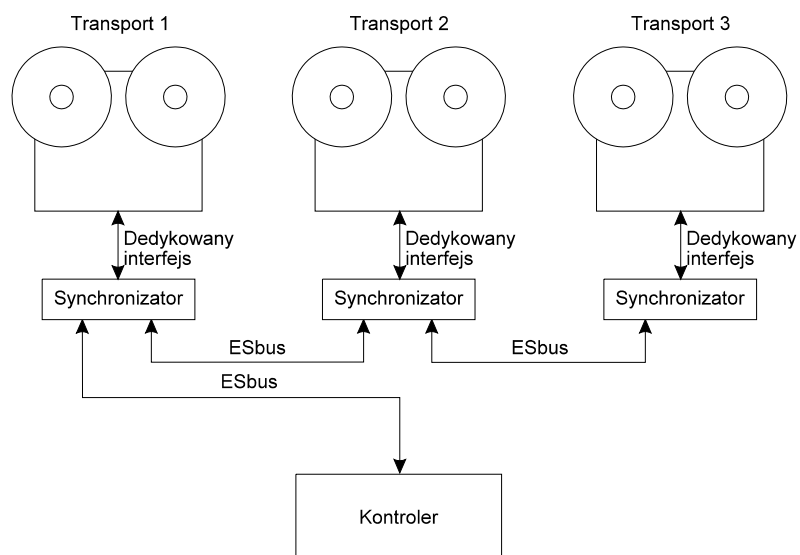
- Time Line Bus - linia dzięki której zostały wyeliminowane ograniczenia związane z konwencjonalnymi systemami synchronizacji, w których wszystkie transporty podrzędne oczekują aż do chwili, gdy transport nadrzędny zostanie włączony i zacznie produkować poprawny, wzorcowy kod czasowy. W standardzie ES.Lock został wprowadzony

praktycznie nieskończenie szybki wirtualny transport nadrzędny (ang. *virtual master*). Jest to program komputerowy, generujący sygnał synchronizujący do którego dostosowują się wszystkie urządzenia rzeczywiste. Czas synchronizacji systemu (ang. *system lock time*) jest równy czasowi synchronizacji najwolniejszego transportu. Jako sygnał odniesienia służy ciąg impulsów które mogą odpowiadać np. impulsom tachometrycznym, impulsom synchronizacji wideo. Sygnał odniesienia jest stabilizowany rezonatorem kwarcowym, zatem jest pozbawiony drżenia i kołysania

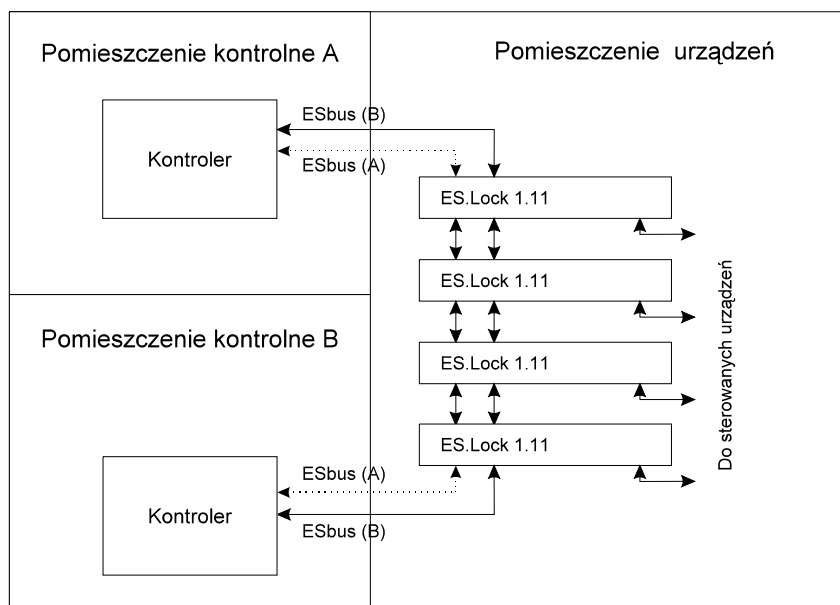
- Frame Bus - linia rozprowadzająca impulsy synchronizacji wideo lub impulsy ramek, przez co wyeliminowana jest konieczność tworzenia oddzielnego okablowania dla impulsów synchronizacji. Sygnał tej linii może służyć jako wzorzec dla linii Time Line lub generatora
- Timecode Bus - linia rozprowadzająca sygnał kodu czasowego, którego źródłem może być dowolny transport lub generator. Sygnał ten może być też wykorzystywany przez urządzenia nie korzystające z systemu ESbus, np. konwertery kodu MTC (*Midi Time Code*)
- Crash Record Bus - linia wprowadzona głównie z myślą o nagraniach z użyciem magnetofonów wielośladowych.



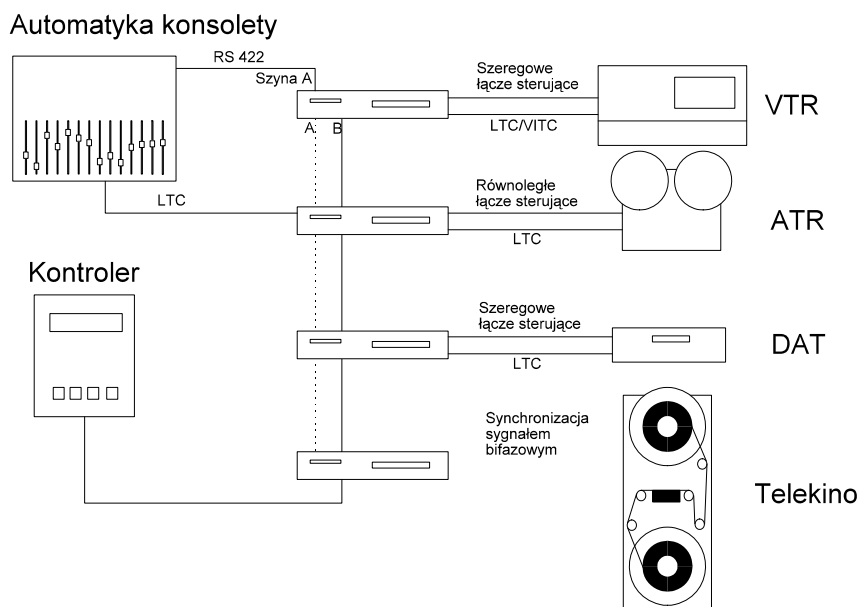
Rys. 7-37. Synchronizacja transportów w systemie ES.Lock



Rys. 7-38. Synchronizacja transportów z wykorzystaniem dodatkowych synchronizatorów



Rys. 7-39. System ES.Lock w rozległym studiu nagrań



Rys. 7-40. Integracja sterowania w systemie ES.Lock

7.2.4 Synchronizacja cyfrowego sygnału fonicznego

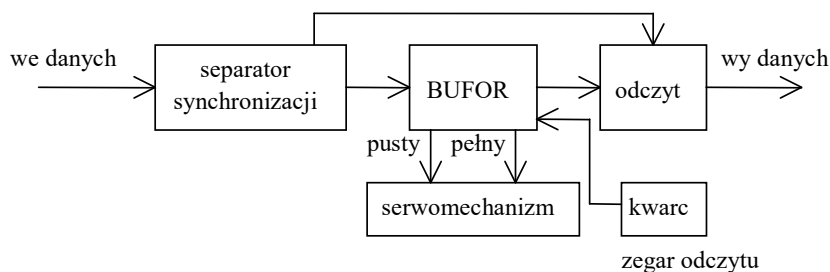
Cyfrowy sygnał foniczny z reguły występuje w postaci szeregowej. Jego przesyłanie, bądź rejestracja opierają się na transmisji asynchronicznej. Zdekodowanie tego typu transmisji po stronie odbiorczej wymaga zatem odtworzenia sygnału taktującego. Najczęściej słowo synchronizacji (patrz rys. 7-41), po jego zdekodowaniu nie służy bezpośrednio do regeneracji zegara lecz jest wykorzystywane do uformowania impulsu kontrolnego, który steruje pętlą PLL, generującą zregenerowany sygnał taktujący.



Rys. 7-41. Położenie impulsów synchronizujących w ramach przykładowego kodu transmisyjnego

Minimalizacja wpływu wahań prędkości nośnika następuje dzięki wykorzystaniu układu buforowego (rys. 7-42), który współpracuje

z serwomechanizmem (rys. 7-43). Zbyt wolny przesuw nośnika powoduje opróżnienie bufora, zaś zbyt szybki przesuw spowoduje, że bufor taktowany zegarem kwarcowym przepełni się. Stan bufora, wpływając na serwomechanizm, spowoduje powrót do właściwej prędkości przesuwu nośnika. W ten sposób uzyskuje się dokładność szybkości odczytywania próbek równą dokładności kwarcowego zegara odczytu. Dodatkowy układ kontroli prędkości obrotowej stosowany w serwomechanizmach zapobiega oscylacjom prędkości przesuwu nośnika. Serwomechanizmy są stosowane nie tylko do kontroli prędkości przesuwu nośnika lecz także do sterowania układami optycznymi w cyfrowych urządzeniach do rejestracji dźwięku.

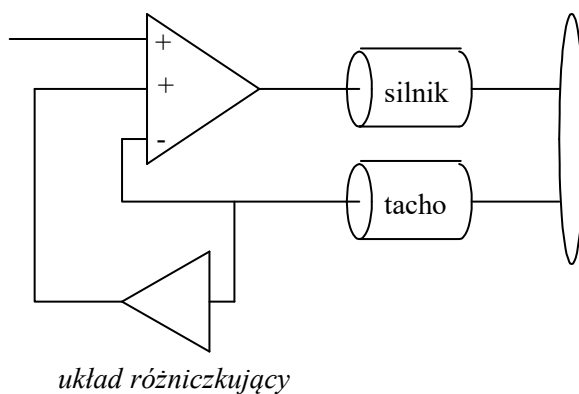


Rys. 7-42. Zasada sterowania serwomechanizmem

napięcie sterujące:

$U_o + U_x$ – dla przypadku „bufor pusty”

lub $U_o - U_x$ - dla przypadku „bufor pełny”



Rys. 7-43. Przykład serwomechanizmu. Silnik napędza mechanizm przesuwu nośnika i jednocześnie prądnicę tachometryczną, której napięcie służy do kontroli obrotów w sytuacji, gdy układ elektroniczny nie podaje aktualnie impulsów sterujących o napięciu U_x

7.3 Komputeryzacja procesu realizacji nagrań

7.3.1 Współczesne studio nagrań

Podstawowymi czynnikami kształtującymi organizację współczesnego studia nagrań, a tym samym decydującymi o zadaniach reżysera dźwięku są:

- sposób synchronizacji urządzeń w studiu nagrań,
- liczba kanałów wykorzystywanych w produkcji nagrań muzycznych,
- stopień automatyzacji procesu produkcji nagrań muzycznych,
- integracja systemów miksowania dźwięku z systemami rejestracji i montażu dźwięku,
- wymiana informacji pomiędzy studiami nagrań za pośrednictwem sieci Internet lub ISDN (ang. *Integrated Services Digital Network*).

Synchronizacja urządzeń odgrywa ważną rolę w organizacji współczesnego studia nagrań. Może być ona stosowana np. do połączenia dwóch lub więcej magnetofonów w jeden system o większej liczbie śladów. Synchronizacja opiera się wówczas na kodzie SMPTE zapisanym na poszczególnych magnetofonach, synchronizatorze oraz wzajemnej relacji typu Master-Slave pomiędzy magnetofonami. System taki może być sterowany zdalnie z centralnego panelu kontrolnego, a zatem jest systemem sterowania opartego na scentralizowanej kontroli wszystkimi urządzeniami w studiu. Synchronizacja może być również stosowana do połączenia magnetofonu z sekwencerem MIDI. Ze względu na fakt, iż sekwencery MIDI pracują w środowisku omówionego w par. 7.2.2. kodu czasowego MTC (ang. *Midi Time Code*), to ich współpraca z magnetofonem wymaga konwersji kodu SMPTE na kod MTC za pomocą konwertera SMPTE-MTC. Urządzenie to jest zwykle zintegrowane we wspólnej obudowie z synchronizatorem i dostępne w studiu nagrań.

Wykorzystanie sekwencera MIDI w studiu nagrań otwiera szerokie możliwości w dziedzinie produkcji nagrań muzycznych. Istnieje bowiem szereg urządzeń, takich jak syntetyzery, samplery, procesory efektów, procesory dynamiki, a nawet konsole mikerskie, które mogą być sterowane za pomocą kodu MIDI wysyłanego z sekwencera. Istnieją również systemy automatyzacji stołów reżyserskich, które mogą funkcjonować bez udziału sekwencera, w oparciu o przesyłanie kodu czasowego SMPTE lub MTC z magnetofonu wielośladowego. Niektóre z nich nie są w stanie sterować parametrami zewnętrznych procesorów (pogłosowych i efektowych) poprzez łącze MIDI, muszą więc w tym celu współpracować z sekwencerem.

W celu zrealizowania nagrania o odpowiedniej wartości artystycznej we współczesnym studiu nagrań często stosowana jest znaczna liczba

niezależnych kanałów, tzn. 56 i więcej. Liczba ta obejmuje ślady pochodzące z magnetofonu wielośladowego, tzw. ślady wirtualne oraz linie powrotów z procesorów efektów. Tak duża liczba kanałów musi znaleźć swe odzwierciedlenie w wyposażeniu stołów reżyserskich. Przykładowe konfiguracje wybranych analogowych konsol mikerskich przedstawiono w Tab. 7-6, zaś konsol cyfrowych w Tab. 7-7.

Tab. 7-6. Przykładowe konfiguracje analogowych konsol mikerskich

Nazwa konsoly	Producent	Liczba kanałów
<i>Topaz</i>	<i>Soundtracs</i>	72
<i>DC2000</i>	<i>Soundcraft</i>	82
<i>Solitaire</i>	<i>Soundtracs</i>	88
<i>SL 9000j</i>	<i>Solid State Logic</i>	96
<i>Big</i>	<i>Amek</i>	104
<i>Merlin</i>	<i>D&R</i>	122

Tab. 7-7. Przykładowe konfiguracje cyfrowych konsol mikerskich

Nazwa konsoly	Producent	Liczba kanałów
<i>ProMix 01</i>	<i>Yamaha</i>	20
<i>DMC1000</i>	<i>Yamaha</i>	22
<i>02R</i>	<i>Yamaha</i>	40
<i>Axiom</i>	<i>Solid State Logic</i>	96
<i>MC80</i>	<i>Lawo</i>	120
<i>D940</i>	<i>Studer</i>	160
<i>Capricorn</i>	<i>AMS Neve</i>	256

Kolejnym czynnikiem rzutującym na organizację pracy realizatora dźwięku przy współczesnej produkcji nagrań muzycznych są wielośladowe systemy cyfrowej obróbki dźwięku, oparte na wielośladowym zapisie na twardej dyskach systemu komputerowego (patrz rys. 7-1). Są one powszechnie określane skrótem DAW (ang. *Digital Audio Workstation*). Systemy te, które pełnią funkcje wielośladowych magnetofonów cyfrowych, są jednocześnie wyposażone w rozbudowane możliwości montażu i miksowania dźwięku oraz cyfrowego przetwarzania sygnałów. Fakt operowania na danych cyfrowych zapisanych na twardej dysku powoduje, że wszystkie wymienione powyżej funkcje są możliwe do osiągnięcia w prosty sposób, a ich obsługa jest bardzo efektywna. Systemy DAW charakteryzują się m. in. następującymi własnościami:

- swobodny dostęp do dowolnego punktu materiału muzycznego - nie występuje problem czasochłonnego przewijania taśmy,
- dowolne przesuwanie poszczególnych śladów względem siebie - jest to niemożliwe do osiągnięcia w przypadku magnetofonów opartych na taśmie magnetycznej,

- rozbudowane czynności montażowe typu: kształtowanie obwiedni amplitudy, wycinanie, przesuwanie i kopiowanie dowolnych fragmentów sygnału fonicznego w obrębie wszystkich śladów,
- możliwość kształtowania czasu trwania fragmentu materiału muzycznego bez jego transpozycji widmowej,
- możliwość dokonywania transpozycji fragmentu materiału muzycznego bez wpływu na jego czas trwania,
- miksowanie dźwięku przy pomocy tłumików wirtualnych (zobrazowanych na ekranie monitora) lub rzeczywistych (umieszczonych na specjalnym panelu sterującym).

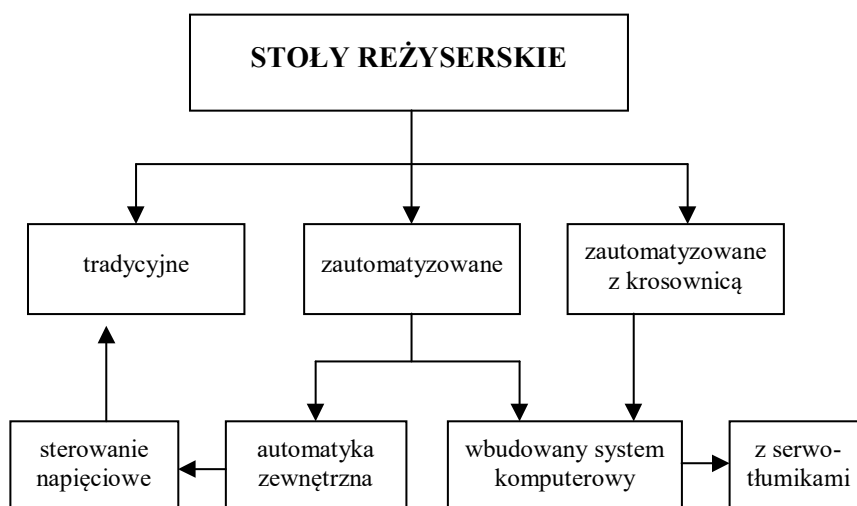
Wymienione właściwości systemów DAW przyczyniają się do tego, że systemy te są często określane mianem systemów nieliniowych o dostępie swobodnym (ang. *Non-linear & Random Access*).

Stosunkowo nowe, nie wykorzystywane wcześniej możliwości w produkcji nagrań muzycznych wniósł rozwój sieci LAN i MAN, Internetu oraz sieci ISDN (ang. *Integrated Services Digital Network*). Zwłaszcza sieć ISDN, z racji nie występowania w niej przerw w przepływie danych, znalazła szerokie zastosowanie w dziedzinie wymiany informacji pomiędzy studiami nagrań (patrz par. 7.3.4).

7.3.2 Automatykacja stołów reżyserskich

Współczesne stoły reżyserskie analogowe i cyfrowe wysokiej klasy są obecnie standardowo wyposażane w układy automatyzacji. Proces obsługi stołu reżyserskiego zależy w dużym stopniu od typu układu automatyzacji, czyli od zakresu operacji podlegających procesowi automatycznej rejestracji i odtwarzania oraz od przyjętej filozofii systemu zgrywania (ang. *mixdown*) i związanego z tym zestawu oferowanych możliwości. Umowną klasyfikację stołów reżyserskich przedstawiono na rys. 7-44.

Zanim jednak powstały pierwsze układy automatyzacji, w wielu studiach nagraniowych, rozgłośniach radiowych oraz w wytwórniach filmowych, zainstalowane zostały rozbudowane stoły reżyserskie, pod względem parametrów torów akustycznych niewiele ustępujące współczesnym stołom reżyserskim, które ze względu na liczbę elementów regulacyjnych mogą być zakwalifikowane do grupy urządzeń o dużym stopniu trudności obsługi, a co za tym idzie - do grupy stołów mikserskich, które powinny być wyposażone w układ automatyzacji. Jak pokazują m.in. prace projektowo-wdrożeniowe, zrealizowane w Katedrze Inżynierii Dźwięku PG, również tego typu stoły reżyserskie mogą zostać zautomatyzowane, niejako w sposób wtórny, na zasadzie dobudowania zewnętrznych systemów cyfrowych.



Rys. 7-44. Klasyfikacja stołów reżyserskich

We współczesnej technice ścierają się różne tendencje rozwojowe stołów reżyserskich. Wyraźne rozbieżności pomiędzy poszczególnymi producentami zaznaczyły się w późnych latach siedemdziesiątych, kiedy to pojawiły się pierwsze studyjne magnetofony cyfrowe. Powstała wtedy idea w pełni cyfrowego stołu reżyserskiego. Jedną z faz produkcji nagrań muzycznych techniką wielośladową jest proces zgrywania. Polega on na właściwym zsumowaniu zarejestrowanych na magnetofonie wielośladowym głosów oraz sygnałów pochodzących z innych źródeł (powrotów z procesorów efektów i instrumentów MIDI) w celu otrzymania stereofonicznego nagrania wysokiej jakości. Nagranie to powinno charakteryzować się m. in.: odpowiednim wyważeniem poszczególnych głosów (czyli odpowiednim zachowaniem proporcji pomiędzy nimi), właściwym upogłosowieniem oraz prawidłowym rozkładem planów dźwiękowych. Ponadto powinno ono odzwierciedlać rozmaite artystyczne zamierzenia realizatora dźwięku (np. efekt płynnego przenikania dźwięków). Osiągnięcie tych rezultatów wymaga od reżysera ciągłego manipulowania regulatorami stołu mikserskiego każdego z paneli (korekcja barwy, panoramy, szerokości bazy, położenia tłumików, kontrola przypisania kanału do grup) w czasie sesji zgraniowej. Dlatego, proces zgrywania może być procesem programowanym, w taki sposób, aby zgranie przebiegało automatycznie, nie absorbując w pełni uwagi realizatora, który zyskuje czas na poprawianie szczegółów. Proces zgrywania przebiegający w sposób zaprogramowany nazywa się remiksem. Przed właściwą operacją remiksu

musi zostać wielokrotnie przeprowadzony remiks próbny, aby inżynier dźwięku określił, których regulatorów pozycję zamierza zmieniać, w jakim momencie i w jakim stopniu. O swobodzie dokonywania remiksu decydują możliwości techniczne studia, a w szczególności stopień automatyzacji stołu reżyserskiego (konsoly). Zestawienie maksymalnej liczby nastaw, które mogą być jednocześnie zapisane w pamięci różnych systemów automatyzacji podano w Tab. 7-8.

Tab. 7-8. Możliwości dokonywania remiksu na różnych konsolach mikserskich

Producent	Nazwa konsoly	Typ konsoly	Maksymalna liczba scen
<i>Allen & Heath</i>	<i>GS3V</i>	analogowa	33
<i>Solid State Logic</i>	<i>SL 9000j</i>	analogowa	40
<i>Yamaha</i>	<i>ProMix01</i>	cyfrowa	50
<i>Solid State Logic</i>	<i>Axiom</i>	cyfrowa	64
<i>Yamaha</i>	<i>DMC1000</i>	cyfrowa	64
<i>Yamaha</i>	<i>02R</i>	cyfrowa	64
<i>Yamaha</i>	<i>DMP7</i>	cyfrowa	99
<i>Yamaha</i>	<i>M2000</i>	analogowa	128
<i>Technica d. a. BV</i>	<i>Lupa</i>	cyfrowa	1000

Zapamiętane w pamięci RAM konfiguracje mogą zostać objęte określonymi nazwami i w takiej postaci zapisane na twardym dysku lub dyskietce w celu archiwizacji. Materiał ten stwarza realizatorowi możliwość dokończenia procesu zgrywania oraz montażu nagrań w innym terminie.

Istotną tendencją, która wyraźnie zaznaczyła się w ostatnich latach, jest redukcja rozmiarów płyty czołowej stołu, przy rosnącej liczbie obsługiwanych kanałów. Uzyskiwane jest to poprzez zastosowanie idei stołu z przydzielaniem organów regulacyjnych. W stole reżyserskim tego typu na płycie czołowej znajdują się regulatory w liczbie znacznie zredukowanej w porównaniu z liczbą fizycznie istniejących w stole torów akustycznych i ich organów regulacyjnych. Dostęp do poszczególnych paneli, dokonywanie regulacji ich parametrów oraz odczytu stanu regulatorów, odbywają się po przydzieleniu danego toru do pewnego zestawu regulatorów na płycie czołowej. W ten sposób zlikwidowano nadmiar powtarzających się zestawów regulatorów, kosztem nieco mniejszej wygody, jeśli chodzi o możliwość wizualnej kontroli stanu poszczególnych organów regulacji.

W przypadku automatyzacji stołów reżyserskich występują trzy typy automatyzacji:

a) Automatyczny zapis i odczyt pozycji wszystkich najważniejszych organów regulacji (ang.: *Total Recall*) - typ automatyzacji wprowadzony po raz pierwszy przez brytyjską firmę Solid State Logic

b) Automatyzacja statyczna - rozwiązanie polegające na automatycznym zapisie stanu wszystkich regulatorów na żądanie operatora, z możliwością późniejszego ich odtworzenia również w sposób automatyczny. Automatyzacja tego typu jest najczęściej stosowana w postaci układu integralnie związanego z konstrukcją stołu reżyserskiego, niemniej jednak może być ona zrealizowana także w oparciu o urządzenie zewnętrzne, w przypadku stołów pozbawionych wewnętrznego układu automatyzacji, lecz wyposażonych w układy wzmacniaczy sterowanych napięciem (ang. *Voltage Controlled Amplifier-VCA*)

c) Automatyzacja dynamiczna - rozwiązanie polegające na ciągłym próbkowaniu stanu wszystkich regulatorów, z szybkością zapewniającą quasi-ciągły odczyt stanu całego stołu reżyserskiego, oraz na zapisywaniu występujących zmian do pamięci układu sterującego procesem automatyzacji, którym najczęściej jest specjalizowany układ jedno- lub wieloprocesorowy. Przy powtarzaniu zgrania odtwarzanie nastaw odbywa się automatycznie, przy czym operator ma możliwość ingerencji w proces powtórnego zgrania, może dokonać zmian, które zostaną zapamiętane, umożliwiając tym samym kolejne zgranie i dalsze wprowadzanie zmian. Rosnąca liczba regulatorów poddawanych automatyzacji rodzi potrzebę wzrostu szybkości odczytywania pozycji regulatorów, co prowadzi do konieczności stosowania coraz szybszych układów mikroprocesorowych oraz urządzeń im towarzyszących. Rozwiązaniem eliminującym tę wadę jest system oparty o zestaw mikroprocesorów wolniejszych, zajmujących się obsługą mniejszej części stołu reżyserskiego np. jednego toru, podlegających kontroli mikroprocesora nadrzędnego, który ułatwia wymianę danych między tymi mikroprocesorami, umożliwiając przez to kontrolę przebiegu całego remiksu.

Automatyzacja statyczna i dynamiczna dotyczą stołów reżyserskich, wyposażonych albo w układy VCA, albo w tłumiki napędzane serwomechanizmami - serwotłumiki (ang.: *moving faders*). W przypadku automatyzacji stołów VCA, pozbawionych takich tłumików, w procesie remiksu pozycje regulatorów przestają odpowiadać rzeczywistym poziomom aktualnie ustawionym przez układ sterujący automatycznym procesem zgrywania. Aby zlikwidować tę niedogodność stosowany jest dość często dodatkowy odczyt aktualnej pozycji regulatorów realizowany przez linijkę świetlną, równoległą do traktu tłumika albo wizualizacja położenia tłumików na ekranie komputerowym.

Bardziej doskonałym z ergonomicznego punktu widzenia rozwiązaniem jest stół reżyserski wyposażony w serwotłumiki. Współczesne rozwiązania wykorzystują sterowanie przy użyciu słows o długości 8 - 12

bitów. Daje to rozdzielczości odpowiednio 256 i 4096 pozycji, co przy przyjętej 100 milimetrowej długości szczeliny tłumika daje dokładność rzędu odpowiednio 0,39 mm oraz 0,02 mm. Przy tego typu regulacji możliwe jest osiągnięcie dokładności programowanej regulacji, wynoszącej 0.1 dB. Czas przesuwania tłumika od jednej skrajnej pozycji do drugiej jest rzędu 50 - 150 ms. Możliwa jest praca tłumików w dwóch trybach. Pierwszy z nich, tzw. tryb "czuły na dotyk" pozwala na wprowadzenie nowych danych w trakcie dokonywania remiksu poprzez odłączenie serwo mechanizmów tłumika w chwili dotknięcia przez operatora czułej na dotyk gałki tłumika. Operator może porównywać różnice pomiędzy poprzednim a aktualnym położeniem tłumika za pomocą wskaźników świetlnych, co umożliwia powtórzenie ruchów tłumika z poprzedniego zgrzywania. Drugi tryb - tzw. tryb "inteligentny" - polega na tym, że gałka wywiera na palce operatora siłę proporcjonalną do różnicy ustawień aktualnego i poprzedniego, co zwalnia operatora od potrzeby obserwacji wskaźników świetlnych, ułatwiając tym samym przeprowadzenie powtórnego zgrania. Opcja ta jest istotna szczególnie w przypadku pracy przy udźwiękowianiu filmu, gdzie operator niejednokrotnie jest zmuszony skoncentrować całą swoją uwagę na ekranie, w związku z czym nie jest w stanie obserwować wskaźników stołu reżyserskiego.

Automatyzacja dynamiczna jest rozwiązaniem dość kosztownym. Wynika to z konieczności stosowania układów o dużej mocy obliczeniowej oraz stosunkowo kosztownych serwo tłumików. Większość systemów automatyzacji dynamicznej, oprócz trybów odczytu (*Read*) i zapisu (*Write*), wykorzystuje dodatkowy tryb - uaktualniania (ang. *Update*, *Trim*, *Modify* lub *Offset*). Opcja ta różni się od trybu *Write* tym, że podczas operacji korekcji poprzedniego remiksu nie jest, w przeciwieństwie do niego, wykonywany bezpośredni zapis do pamięci aktualnych pozycji fizycznego tłumika, lecz przeprowadzany jest ich zapis względem położenia tego tłumika podczas poprzedniego remiksu. W ten sposób, jeżeli podczas trybu *Update* realizator nie będzie przesuwiał tłumika, do pamięci zostaną zapisane wartości identyczne z wartościami z poprzedniego remiksu, jeśli nawet tłumik będzie w najniższej pozycji. Zaletą tego rozwiązania jest szczególnie widoczna w sytuacji, gdy ruch tłumika podczas ostatniego zgrzywania został przeprowadzony poprawnie z wyjątkiem doboru bezwzględnej pozycji. Aby zmienić ten poziom, nie trzeba wówczas powtarzać ruchu regulatora, co jest wymagane w trybie *Write*. W trybie *Update* wystarczy przesunąć tłumik do pozycji będącej miarą pożądanego przesunięcia (offsetu).

Istnieją także systemy, które umożliwiają przeprowadzenie operacji w trybie *off-line*. Spotykane są przy tym następujące funkcje:

- *Repeat* - pozwala na skopiowanie fragmentu danych dotyczących położenia tłumików lub automatyzowanych przycisków wybranych kanałów pomiędzy dwoma punktami montażowymi do innego punktu.

- *Merge* - umożliwia pobranie fragmentu danych wszystkich kanałów z twardego dysku pomiędzy dwóch punktów montażowych i wkomponowanie go w dane sterujące automatyką, przechowywane w pamięci RAM;
- *Shift* - przesuwa fragment danych dotyczących położenia tłumików lub automatyzowanych przycisków wybranych kanałów pomiędzy dwoma punktami montażowymi do innego punktu;
- *Erase* - pozwala na usunięcie fragmentu danych dotyczących położenia tłumików lub automatyzowanych przycisków wybranych kanałów pomiędzy dwoma punktami montażowymi;
- *Swap* - umożliwia wymianę danych dotyczących położenia tłumików lub automatyzowanych przycisków pomiędzy dwóch punktów montażowych pomiędzy dwoma dowolnie wybranymi kanałami;
- *Copy* - pozwala na skopiowanie fragmentu danych dotyczących położenia tłumików lub automatyzowanych przycisków pomiędzy dwóch punktów montażowych z jednego kanału do drugiego;
- *Trim* - dodaje do danych dotyczących położenia tłumików wybranych kanałów stały offset z zakresu +/-99 dB.

Jak pokazano w par. 7.2.2.3, istnieje możliwość wykorzystania kodu sterującego MIDI do sterowania urządzeniami fonicznego studia nagrań. Automatyzacja konsol mikerskich przy wykorzystaniu systemu MIDI realizowana jest w kilku zakresach. Najprostszym przypadkiem są urządzenia do automatyzacji włączania i wyłączania torów fonicznych np.: wejść, przesłań, powrotów itp.. Informacja o stanie wszystkich torów przechowywana jest w pamięci wewnętrznej jako grupa (scena). Pamięć wewnętrzna może zawierać od 16 do 128 scen, które mogą być przywoływane za pomocą komend MIDI (typu *Program Change*). Zawartość pamięci może być przechowywana na dysku komputerowym i przesłana do urządzenia za pomocą komunikatów *System Exclusive*. Bardziej zaawansowane systemy umożliwiają zapamiętywanie położenia tłumików. Realizacja tego zadania może odbywać się na dwa sposoby. Systemy typu "Snapshot" umożliwiają zapamiętanie położenia wszystkich tłumików w danym momencie jako grup i przywoływanie poszczególnych stanów za pomocą komend MIDI typu *Program Change*. Niektóre systemy umożliwiają programowanie czasów przenikania dzięki czemu przejścia pomiędzy scenami są płynne. Bogatsze możliwości oferuje systemy z ciągłą (dynamiczną) kontrolą położenia tłumików. Zmiany położenia tłumików przesyłane są za pomocą komend MIDI *Program Change* lub jako komendy *Note*, w których numer nuty odpowiada numerowi tłumika a parametr szybkość oznacza jego położenie. Kolejnym krokiem w automatyzacji jest możliwość zapamiętywania i sterowania pozostałymi parametrami stołu reżyserskiego, takimi jak panorama czy korekcja barwy (dostępne w opcji

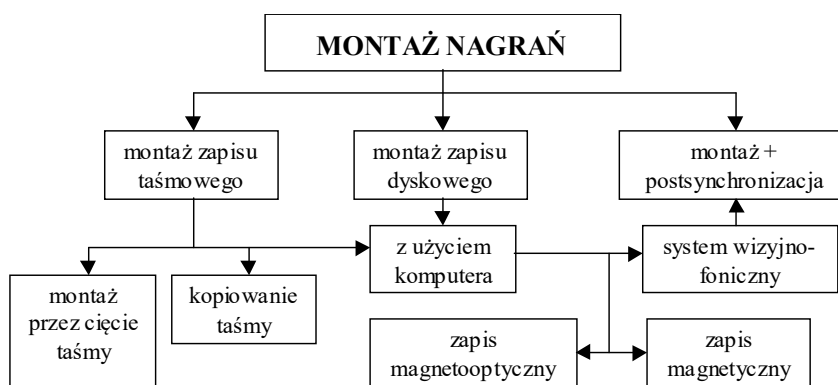
Total Recall). Możliwości standardu MIDI są wystarczające, by każdemu regulatorowi przypisać unikatową komendę *Note* lub *Program Change*. Zarządzanie systemem miksującym odbywa się przy tym za pomocą oprogramowania. W prostych systemach typu "Snapshot" zasadnicza część oprogramowania znajduje się wewnątrz urządzenia sterującego. Do obsługi komunikatów MIDI wystarcza standardowe oprogramowanie. Bardziej wyrafinowane systemy są dostarczane wraz z dedykowanym oprogramowaniem, umożliwiającym wizualizację położenia tłumików, wartości kodu czasowego, statusu toru itp. Oprogramowanie to jest w zasadzie odmianą sekwencera MIDI, rozbudowanego o narzędzia remiksu. Pomimo, iż wiele sekwencerów oferuje bogate możliwości łącznie z programowanymi tłumikami wirtualnymi, ich stosowanie może w konkretnych przypadkach rodzić nieoczekiwane trudności. Problemy takie powstają w przypadku systemów sterowanych komunikatami *Note*. Sekwencer musi mieć możliwość śledzenia komunikatów *Note* wraz z parametrem szybkość. Ponadto mikser nie powinien wysyłać komunikatu *Note OFF* po komunikacie *Note ON*. W przeciwnym wypadku sekwencer może nie odtwarzać stanu. Sytuacja taka powoduje jednak, że nuty mogą mieć nieskończoną długość, co nie jest akceptowalne przez niektóre sekwencery.

Problem automatyzacji tradycyjnych, analogowych stołów reżyserskich wiąże się z uwarunkowaniami natury ekonomicznej i wynika z wysokiej ceny urządzeń reżyserskich oraz z trudności związanych z montażem tego typu urządzeń w studiu. W tych warunkach ekonomicznym rozwiązaniem problemu unowocześnienia stołu reżyserskiego może być instalacja zewnętrznego systemu komputerowego, którego zadaniem jest testowanie charakterystyk poszczególnych kanałów stołu reżyserskiego i rejestracja uzyskiwanych wyników na dysku komputerowym. Problematyka ta była przedmiotem badań Katedry Inżynierii Dźwięku PG, które doprowadziły do rozwoju koncepcji tego typu automatyzacji. Automatyzacja tradycyjnego stołu reżyserskiego, przy wprowadzeniu której nie przewiduje się dokonywania jego gruntownych przeróbek, może zapewnić realizację jedynie pewnej części udogodnień oferowanych przez rozbudowane układy automatyzacji. Wynika to z faktu, iż tradycyjne stoły reżyserskie pozbawione są najczęściej układów wykonawczych, przydatnych z punktu widzenia automatyzacji procesu zgrywania, takich serwo-tłumiki, czy też elektronicznie sterowane układy komutacji kanałów. Tym niemniej, z punktu widzenia operatora obsługującego rozbudowany stół reżyserski, wyposażony w setki regulatorów, bardzo przydatny jest system umożliwiający zapisanie stanu nastaw regulatorów na dysku, w celu późniejszego ręcznego ich odtworzenia. Proces ten polega na automatycznym zapisie stanu wszystkich regulatorów przy pomocy pomiaru charakterystyk poszczególnych torów za pomocą specjalnego sygnału

testowego, przenoszonego tym samym torem, którym transmitowane są sygnały foniczne ze studia. Odtworzenie nastaw odbywa się w takim przypadku ręcznie na podstawie wykonanego wcześniej zapisu, zachowywanego na dysku komputerowym.

7.3.3 Cyfrowy montaż nagrań

Montaż nagrań jest podstawową operacją studyjnej technologii nagrań. Technika cyfrowego montażu nagrań pomimo stosunkowo niedługiego okresu swego rozwoju osiągnęła obecnie bardzo wysoki stopień zaawansowania. W niniejszej pracy możliwe będzie jedynie ogólne przedstawienie wybranych aspektów tego zagadnienia i dokonanie krótkiego przeglądu istniejących rozwiązań. Umowną klasyfikację rodzajów montażu nagrań przedstawiono na rys. 7-45.



Rys. 7-45. Typy montażu nagrań

Problem montażu audycji zarejestrowanej cyfrowo zaistniał od momentu opracowania i praktycznego wdrożenia pierwszego magnetofonu cyfrowego. Udoskonalenie magnetofonu studyjnego, który w wersji cyfrowej stał się rejestratorem dźwięku o nieporównanie wyższych parametrach, niż jego analogowy poprzednik, wywołało jednak potrzebę opracowania zupełnie nowej technologii montażu nagrań, gdyż taśma magnetyczna zapisana cyfrowo nie może być montowana w sposób równie łatwy i efektywny, jak taśma z zapisem analogowym. Wystąpienie tak wyraźnych i pilnych potrzeb w zakresie technologii studyjnej doprowadziło w krótkim czasie do powstania nieznanych przedtem rozwiązań technicznych, w zakresie montażu audycji.

Systemy montażu audycji fonicznych, czyli tzw. edytory, są obecnie powszechnie wykorzystywane w dziedzinach postprodukcji fonicznej

i wizyjnej, w wielośladowej realizacji nagrań fonicznych oraz w procesie przygotowywania materiału fonicznego dla potrzeb jego powielania na płytach i kasetach cyfrowych (ang. *mastering*). Ponadto edytory cyfrowe znalazły zastosowanie w technice realizacji audycji nadawanych ze studia radiowego, a także w trakcie montażu oraz rekonstrukcji analogowych nagrań fonicznych.

Pierwsze magnetofony cyfrowe wykorzystywały do zapisu informacji kodowych ścieżki wizyjne magnetowidów typu U-Matic. Zastosowanie tego typu rozwiązania praktycznie uniemożliwiło efektywny montaż audycji na drodze cięcia i klejenia taśmy magnetycznej. Cięcie taśmy zaburza bowiem rytm impulsów synchronizacji, które sterują pracą serwo mechanizmu naprowadzającego głowicę na odczytywane mikro-ścieżki z zapisem. Złagodzenie skutków takiego zaburzenia rytmu synchronizacji metodami elektronicznymi, jakkolwiek możliwe, nie rozwiązuje problemu montażu sekwencji zapisanych na tej samej ukośnej ścieżce wizyjnej, czego rezultatem jest ograniczenie rozdzielczości czasowej montażu. Bardzo poważnym problemem jest zagadnienie możliwości odszukania punktów montażowych, tj. końca sekwencji poprzedzającej montaż i początku sekwencji domontowywanej. Ograniczenia wynikają w tym wypadku z niemożliwości bezpośredniego odsłuchu materiału w zwolnionym tempie lub w bardzo krótkich fragmentach wokół przewidywanego punktu montażowego. W końcowej fazie wyboru punktu cięcia taśmy analogowej możliwe jest poruszanie szpulami tradycyjnego magnetofonu studyjnego w obie strony i jednoczesny odsłuch towarzyszących temu dźwięków w zwolnionym tempie do przodu i wstecz, co wydatnie ułatwia wybór punktu montażowego. Magnetofony cyfrowe dowolnego typu, nie tylko wspomniane, bazujące na wykorzystaniu magnetowidów, nie pozwalają na taką możliwość ze względu na konieczność odtwarzania danych w tempie określonym częstotliwością próbkowania uprzednio zapisanego sygnału i w określonym porządku umożliwiającym prawidłowe dekodowanie informacji. Montaż tradycyjny poprzez cięcie taśmy byłby zatem w tym przypadku łączeniem fragmentów nagrań w punktach określonych z dość dużym i przypadkowym rozrzutem. Tym niemniej, montaż taki może być stosowany w odpowiednio długich przerwach pomiędzy nagranyimi fragmentami audycji. Dodatkową okolicznością, która utrudnia efektywny montaż przez cięcie taśmy jest wykorzystywanie przy zapisie przeplatania bloków (*interleaving*), które należy do metod protekcji zapisu magnetycznego (patrz roz. 5). Układy dekodowania w torze odczytu magnetofonu powinny wspomagać na drodze elektronicznej montaż mechaniczny poprzez zdekodowanie przeplecionych bloków po obu stronach punktu montażowego i dokonanie płynnego miksowania obu fragmentów audycji wokół punktu montażowego.

Osobnym problemem jest montaż audycji zarejestrowanej na cyfrowych dyskach magnetycznych lub optycznych z zapisem jednorazowym albo wielokrotnym. Efektywny system montażu dźwięku powinien charakteryzować się następującymi parametrami:

- nieskomplikowana i szybka lokalizacja punktów montażowych z dokładnością co najmniej 10 ms,
- możliwość dokonania montażu w dowolnym miejscu nagrania, nie tylko w przerwach pomiędzy fragmentami audycji,
- brak niepożądanych efektów dźwiękowych przy odsłuchu zmontowanych fragmentów.

W celu określenia potrzeb w zakresie możliwości montażowych przydatne jest rozważenie następujących typów montażu:

- wtrącenie sekwencji (ang. *insert*),
- wycięcie fragmentu z połączeniem końca sekwencji poprzedzającej i początku następnego odcinka audycji (ang. *tightening up*),
- częściowe połączenie fragmentów tej samej audycji nagranej na różnych ścieżkach magnetofonu wielośladowego w celu zwolnienia miejsca na ścieżkach (ang. *track assembly*),
- "sklejenie" fragmentu audycji z odcinków nagranych w różnych miejscach taśmy lub pochodzących z różnych źródeł sygnału, tzn. np. z kilku magnetofonów, dyskofonów itp. (ang. *assembly*),
- uszeregowanie nagrań w określonym porządku dla celów ich emisji, bądź powielania na płytach i kasetach (ang. *master*).

Dotychczas stosowane systemy montażu opierają się na następujących rozwiązaniach:

- montaż taśmy magnetofonowej,
- montaż poprzez kontrolowane kopiowanie nagrań fonicznych,
- montaż z użyciem komputera (i pamięci dyskowych), wraz z oprogramowaniem,
- wykorzystanie wyspecjalizowanych urządzeń elektronicznych (tzw. edytorów).

Porównania efektywności tradycyjnej techniki montażu i elektronicznych technik montażu dźwięku dokonano w Tab. 7-9. Tradycyjna metoda montażu, jako szybka, będzie prawdopodobnie stosowana w dalszym ciągu w trakcie przygotowywania materiałów informacyjnych, np.: dzienników radiowych do emisji antenowej. Aby ułatwić lokalizację punktu montażowego, stosowane mogą być także w magnetofonie cyfrowym dodatkowe ścieżki analogowe, na których zostaje

przekopiowany materiał ze ścieżek cyfrowych w celu umożliwienia odszukiwania punktów montażowych metodą ręcznego przekręcania szpul z taśmą.

Tab. 7-9. Porównanie metod montażu audycji

Zagadnienie	Montaż elektroniczny	Montaż tradycyjny
Metoda	Selektywne kopiowanie taśmy źródłowej na taśmę wynikową	Cięcie taśmy i łączenie fragmentów za pomocą sklejki
Używane urządzenia	Co najmniej dwa magnetofony cyfrowe i przystawka do montażu materiału fonicznego	Pojedynczy magnetofon + urządzenie do montażu mechanicznego taśmy
Czas potrzebny na montaż 1 godz. audycji	1 godz. + czas potrzebny na potrzebny na pojedynczy montaż razy liczba punktów montażowych programu	Czas potrzebny na potrzebny na pojedynczy montaż razy liczba punktów montażowych programu
Zabiegi mające na celu redukcję zakłóceń powodowanych montażem	Efektywne	Bardzo ograniczone
Sposób przeprowadzania montażu	Wysyłanie rozkazu za pomocą klawiatury sterującej	Czynności, jak w przypadku montażu taśmy z zapisem analogowym

Wykonanie sklejki mechanicznej pociąga za sobą utratę informacji związanej z nieciągłością taśmy. Tego typu przerwa stanowi surowy test dla systemów korekcji błędów, które wykorzystywane są w procesie dekodowania informacji przy odczycie. Skutki wystąpienia przerwy w dopływie informacji mogą zostać złagodzone, jeśli w torze odczytu zostanie zastosowana pamięć buforowa. System sterowania przepływem danych przy odczycie może wówczas wykorzystać opóźnienie sygnału w buforze i połączyć ostatni niezniekształcony fragment nagrania z odcinkiem rozpoczynającym się po sklejce. Jeśli takiemu połączeniu będzie towarzyszyła wyraźna nieciągłość poziomu sygnału, użyteczne jest dokonanie automatycznego miksowania obu łączonych fragmentów, dzięki czemu możliwe jest wyeliminowanie zakłócenia związanego z przesunięciem się sklejki przed głowicą odczytującą.

Wystąpienie nieciągłości impulsów synchronizacji która jest związana z montażem taśmy może zostać złagodzone, jeżeli impulsy te zostaną zapisane jednocześnie na kilku ścieżkach synchronizacji, każdorazowo z różną fazą. W czasie odczytu układ cyfrowy sterowany pętlą fazową PLL

samoczynnie wybiera tor odczytu, w którym obecne są impulsy synchronizacji pojawiające się z najmniejszym przesunięciem fazowym w stosunku do impulsów poprzedzających punkt montażowy. Uzyskuje się w ten sposób quasi-ciągły przebieg sygnału synchronizacji, który nie powoduje zaburzenia pracy serwo mechanizmu sterującego układem napędowym magnetofonu.

Jak wynika z przytoczonych powyżej uwag, mechaniczny montaż taśmy z zapisem cyfrowym przebiega ze znaczącym udziałem cyfrowych układów magnetofonu, można zatem w tym przypadku mówić również o cyfrowym montażu nagrań. Jednakże pojęcie montażu cyfrowego zostało zarezerwowane zasadniczo dla takich systemów montażu, które wykorzystują dodatkowy cyfrowy nośnik informacji o swobodnym lub quasi-swobodnym dostępie, tzn. pamięć RAM lub zespół twardych dysków. W perspektywie możliwe stanie się również wykorzystanie w tym celu wielokrotnie zapisywalnych dysków optycznych, które odznaczają się wyższą pojemnością.

Dodatkowa pamięć cyfrowa typu RAM pozwala na zapisanie fragmentów nagrania wybranych wokół przewidywanego punktu montażowego. Zapisane fragmenty mogą być następnie odsłuchiwane w dowolnym tempie. Punkt montażowy może być wybrany z teoretyczną dokładnością do pojedynczej próbki sygnału, tzn. z rozdzielczością rzędu 20 μ s, zamiast z dokładnością 40 ms (ramka wizyjna), jak to ma miejsce w przypadku bezpośredniego montażu taśmy magnetowidowej z cyfrowym zapisem sygnału fonicznego. Jeśli lokalizacja punktu montażowego przebiega w oparciu o kod czasowy SMPTE/EBU, możliwe jest uzyskanie zaadresowania co 16-tej próbki sygnału. Odpowiada temu rozdzielczość czasowa 360 mikrosekund, która jest w praktycznych warunkach w pełni wystarczająca. W następstwie dokonania wyboru lokalizacji punktu montażowego, możliwe staje się wykonanie próbnego montażu i przeprowadzenie jego kontroli odsłuchowej. Procedura ta może być powtarzana wielokrotnie, aż do momentu uzyskania satysfakcjonującego rezultatu. Montaż próbny jest wykonywany na drodze przetwarzania sygnału zapisanego w pamięci. Możliwe jest dokonywanie montażu z uwzględnieniem przemiksowania sygnałów nagranych po obu stronach punktu montażowego. Przygotowany algorytm montażu może następnie zostać zrealizowany automatycznie po przekazaniu odpowiedniego zlecenia do systemu komputerowego, który steruje montażem. W momencie wysłania takiego zlecenia jest wznawiane kopiowanie materiału fonicznego ze źródeł zawierających montowane fragmenty na magnetofon rejestrujący docelową kopię. W odpowiednich momentach określonych przez bieżący kod czasowy odczytywany ze źródłowych nośników sygnału realizowany jest algorytm montażu zapisany w pamięci systemu komputerowego. Algorytm ten określa kolejność zapisu fragmentów z określonych źródeł przez magnetofon

kopiujący audycję. W trakcie wykonywania operacji przewidzianych algorytmem ma miejsce automatyczne sterowanie mechanizmami wszystkich zaangażowanych magnetofonów polegające na uruchamianiu przesuwu i przewijania taśm zgodnie z zasadą działania autolokatorów pracujących w oparciu o analizę kodu czasowego według standardów SMPTE/EBU.

W pamięci RAM o pojemności 1 MB możliwe jest pomieszczenie próbek sygnałów akustycznych o łącznym czasie trwania ok. 6 s, a więc w przedziale ± 3 s wokół przewidywanego punktu montażowego, pod warunkiem poddania tych danych kompresji. Kompresja ta może polegać na zmnożeniu sygnału, na zredukowaniu pasma o połowę i na zmniejszeniu rozdzielczości kwantyzacji poprzez zastąpienie 16-bitowego liniowego kodowania PCM poprzez nieliniowe kodowanie ośmiobitowe. Uzyskana redukcja danych jest okupiona spadkiem jakości sygnału. Spadek jakości nie ma jednak zasadniczego znaczenia dla przeprowadzania lokalizacji punktów montażu w oparciu o zarejestrowany w pamięci materiał dźwiękowy.

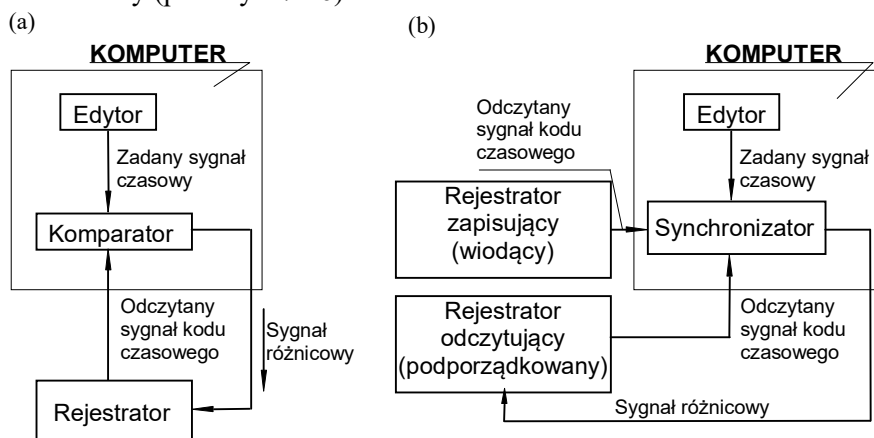
Zastosowanie zamiast pamięci RAM twardego dysku uwalnia realizatora od konieczności wstępnego wyszukiwania na taśmie fragmentów poddawanych montażowi i każdorazowego kopiowania ich do pamięci. Pojemność pojedynczego zespołu twardego dysków wynosi typowo kilka GB, co umożliwia rejestrację wielogodzinnego nagrania stereo lub kilkunastominutowego zapisu dwudziestoczościowego. Dodatkowe zwiększenie tego czasu jest możliwe na drodze automatycznej eliminacji fragmentów ciszy w czasie audycji.

Wyszukiwanie fragmentów nagrań na dysku może być ułatwione dzięki możliwości odczytywania umieszczonego na nim zapisu z prędkością ok. 10 MB/s, a zatem kilkakrotnie wyższą w stosunku do prędkości zapisu. Możliwe jest ponadto zastosowanie techniki pobierania i odtwarzania krótkich partii materiału w fazie "przewijania" nagrania na dysku (ang. *skipping through material*)- technika wykorzystywana w odtwarzaczach CD. Powszechnie stosowana jest w systemach montażu z twardym dyskiem metoda polegająca na zaznaczaniu przez operatora dowolnie wybranych charakterystycznych punktów nagrania za pomocą identyfikatorów (ang. *Cue Points, Edit Markers*). Istnieje możliwość przydzielania nazw tym punktom za pomocą klawiatury alfanumerycznej. Lista tych punktów wraz z danymi o ich usytuowaniu na dysku jest przechowywana w oddzielnym obszarze zapisu wraz z plikami systemowymi. Czas dostępu do dowolnej ścieżki z zapisem na twardym dysku nie przekracza kilkudziesięciu ms, można zatem mówić o praktycznie bezpośrednim dostępie do zapisanych danych, które są zorganizowane na dysku w sektorach i cylindrach, tj. w podobny sposób jak typowe dane informatyczne. W przypadku dysków magnetoptycznych maksymalny czas dostępu do informacji, który wynika

z konieczności przesunięcia głowicy optycznej nad wszystkimi ścieżkami wynosi do kilkuset ms. W celu zapewnienia ciągłości sygnału na wyjściu edytora w czasie przesuwania głowicy nad ścieżkami konieczne jest zastosowanie buforowej pamięci RAM.

Dokonywanie zabiegów montażowych może być rozwiązane w taki sposób, że w wyniku ich przeprowadzenia materiał foniczny zapisany na dysku nie ulega żadnym modyfikacjom. Efektem dokonania montażu jest jedynie zapisanie odpowiadającego mu algorytmu w pamięci systemu komputerowego, który steruje montażem. Algorytm taki określa kolejność pobierania danych z poszczególnych ścieżek twardego dysku w procesie odczytu. Rozwiązanie takie umożliwia tworzenie niemal dowolnej liczby wersji montażu i łatwe wprowadzanie ich modyfikacji.

W procesie montażu elektronicznego powszechnie wykorzystuje się kod czasowy (patrz rys. 7-46).

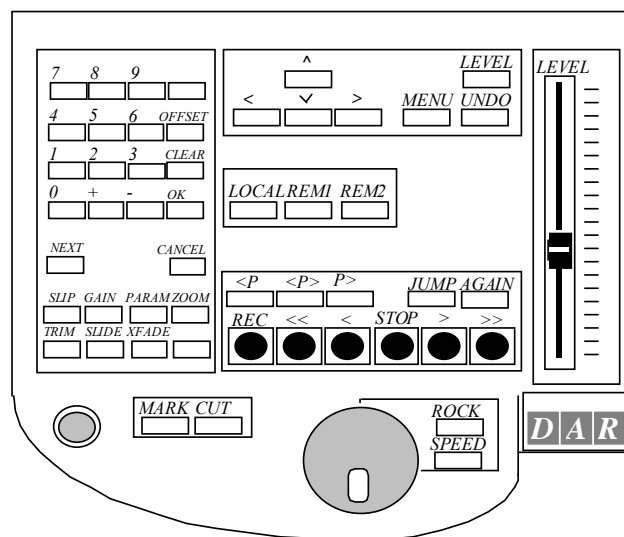


Rys. 7-46. Zastosowanie kodu czasowego w montażu elektronicznym:
(a) do wyszukiwania punktu montażowego; (b) do synchronizacji przesuwu nośników źródłowego i docelowego

Jeszcze jedną linię rozwojową systemów montażu stanowią urządzenia oparte na magnetofonach cyfrowych, które są wyposażone w potrójny system głowic i odpowiednie układy sterujące. Głowice te ustawione są w następującej kolejności zgodnie z kierunkiem przesuwu taśmy: zapisująca, odczytująca i ponownie: zapisująca. Wyposażony w taki sposób magnetofon umożliwia zapisywanie materiału z zewnętrznych źródeł po zmiksowaniu go z materiałem odczytywanym z własnej taśmy. W tym celu sygnały z głowicy odczytującej są opóźniane w buforze o czas potrzebny na przesunięcie taśmy na drodze od głowicy odczytującej do głowicy zapisującej. Dzięki zastosowaniu takiego rozwiązania możliwa jest wymiana dowolnego fragmentu nagrania na taśmie na inny fragment, np. zmontowany z fragmentu zarejestrowanego uprzednio i dodanego

z zewnętrznego źródła. Rozwiązanie takie jest bardzo efektywne w przypadku montażu audycji z różnych źródeł, ale nie może być bezpośrednio wykorzystywane do montażu fragmentów tej samej taśmy. Innym sposobem montażu materiału fonicznego, który ma szansę rozpowszechnienia się w radiowych studiach emisyjnych jest montaż sygnału "na żywo", tj. bez wstępnej rejestracji audycji w całości na taśmie. Systemy tego typu opierają się na zaawansowanych możliwościach sterowania i synchronizacji magnetofonów i dyskofonów laserowych.

Przodującym rozwiązaniem w dziedzinie dedykowanych systemów motażu dźwięku cyfrowego jest *Sound Station Gold* firmy Digital Audio Research (patrz rys. 7-47). Jest to wielofunkcyjny system wyposażony standardowo w konsolę sterującą, monitor i mysz, dedykowaną konsolę mikserską i standardową klawiaturę komputerową. W skład systemu wchodzi poza tym: moduł procesorów sygnałowych, moduł układów wejścia/wyjścia, moduł dysków twardych i moduł obsługi dysku optycznego. Część analogową układów wejścia/wyjścia stanowią 18-bitowe konwertery, 4 szt. pracujące jako wejściowe, a 8 lub 16 szt. pracujących jako wyjściowe. Istnieje możliwość powiększenia liczby kanałów wejściowych o kolejne cztery kanały. Cyfrowe układy wejścia/wyjścia obsługują 8 kanałów standardu AES/EBU (jako wejścia i wyjścia). System posiada trzy przełączane częstotliwości próbkowania 32kHz, 44.1kHz lub 48kHz. System gwarantuje pasmo przenoszenia, w części analogowej układów wejścia/wyjścia, od 20 do 20000Hz (± 0.25 dB), przy częstotliwości próbkowania 44.1kHz (lub 48kHz) oraz dynamikę sygnału większą od 95dB.



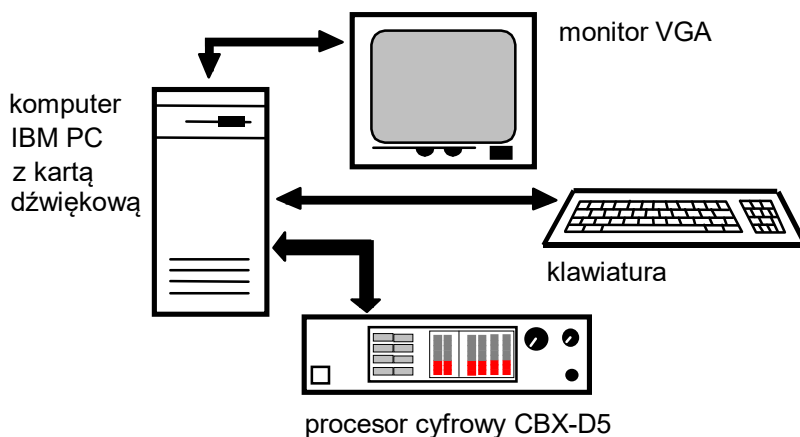
Rys. 7-47. Widok konsoly sterującej systemu *Sound Station Gold*

Układy konsoly mikerskiej kontrolują do 32 kanałów, a także posiadają 2 stereofoniczne i 2 monofoniczne gniazda powrotne z urządzeń zewnętrznych. Wyjście konsoly jest stereofoniczne, a ponadto posiada ona 2 monofoniczne wyjścia typu *aux* (przesłania na urządzenia zewnętrzne) i stereofoniczne gniazda *insert*. Konsola mikerska ma możliwość pracy zautomatyzowanej w 5 trybach: *Play*, *Write*, *Trim*, *Update* i *Off*. Konsola mikerska wyposażona jest w system potencjometrów suwakowych z wbudowanymi sterowanymi silnikami liniowymi (ang. *motorised faders*). Oprogramowanie systemu umożliwia także zmianę prędkości odtwarzania dźwięku w granicach od -4 do +4-krotnej prędkości standardowej jak również przetwarzanie dźwięku przy pomocy procesorów sygnałowych.

Moduł dysków twardej składa się z 8-miu dysków umieszczonych w obudowie typu *rack*. Ponadto system posiada stację dysków magnetoptycznych 1,3GB i stację dyskietek 5,25" oraz 3,5". Stacja montażowa *Sound Station Gold* posiada możliwość pracy synchronizowanej w kilku standardach: SMPTE/EBU, Video PAL i NTSC. Oprogramowanie systemu pracuje w trybie graficznym, o rozdzielczości 1024×768 linii, co gwarantuje wysoką jakość montażu graficznego. Na ekranie monitora kontrolnego wizualizowane są wszystkie ścieżki obsługiwane przez system. Wizualizacja dźwięku zapisanego na ścieżkach odbywa się za pomocą prostokątnych bloków oznaczonych etykietami alfanumerycznymi lub reprezentacji graficznej w postaci obwiedni czasowej sygnału fonicznego. Komunikacja z użytkownikiem odbywa się za pomocą wielopoziomowego menu i wirtualnych klawiszy funkcyjnych uruchamianych za pomocą myszy.

Znaczny postęp w dziedzinie dyskowych systemów przetwarzania dźwięku spowodowany jest wzrostem możliwości komputerów osobistych *PC* i częstszym wykorzystywaniem ich w studiach nagrań. Chociaż komputer *PC* był przez pewien czas używany w systemach obróbki dźwięku jedynie jako konsola sterująca, znaczący wzrost mocy procesorów umożliwił pokrycie prawie wszystkich potrzeb sprzętowych w niektórych systemach. Pomimo, że programy służące do zapisu sygnałów fonicznych są generalnie dostarczane wraz z fabrycznymi kartami rozszerzeń do komputerów, pewna grupa twórców oprogramowania używa obecnie istniejących kart do tworzenia własnych pakietów oprogramowania. Oznacza to, że platforma *PC* używająca kart rozszerzeń jest bardzo elastyczna i umożliwia użytkownikowi różnorodne wykorzystanie sprzętu.

Jednym z bardziej popularnych programów do cyfrowej rejestracji i obróbki dźwięku w oparciu o komputer IBM PC jest program *Cubase Audio* firmy Steinberg. System wymaga by komputer był wyposażony w kartę dźwiękową. Jedną z wersji tego oprogramowania współpracuje dodatkowo z urządzeniem *CBX-D5* firmy Yamaha, które można uznać za profesjonalny procesor do cyfrowej rejestracji dźwięku (patrz rys. 7-48).

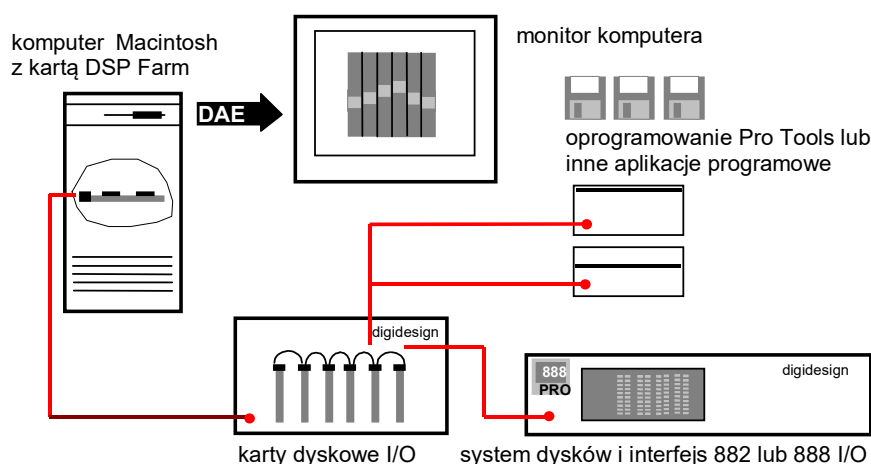


Rys. 7-48. Schemat blokowy systemu *Cubase Audio D5*

Procesor *CBX-D5* wykonuje wszystkie funkcje niezbędne do dokonania cyfrowego nagrania dźwięku. Gwarantuje 16-bitową, liniową konwersję analogowo/cyfrową, 18-bitową (z 8-krotnym ndpróbkowaniem) konwersję cyfrowo-analogową. Procesor *CBX* wyposażony jest w 2 złącza SCSI (typu Centronics) do obsługi dysków twardej. System jest 4-kanalowy, z możliwością równoczesnej rejestracji dwukanałowej i równoczesnym odtwarzaniem z 4-ch kanałów. Urządzenie posiada także procesor DSP, za pomocą którego uzyskać można 82 różne efekty typu pogłosowego i modulacyjnego (np. *chorus*, *flanger*, *harmonizer*). Program *Cubase Audio D5* pozwala na równoczesne odtwarzanie 8-miu niezależnych śladów (wymagane są w tym wypadku dwa urządzenia *CBX-D5*), daje możliwość wykorzystania śladów wirtualnych, a także 64×16 śladów do rejestracji MIDI. System pełnić może także funkcję cyfrowego miksera z pełną automatyką procesu zgrywania, ponadto posiada edytor sygnałów fonicznych i możliwość obsługi i montażu zbiorów cyfrowych zgromadzonych na twardym dysku. Poza wymienionym już edytorem program oferuje jeszcze następujące możliwości: *Key* - edytor graficzny, *List* - edytor listy zdarzeń MIDI, *Score* - edytor nutowy, *Drum* - perkusyjny i *Logical* - pracujący według kryteriów logicznych. System daje także możliwość obsługi szerokiej gamy urządzeń MIDI, dzięki programowalnemu mikserowi MIDI.

Systemy oparte na innych typach komputerów jako platformę wykorzystują komputery *Atari*, *Macintosh* lub specjalizowane komputery jakimi są stacje robocze *NeXT*. Przykładem systemu do produkcji nagrań muzycznych, opartego tym razem o komputer *Macintosh*, jest program *Pro Tools III*, opracowany przez firmę Digidesign.

Oprogramowanie *Pro Tools III* jest systemem profesjonalnym. Oferuje użytkownikowi do 48 ścieżek na dysku i do 64-ch kanałów modułu wejścia/wyjścia. Daje do dyspozycji szeroką paletę narzędzi do cyfrowego miksowania i montażu dźwięku, a także wzorowo zaprojektowany programowy interfejs użytkownika. Po połączeniu z dodatkowymi urządzeniami produkowanymi przez Digidesign, *Pro Tools III* stanowi pierwszą produkowaną masowo, zintegrowaną platformę do cyfrowej produkcji i postprodukcji fonicznej (a także, wraz z dodatkowym pakietem oprogramowania, platformę postprodukcji wideofonicznej). System wymaga komputera *Macintosh* z procesorem serii 68040 (minimum) i możliwością podłączenia karty *NuBus* lub komputera *Power Macintosh* ze standardowymi złączami kart rozszerzeń *NuBus*. System *Pro Tools III* jest systemem modułarnym, co umożliwi rozpoczęcie pracy w pełnym zakresie realizowanych zadań już z podstawową konfiguracją systemu (patrz rys. 7-49), a następnie poszerzenie zakresu wykonywanych prac dzięki zwiększeniu liczby modułów sprzętowych, wchodzących w skład systemu. Programowy rejestrator dźwięku umożliwia nagrywanie na 16 ÷ 48 śladach równocześnie. Możliwe jest uzyskanie natychmiastowego dostępu do dowolnego miejsca nagrania dzięki możliwości wybrania 100 punktów odniesienia kontrolowanych przez autolokator. Edytor programu *Pro Tools III* oferuje cztery tryby montażu: *Slip* - tryb płynnego przesuwania bloków sygnałów i ścieżek w dowolne miejsca, nawet z możliwością nakładania na siebie bloków sygnałów; *Shuffle* - tryb szybkiego montażu ścieżek; *Spot* - tryb automatycznego montażu z użyciem kodu czasowego; *Grid* - tryb montażu oparty o podział ścieżki na skalowane odcinki, kod czasowy lub skalę czasową. Możliwa jest także rozbudowa systemu przez dodanie kolejnych modułów programowych (ang. *Plug-In*).



Rys. 7-49. Schemat blokowy systemu. *Pro Tools III* w konfiguracji podstawowej

Ostatnim przykładem systemu przeznaczonego dla potrzeb postprodukcji fonicznej i wizyjnej, który będzie tu podany jest *System MFX* firmy Fairlight, który opiera się na wykorzystaniu wielośladowego zapisu na dysku magnetycznym. System zawiera obszerne biblioteki efektów specjalnych i brzmień różnych instrumentów dla celów wzbogacenia nagrań i uzyskania odpowiedniej dramaturgii w przypadku udźwiękowania obrazów filmowych. Zapisane na dysku dźwięki z bibliotek brzmieniowych mogą być przekształcane w sposób zbliżony, jak w elektronicznych syntetyzerach muzycznych oraz montowane wraz ze źródłowym materiałem fonicznym i wizyjnym.

7.3.4 Wykorzystanie sieci transmisji danych

Sieć ISDN (ang. *Integrated Services Digital Network*) jest systemem cyfrowej sieci telekomunikacyjnej z integracją usług, który umożliwia jednoczesną transmisję poprzez przyłącze abonenckie danych związanych z różnymi typami usług telekomunikacyjnych, takimi jak: telefonia, teletekst, telefaks, poczta elektroniczna, transmisja danych pomiędzy komputerami, wideotelefonia i telewizja. Komunikacja jest przy tym duplexowa, czyli zachodzi jednocześnie w obu kierunkach. Przesyłane jednocześnie dane dotyczące różnych typów usług mogą mieć różne adresy docelowe. Głównym atutem systemu ISDN jest fakt wykorzystywania przez niego infrastruktury publicznej sieci telefonicznej. Wiąże się to z łatwością obsługi systemu przez użytkownika, np. operacji realizacji połączenia. Właściwości te stwarzają sieci ISDN możliwość stania się najbardziej rozpowszechnionym medium transmisyjnym.

Transfer danych przez sieć ISDN opiera się na strukturach złożonych z kanałów nośnych typu B, przenoszących właściwą informację oraz kanałów typu D, odpowiedzialnych za sygnalizację i nadzór nad połączeniem, mogących również służyć do przesyłania danych użytkownika. Jedną z możliwych struktur jest struktura typu BRI (ang. *Basic Rate Interface*), składająca się z dwóch kanałów B o przepływności 64 kbit/s (istnieje możliwość wykorzystywania tylko jednego z nich) oraz jednego kanału D o przepustowości 16 kbit/s. Inne nazwy tej struktury to 2B+D lub ISDN-2. Konfiguracja BRI realizuje więc przepływ informacji z prędkością 64 kbit/s lub 128 kbit/s. Możliwe jest połączenie kilku struktur BRI dla uzyskania większej przepływności. Prostota konfiguracji BRI sprawia, że jest ona wykorzystywana przeważnie przez indywidualnych użytkowników i niewielkie instytucje, w tym studia nagrań.

Inną strukturą ISDN jest PRI (ang. *Primary Rate Interface*) (inna nazwa: S2M) o konfiguracji 23B+D (rozpowszechniona w USA, Kanadzie

i Japonii) lub 30B+D (rozpowszechniona w Europie Zachodniej), w której kanały B i D mają przepływności po 64 kbit/s. Daje to sumaryczne prędkości transmisji danych odpowiednio 1,544 Mbit/s oraz 2,048 Mbit/s. Ze względu na znaczną złożoność tej struktury jest ona wykorzystywana przeważnie przez duże przedsiębiorstwa.

Ważnym etapem przesyłania informacji przez sieć ISDN, który to system umożliwia transmisję danych pochodzących z jednego lub jednocześnie kilku różnych terminali na kilku kanałach B, jest multipleksowanie inwersyjne (ang. *Inverse Multiplexing*), oznaczane też jako I-MUX. Polega ono na rozdzielaniu wejściowego strumienia (strumieni) danych pomiędzy wymaganą liczbę kanałów B wraz z generowaniem sygnałów kontrolnych (synchronizujących), zapewniających prawidłową rekonstrukcję tego strumienia (strumieni) po stronie odbiorczej. Sygnały kontrolne są konieczne, gdyż poszczególne strumienie o przepływności 64 kbit/s pokonują zwykle zróżnicowane drogi w sieci, wprowadzając różnorodne opóźnienia oraz zmiany kolejności danych. W przypadku kilku źródeł danych każdy kanał B może przynosić informację pochodzącą z różnych terminali.

Sieć ISDN znajduje szerokie zastosowanie w produkcji nagrań muzycznych przy współudziale oddalonych od siebie instytucji przemysłu muzycznego. Oprócz możliwości właściwych dla sieci Internet (przesyłanie plików dźwiękowych o jakości płyty kompaktowej, plików MIDI, danych sterujących określonym układem automatyzacji stołu reżyserskiego i in.), ISDN nadaje się do transmisji na duże odległości wysokiej jakości sygnału fonicznego, pobieranego bezpośrednio z mikrofonu, gitary elektrycznej, syntetyzera, odtwarzacza CD czy magnetofonu w czasie rzeczywistym, tzn.. w taki sposób aby sygnał pojawił się on po stronie odbiorczej z niewielkim opóźnieniem przy zachowaniu warunku bezprzerwowego odtwarzania. Transmisja ta może przy tym przebiegać jednocześnie w obu kierunkach oraz obejmować kilka źródeł danych i sygnału. Właściwości te sprawiają, że system sieci ISDN umożliwia przeprowadzenie w czasie rzeczywistym interaktywnej sesji nagraniowej pomiędzy odległymi studiami nagrań. W tym przypadku wykorzystuje się stratne (perceptualne) kodowanie sygnału fonicznego do celu jego kompresji – patrz roz. 5.

Gwałtownie rozwijające się w ostatnich kilku latach metody kompresji cyfrowego sygnału fonicznego pozwalają na przesyłanie przez sieć ISDN w czasie rzeczywistym sygnału fonicznego wysokiej jakości jednocześnie w obu kierunkach już przy wykorzystaniu od dwóch do sześciu kanałów typu B.

W celu zapewnienia łączności użytkownika z siecią ISDN należy wyposażyć studio w:

- kartę sieciową ISDN, dzięki której możliwy jest transfer danych pomiędzy stacjami roboczymi, plików wizyjnych, plików MIDI, list montażowych, danych konfiguracyjnych;
- koder/dekoder (kodek), odpowiedzialny za kompresję lub dekompresję cyfrowego sygnału fonicznego (najczęściej wykorzystywany jest obecnie standard kompresji perceptualnej MPEG);
- I - MUX - układ przeprowadzający operację multipleksowania inwersyjnego, co pozwala na korzystanie z więcej niż jednego kanału B podczas transmisji sygnału fonicznego przez sieć ISDN;
- TA (ang. *Terminal Adaptor*) - interfejs dokonujący transkodowania formatów danych;
- adapter sieciowy (zakończenie sieciowe) NT1 (ang. *Network Terminator type 1*), odpowiadający za utrzymanie i nadzór styku z siecią, w tym odtwarzanie podstawy czasu, podział transmisji na pakiety, synchronizację, konwersję prędkości transmisji, detekcję i wysyłanie sygnałów aktywacji łącza, zasilanie pozostałych urządzeń napięciem z linii, sterowanie urządzeniami końcowymi.

Zaawansowane techniki produkcji muzycznej oferowane przez ISDN są niezwykle ekonomiczne. Pozwalają one na osiągnięcie tych samych efektów bez potrzeby przyjazdu solisty lub aktora do miejsca realizacji nagrania lub filmu. Mogą więc wystąpić przypadki, że płyty są nagrywane przez muzyków, którzy się nigdy nie spotkali, ale zostali ze sobą połączeni poprzez sieć ISDN na czas sesji nagraniowej.