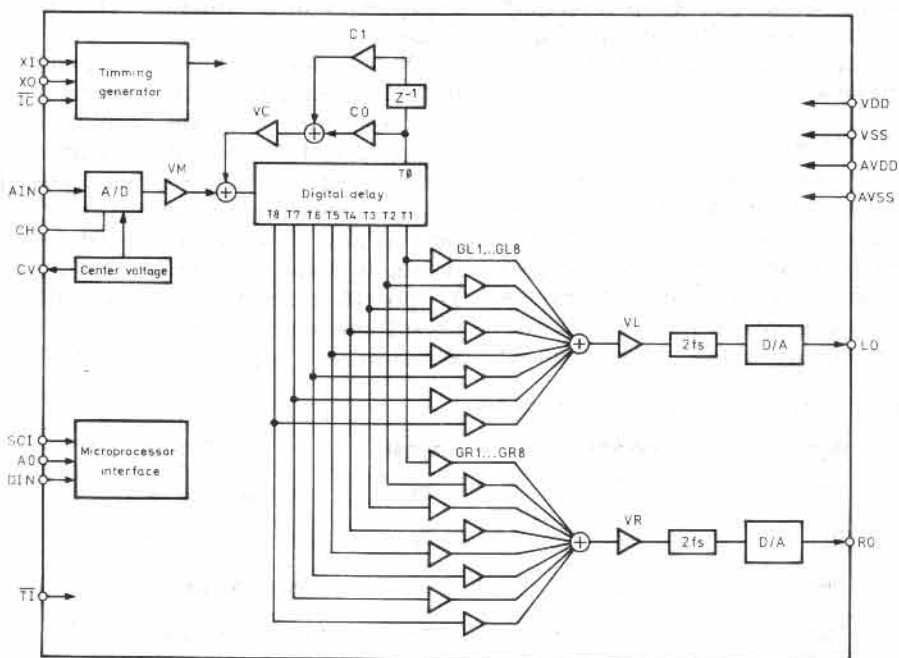


Audioprocessing, część 3

68HC11 steruje procesorem Surround Yamaha YM7128

W trzeciej części trylogii poświęconej przetwarzaniu sygnałów audio omówimy rozszerzenie możliwości pakietu prototypowego opisanego w poprzednim numerze EP. Mały układ scalony Yamahy, zainstalowany na płycie MOPS-light mikrokontrolera 68HC11, umożliwi prawdziwe multi-Surround. Pojawia się przy okazji możliwość wzbogacenia nagrań nie kodowanych systemem Dolby-Surround o efekty charakterystyczne dla odbić od środowiska.



Rys. 1. Wszystko co potrzeba: chip Yamahy YM7128 zawiera kompletne echo cyfrowe z analogowymi wejściami i wyjściami.

Surround-Procesor YM7128 zawiera 14-to bitowy przetwornik A/C i cyfrową linię opóźniająca z ośmioma „odczepami“. Schemat blokowy struktury tego układu scalonego ilustruje rys. 1. Czas opóźnienia, poziom i faza sygnału na każdym z wyjść linii opóźniającej (odczepie) mogą być indywidualnie programowane. Linia opóźniająca jest zaopatrzona w sprzężenie zwrotne tworzące cyfrowy filtr dolnoprzepustowy typu FIR (Finite Impuls Response). Współczynniki tego filtru są definiowane programowo. Dzięki takiemu rozwiązaniu sygnał wyjściowy będąc sumą 8 pojedynczych ech zawiera okazałą ilość tzw. „early reflections“. Pod pojęciem tym rozumie się pierwsze odbicia w pomieszczeniu (typowo 20....80ms), zanim dojdzie do pełnego pogłosu. Nie możemy się jednak spodziewać uzyskania przy pomocy YM 7128 efektu dywanu

dźwiękowego, osiągalnego przy pomocy cyfrowych urządzeń pogłosowych.

Mimo tego, przy zręcznym dobraniu nastaw i wielokrotnym wykorzystaniu sprzężenia zwrotnego, można uzyskać duże zagęszczenie pojedynczych ech. Wyjście stereo wspomaga przestrzenne odbieranie powstałych efektów. Oczywiście, omawiany chip nie może konkurować z urządzeniami profesjonalnymi, ale w naszym zastosowaniu nie jest to konieczne.

Układ

Na rysunku 2 pokazano kompletny schemat Surround-Extension. Fragment układu ze wzmacniaczem IC1a służy, po pierwsze, dopasowaniu poziomu sygnału, przez dobranie Rx, do układu Yamahy, który ze względu na zasilanie tylko z +5V nie dopuszcza zbyt dużych sygnałów wejściowych; po drugie, separuje od

składowej stałej i zakłóceń niskiej częstotliwości. Każde przetwarzanie A/C-C/A wymaga zastosowania filtrów. Ze względu na małą szerokość pasma - próbkowanie ma częstotliwość 23,6kHz - można się nie przejmować przebiegiem charakterystyki fazowej i nieliniowością wzmocnienia. Aby zrealizować „anti-aliasing“ zastosowano zmodyfikowany filtr dolnoprzepustowy Butterwortha 6 rzędu o tłumieniu 36dB na oktawę (IC1b... IC1d). Jego charakterystykę częstotliwościową ilustruje krzywa AAF na rys.3. Niewielkie podbicie 1dB w otoczeniu 10kHz można zaniedbać, tym bardziej, że zastosowany w dalszej części układu filtr wnosi odpowiednie tłumienie.

Na wyjściu YM7128 znajduje się filtr górnoprzepustowy drugiego rzędu o częstotliwości granicznej 700Hz. Filtr ten pomaga w osiągnięciu przez nasz układ

przebiegu charakterystyki częstotliwościowej zgodnej z analogicznym dla Dolby-Surround (krzywa TSF na rys.3). Filtr zrealizowany na IC2A i IC2B charakteryzuje tłumienie 18dB/okt. Większe nachylenie nie jest na wyjściu konieczne ponieważ YM7128 posiada podwójny cyfrowy filtr oversamplingowy. Jeśli posiadamy inne wyobrażenia o brzmieniu niż Dolby-Laboratories to pamiętajmy że zastosowane filtry dolno- i górnoprzepustowe dają się łatwo modyfikować.

Instalacja

Na obwodzie drukowanym układu Surround-Extension przewidziana jest 34-pinowa złączka umożliwiająca zainstalowanie tego obwodu bezpośrednio na płytce kontrolera MOPS-light [1]. Kontroler ten dostarcza m.in. sygnały

DIN (Data In), A0 (Address-/Data Select) i SCI (Serial Clock Input, $\max.f_s=f_c/8$), konieczne do sterowania Surround-Processorami. Przez wspomnianą złączkę realizuje się również doprowadzenie „masy”. Przyciski sterujące (T1...T4) łącznie z rezystorami „pull-up” (RN1) dają się łatwo zainstalować na polu rastrowym MOPS-light; należy je połączyć z odpowiednimi pinami złączki (Tabela 1).

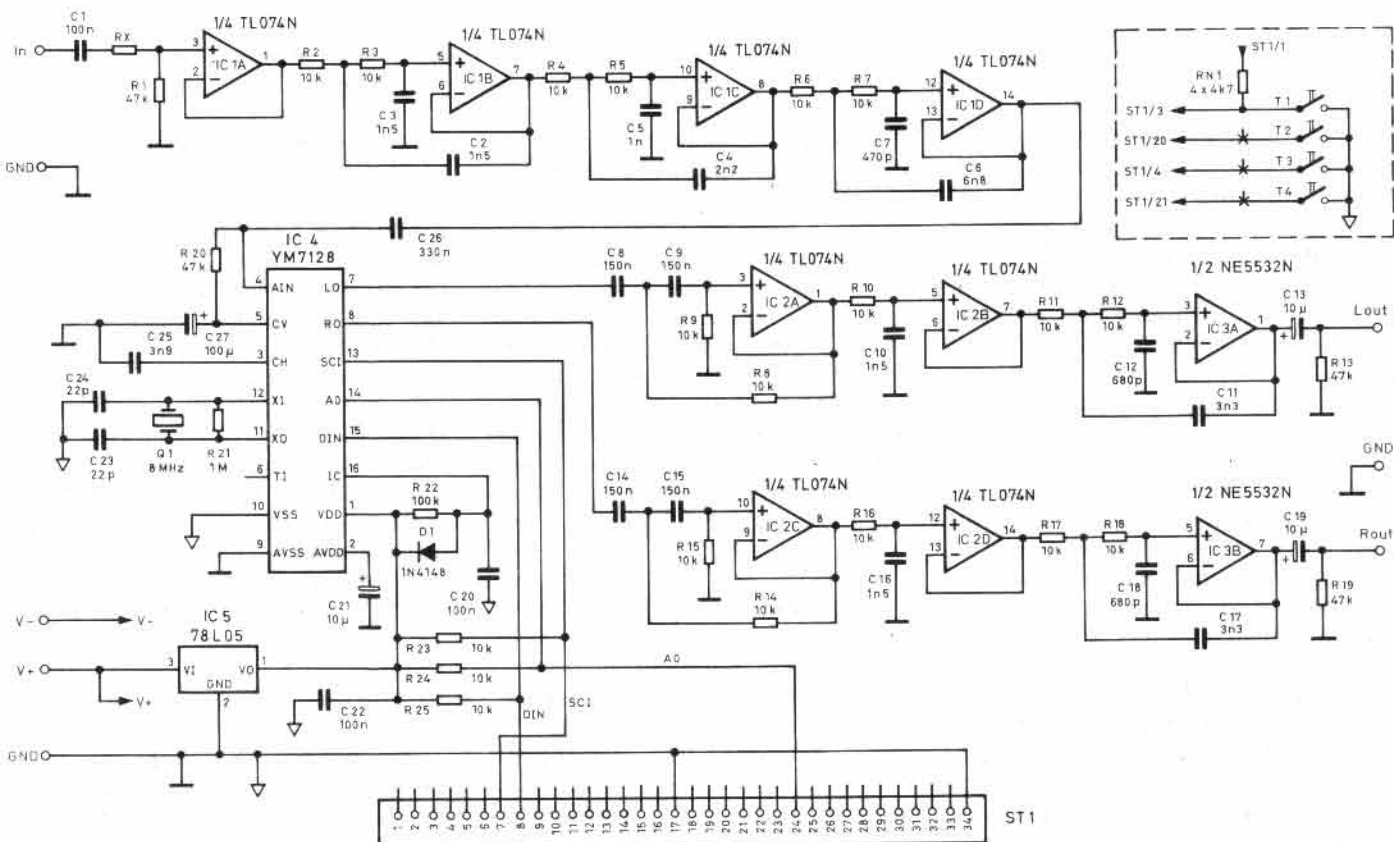
Do sterowania obwodu Yamahy mikrokontroler 68HC11 wykorzystuje specjalny software zapisany w pamięci EPROM. Zarządzanie sterowaniem odbywa się przy pomocy czterech wspomnianych przycisków i wymaga zainstalowania wyświetlacza LCD - 2 linijki po 16 znaków. Do zasilania części analogowej potrzebne jest symetryczne napięcie 8... 15V.

Napięcie 5V wymagane przez Surround-procesor pobierane jest, ze wzgl. na dobre filtrowanie, nie z płytki kontrolera MOPS-light ale z obwodu IC5.

Wszystkie programowalne parametry t.j. czasy opóźnień, tłumienie (wzmocnienie) w odczepach linii opóźniającej i współczynniki filtru FIR są zapisywane w rejestrach mikrokontrolera. Zależności pomiędzy sygnałami SCI, DIN i A0 ilustrujemy rys.5. Gdy linia A0 jest w stanie Low to przesyłana jest, synchronicznie z SCI, wartość adresu, w przeciwnym wypadku przesyłane są dane. Tabele 2.4 zawierają wykaz programowanych parametrów i adresy korespondujących rejestrów. Przy ustawianiu stopnia tłumienia w odczepach linii opóźniającej można, przy pomocy 5-go bitu, odwracać fazę. W menu parametrów objawia się to przez fakt, że oprócz tłumienia mogącego przyjmować 32 wartości z zakresu $-\infty \dots 0\text{dB}$, dochodzą dalsze 32 wartości dla sygnału odwróconego w fazie (na wyświetlaczu opatrzone znakiem „-“). Przy pomocy składowych o odwróconej fazie dają się generować, na tylnych głośnikach, dodatkowe stereoeffekty.

Tab. 1. Przyciski: funkcje i podłączenie

| Port | Pin ST1 | Przycisk | Funkcja |
|------|---------|----------|---------------------|
| PE0 | 3 | T1 | Wartość narastająca |
| PE1 | 20 | T2 | Wartość opadająca |
| PE2 | 4 | T3 | Menu narastające |
| PE3 | 21 | T4 | Menu opadające |



Rys. 2. Układ Surround-Extension składa się przede wszystkim z filtrów nieodzwonnych przy przetwarzaniu A/C-C/A.

Tab. 2. Wykaz wykorzystywanych rejestrów. Stany bitów oznaczone przez "x" nie odgrywają żadnej roli.

| Adres (Hex) | Dane | | | | | | | | Funkcje | |
|-------------|------|---|---|---|---|---|---|----|---------|---|
| | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | | |
| 00 | x | x | | | | | | | GL1 | Wartości tłumienia dla odczepów w lewym kanale, bit 5 określa znak |
| 01 | x | x | | | | | | | GL2 | |
| 02 | x | x | | | | | | | GL3 | |
| 03 | x | x | | | | | | | GL4 | |
| 04 | x | x | | | | | | | GL5 | |
| 05 | x | x | | | | | | | GL6 | |
| 06 | x | x | | | | | | | GL7 | |
| 07 | x | x | | | | | | | GL8 | |
| 08 | x | x | | | | | | | GR1 | Wartości tłumienia dla odczepów w prawym kanale, bit 5 określa znak |
| 09 | x | x | | | | | | | GR2 | |
| 0A | x | x | | | | | | | GR3 | |
| 0B | x | x | | | | | | | GR4 | |
| 0C | x | x | | | | | | | GR5 | |
| 0D | x | x | | | | | | | GR6 | |
| 0E | x | x | | | | | | | GR7 | |
| 0F | x | x | | | | | | | GR8 | |
| 10 | x | x | | | | | | | VM | Wartości tłumienia, bit 5 określa znak |
| 11 | x | x | | | | | | | VC | |
| 12 | x | x | | | | | | | VL | |
| 13 | x | x | | | | | | | VR | |
| 14 | x | x | | | | | | | C0 | FIR - współczynnik filtru |
| 15 | x | x | | | | | | | C1 | |
| 16 | x | x | | | | | | T0 | | Wartości opóźnień dla poszczególn. odczepów |
| 17 | x | x | | | | | | T1 | | |
| 18 | x | x | | | | | | T2 | | |
| 19 | x | x | | | | | | T3 | | |
| 1A | x | x | | | | | | T4 | | |
| 1B | x | x | | | | | | T5 | | |
| 1C | x | x | | | | | | T6 | | |
| 1D | x | x | | | | | | T7 | | |
| 1E | x | x | | | | | | T8 | | |

Rysunek 6 ilustruje, w jaki sposób YM7128 wewnętrznie przetwarza wartości współczynników filtru FIR (C0, C1) zapisane w rejestrach mikrokontrolera. Aby poprawnie dobrać wartości C0 i C1 trzeba się zagłębić w teorię filtrów cyfrowych [2,3]. Wartościami orientacyjnymi mogą być:

$$C0 = 2f_b/f_a$$

$$C1 = 1/\pi \sin(\pi C0)$$

gdzie f_a oznacza częstotliwość próbkowania a f_b częstotliwość graniczną na poziomie -3dB.

Dolby-Surround czy Multisurround

Aby opisany w poprzednim numerze EP układ z PC1892 lub podobny samodzielnie wykonany mógł generować odczuwalne efekty Surround, koniecznym jest

wprowadzenie niewielkich opóźnień. Zrealizowanie tego przy pomocy 14-bitowego przetwornika zawartego w YM7128, o pasmie 700Hz....7kHz i niskim poziomie siły głosu tylnych głośników nie stanowi problemu. Przy częstotliwości próbkowania 23,6kHz, odpowiadającej częstotliwości kwarcu 7,16MHz obwód Yamahy może, wg. danych katalogowych, wprowadzać maksymalne opóźnienie 100ms, a dla przewidzianego zastosowania wystarczy 20....50ms.

Jak wspomniano na wstępie, omawiany chip umożliwia otrzymanie efektu wielokrotnych odbić w formie sygnału przewidzianego dla głośnika znajdującego się za plecami słuchaczy. Proponowane rozwiązanie, w zastosowaniach

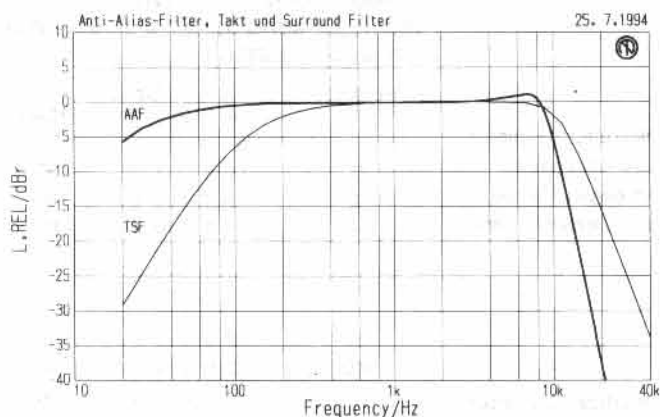
Tab. 3. Kodowanie tłumienia dla GL1...GL8, GR1...GR8, VM(Master Gain), VC (Filtr FIR), VL (wyjście lewego kanału), VR (wyjście prawego kanału). Bit 5 określa znak danego sygnału.

| Poziom (dB) | Dane | | | | | (Hex) |
|-------------|------|---|---|---|---|-------|
| | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | IF |
| -2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | IE |
| -4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | ID |
| . | . | . | . | . | . | . |
| -58 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 02 |
| -60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 01 |
| -∞ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 00 |

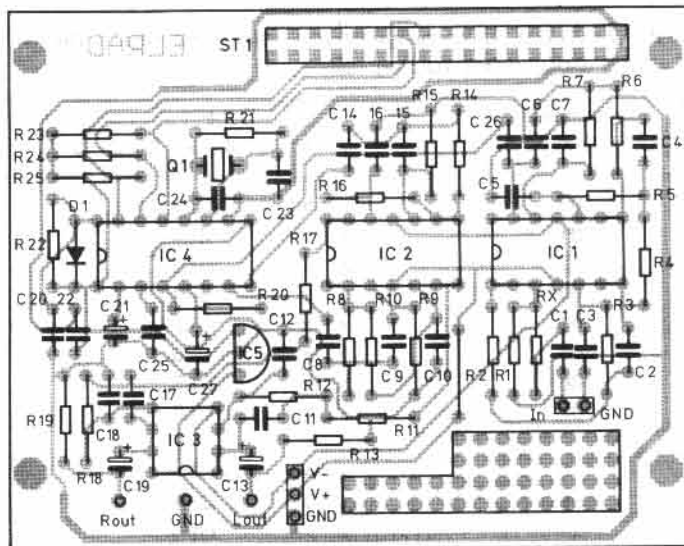
Tab. 4. Kodowanie opóźnień dla poszczególnych odczepów. Podano wartości dla kwarcu 7,16MHz.

| Czas opóźnień w ms | Dane | | | | | (Hex) |
|--------------------|------|---|---|---|---|-------|
| | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| 0,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 00 |
| 3,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 01 |
| 6,5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 02 |
| 9,7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 03 |
| 12,9 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 04 |
| 16,1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 05 |
| 19,3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 06 |
| 22,6 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 07 |
| 25,8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 08 |
| 29,0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 09 |
| 32,2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0A |
| 35,5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0B |
| 38,7 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0C |
| 41,9 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0D |
| 45,2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0E |
| 48,4 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0F |
| 51,6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| 54,9 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 11 |
| 58,1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 12 |
| 61,3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 13 |
| 64,5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 14 |
| 67,8 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 15 |
| 71,0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 16 |
| 74,2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 17 |
| 77,4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 18 |
| 80,7 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 19 |
| 83,9 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1A |
| 87,1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1B |
| 90,4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1C |
| 93,6 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1D |
| 96,8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1E |
| 100,0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1F |

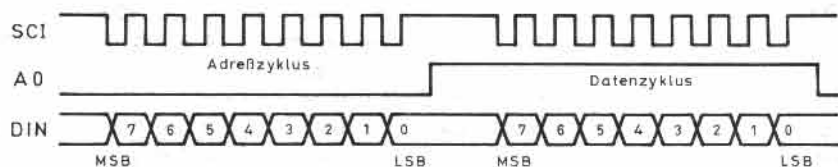
domowych, daje bardziej naturalny efekt Surround niż System Dolby. W nieprofesjonalnych zastosowaniach realistyczne echo i pogłos nie mogą być zastosowane ze względu na niedokładne rozdzielanie kanałów i wyraźną



Rys. 3. Przebieg charakterystyki częstotliwościowej filtrów wejściowych i wyjściowych w oparciu o Dolby-Surround.



Rys. 4. Pakiet można "wetrząść" bezpośrednio w płytce mikrokontrolera MOPS-light. Umożliwia to złączka zainstalowana po stronie elementów.



Rys. 5. Przebiegi czasowe sygnałów SCI, A0 i DIN dostarczanych przez pakiet MOPS-light.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- R0: mostek z drutu
- R1, R13, R19, R20: 47kΩ
- R2...12, R14...18, R23, R24, R25: 10kΩ
- R21: 1MΩ
- R22: 100kΩ
- Rx: patrz tekst

Kondensatory

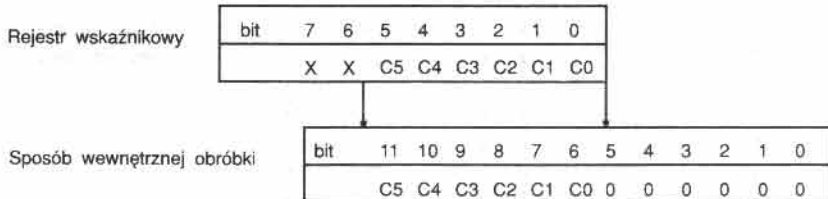
- C1, C20, C22: 100nF
- C2, C3, C10, C16: 1.5nF
- C4: 2.2nF
- C5: 1nF
- C6: 6.8nF
- C7: 470pF
- C8, C9, C14, C15: 150nF
- C11, C17: 3.3nF
- C12, C18: 680pF
- C13, C19, C21: 10μF/25V
- C23, C24: 22pF
- C25: 3.9nF
- C26: 330nF
- C27: 100μF/16V

Półprzewodniki

- D1: 1N4148
- IC1, IC2: TL074
- IC3: NE5532N
- IC4: YM7128
- IC5: 78L05

Różne

- Q1: kwarc 6...8MHz
- ST1: listwa z 34 pinami
- T1...T4: przyciski (do druku)



Rys. 6. Przetwarzanie współczynników C0 i C1. Płaty bit określa położenie przecinka.

słyszalność przy odtwarzaniu przez normalne zestawy stereo. Umożliwia to procesor Yamahy sterowany sygnałem L+P lub (często lepiej) sygnałem L-P, który generując wielokrotne, gęste echa nie tylko daje lepszy efekt przód-tył ale sygnałami na wyjściach stereo skokowo poprawia kiepską akustykę pomieszczenia wzmacniając tym samym wrażenia przestrzenne.

Matthias Carstens
Andreas Wostenfeld
Peter Nonhoff-Arps

Literatura

- [1] Hans-Jörg Himmeröder. "MOPS-light Minicontrollerboard mit dem 68HC11F1". ELRAD 2/94 S.26 ff.
- [2] Jürgen Petsch. "In Filter veritas, Entwurf digitaler Filter". ELRAD 11/91 S.16 ff.
- [3] U. Tietze, Ch. Schenk. "Halbleiterschaltungstechnik". 10. Auflage, Berlin 1993.S.807 ff.

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją niemieckiego miesięcznika **ELRAD**.