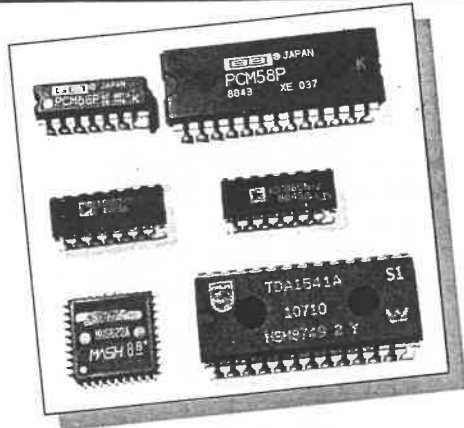


D/Aコンバータの音の違いを探る

PCM56P
PCM58P
AD1860N-J
AD1856N-K

TDA1541A
MN6623A

別府俊幸



D/Aコンバータ6種の比較(後編)

前回に引続き TDA1541A, MN6623 の検討に入りましょう。

TDA1541A

TDA1541A はマランツ社の高級 CD プレーヤ等に使用されている Philips 社の D/A です。4 倍オーバーサンプリングに対応し (8 倍サンプリ

ングにも使用できるらしいが、カタログ・スペック上は無理), またセトリング・タイムも $1\mu\text{s}$ と高速でデグリッチャ回路不要となっています。第 1 図にピン配置, 第 2 図に内部ブロック・ダイアグラムを示します¹⁾。TDA1541A も直線性によって 3 ランクありますが

(第 1 表), もちろん S1, 王冠マーク入りです (第 3 図)。

一言よけいにしゃべりますが, 某社 (複数) の広告には「A ヴァージョン使用」と, A が成績のランクのように唱われていますが, A は形式名称の一部です。2SK30A の A と同様, TDA1541 の改良型であることを表わしている印です。

TDA1541A は, ビットに対応した電流を Dynamic Element Matching (DEM) 方式 (上位 6bit), Emitter Scaling (下位 10bit) によって得ています。

第 4 図に DEM の原理を示します。いま電流源から I の電流が供給されるとします。この電流を高速に切り替わるスイッチ回路を通すと, a, b の様に時間的に $1/2$ ずつに分配されます。これをフィルタに通してリップルを除去すれば, $1/2 I$ の出力電流が得られます。ここでスイッチが a, b 双方に導通する時間が等しければ, 得られる電流も正確に I を $1/2$ したものになります。つまり, R-2R ラダー型 D/A が, 抵抗によって分流し, 抵抗値の誤差が精度を決めているのに対して, DEM 型はスイッチ切り替えによって分流し, クロックの正確さが電流値の精度を決めています。

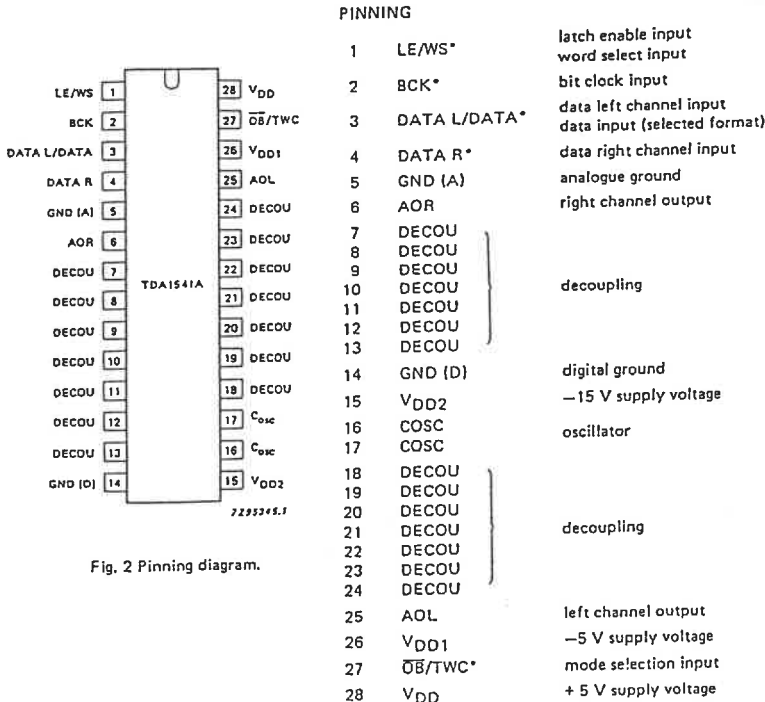
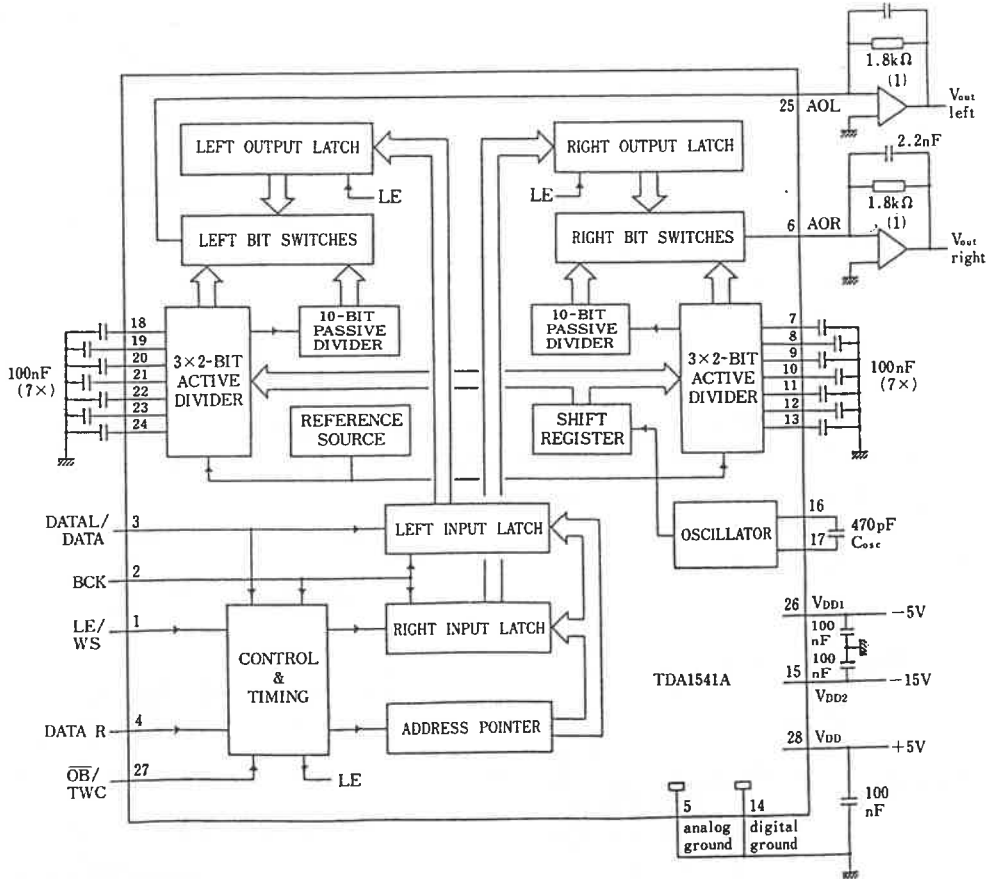


Fig. 2 Pinning diagram.

〈第 1 図〉 TDA1541A のピン配置 (データブックより)

〈第2図〉
TDA1541Aの内部
ブロック図 (フィリ
ップスデータブック
より)



一般に水晶発振子の安定度は高く、さらに原発周波数を1/2すれば正確なデューティ比のクロックが得られますから、DEM型は無調整で6桁以上の精度が可能となります。

TDA1541Aでは、実際には電流をトランジスタでおおまかに1/4し、分

〈第1表〉
TDA1541A
のランク

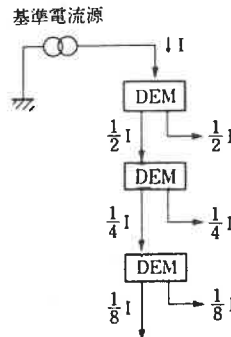
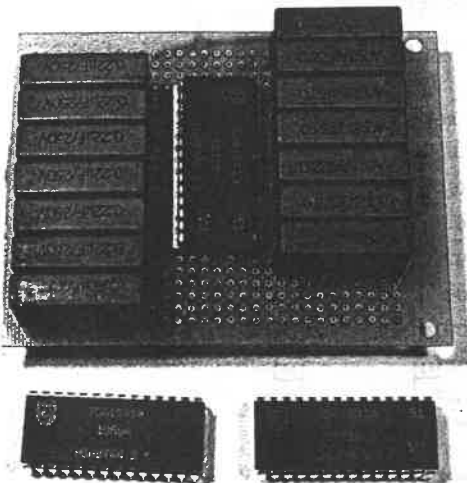
R1	Standard	S1 * 1986 Feb.
2 LSB	1 LSB	$\left\{ \begin{array}{l} 0.5 \text{ LSB bit } 1-7 \\ 1 \text{ LSB bit } 8-15 \\ 0.75 \text{ LSB bit } 16 \end{array} \right.$

けられた電流をDEMによってもう1度分割する方式になっています (第5図)²⁾トランジスタで分割された電流

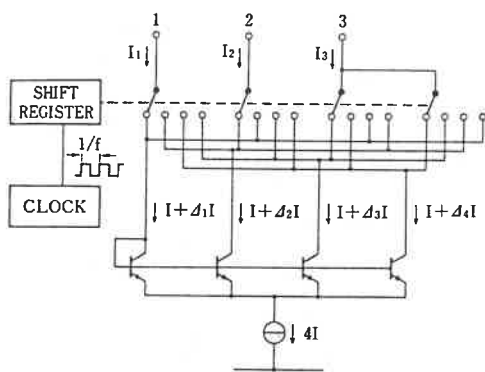
は、 $|I+I1|, |I+I2|, |I+I3|, |I+I4|$ と完全には等しくありません。4つの電流を再度DEMによって分割すると、精度良く1/4された電流となります。このためDEM出力は、第5図(b)に示すようなリップルを含みわず (直接DEMで4分割するよりも、TDA1541Aのように1度抵抗で分割してからDEMを通す方がリップルは少なくなります)。リップルは、CR1段のフィルタによって抵減しますが、Cは外付けです。

さて、御想像の通り、この外付けキャパシタによって音はコロコロ変わります。悲しいかなほとんどのCDプレーヤは、コストのためかあまり良質のCを用いてい

〈第3図〉
TDA1541A用基板
と王冠マークあり、
なし



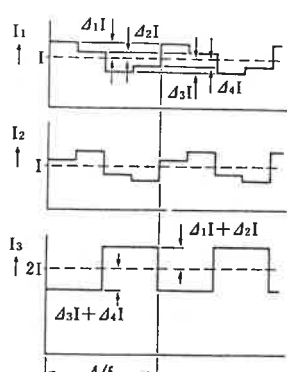
〈第4図〉DEM電流
ディバイダの原理図



〈第5図a〉 DEM 1段のブロック図

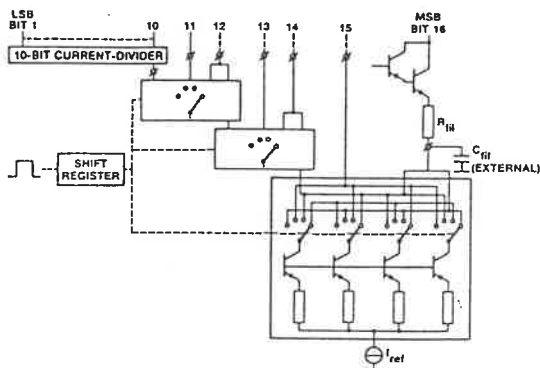
ませんから、ぜひ、高周波特性の良い良質なCと交換してみてください。絶大な効果があります。

マルコンまたはTDKのオーディオ用積層セラミック、基板に余裕のあ

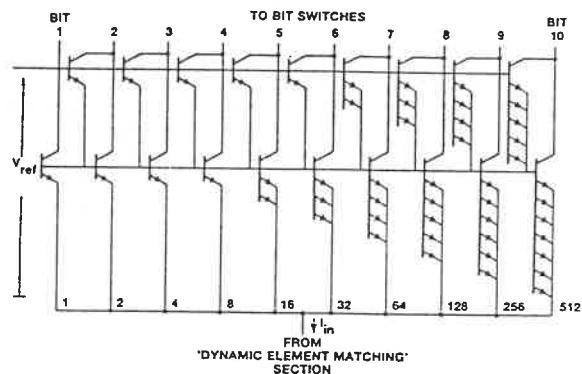


〈第5図b〉 I_1, I_2, I_3 の電流出力波形

る場合はERO MKP1841を奨めます(海神無線で扱っています。お兄さんに相談してください)。

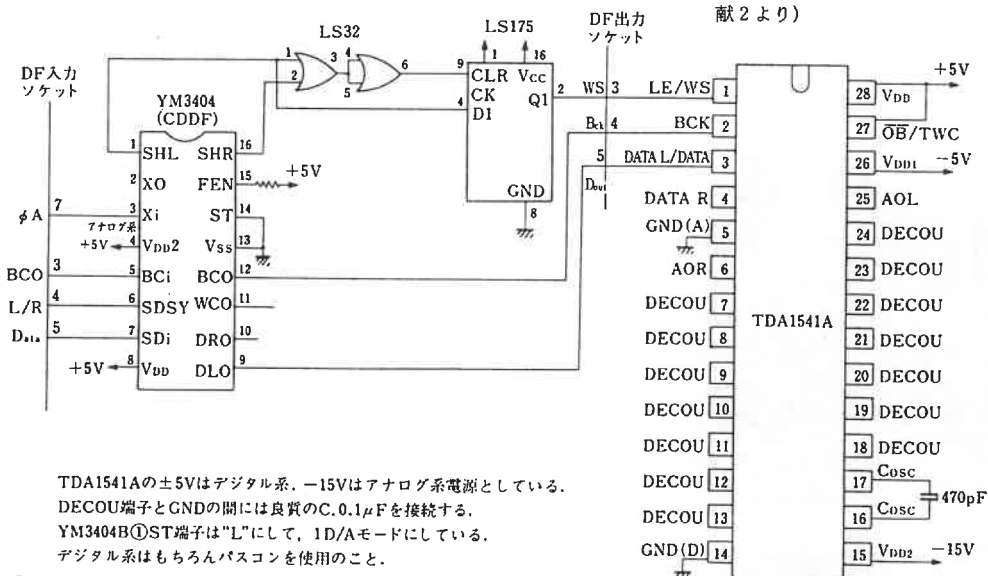


〈第6図〉 TDA1541A 上位6ビットのDEM回路ブロック図(文献2より)



正直なところ、この図の正確な意味を計りかねています。ダートンになっているのでしょうか(?)。1.2.4...512の数字はTr(エミッタ)の数を表しているはずですが。

〈第7図〉 TDA1541Aの下部10ビットエミッタスケールリングの原理(文献2より)

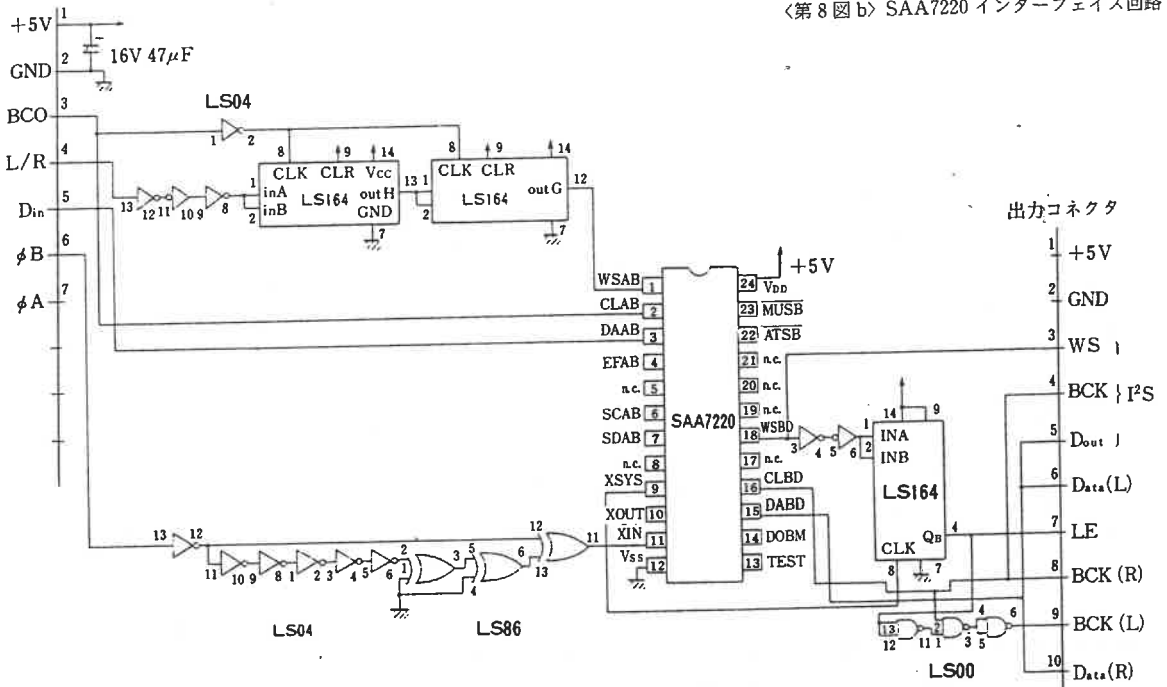


〈第8図a〉 YM3404B-TDA1541A インターフェイス回路

TDA1541Aの±5Vはデジタル系、-15Vはアナログ系電源としている。DECOU端子とGNDの間に良質なC.0.1μFを接続する。YM3404B①ST端子は"L"にして、1D/Aモードにしている。デジタル系はもちろんパソコンを使用のこと。

DECOU端子とGND(A)の間にCapacitorを接続

〈第8図b〉 SAA7220 インターフェイス回路

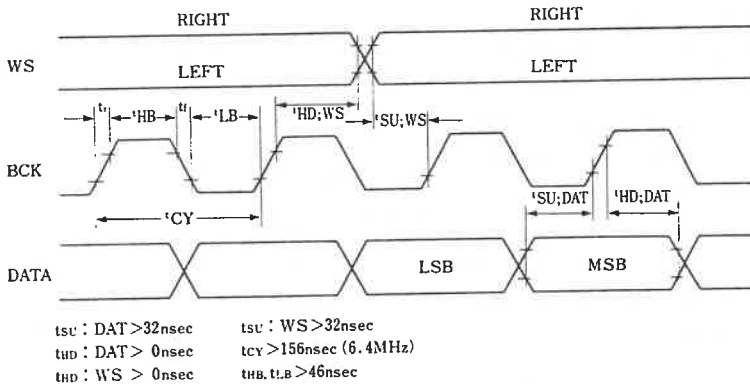


による分流回路を使用しています。第7図にエミッタ・スケーリングの原理を示します。

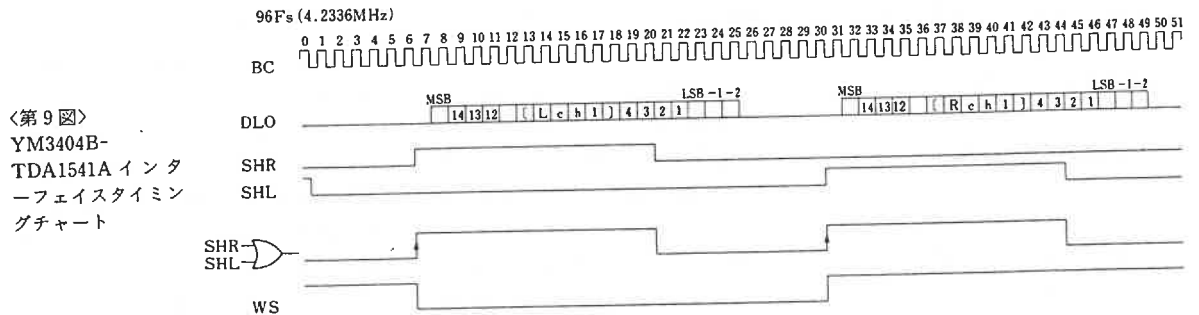
TDA1541では、チップ上に同じ大きさの1024個のトランジスタを作っています。この全てのTRに等しい

V_{BE} を加えますと、当然各々に流れぬコレクタ電流も等しくなります。したがって供給される電流 I_m を1024等分しますから、これらのTRを1, 2, 4, 8, ..., 512個とまとめると、ビットに対応した電流を得ることが可能になります。MSBに対して0.5 LSBの精度を要求するとすれば、各々のTRのコレクタ電流の誤差が1.1%以内に納めれば良いことになります。

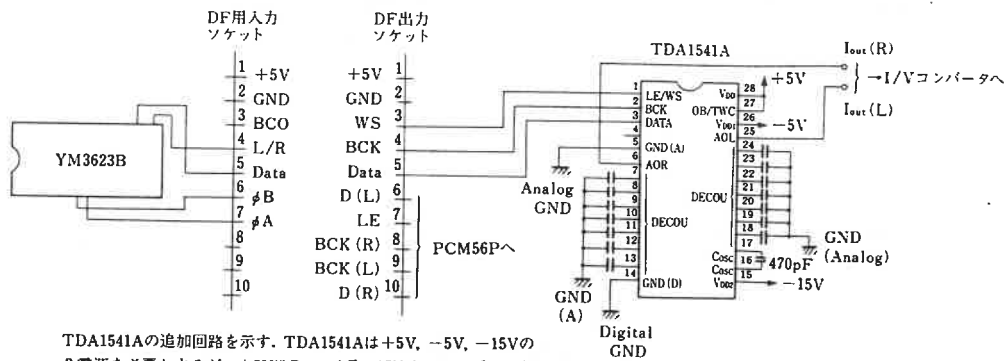
第8図にYM3404BとTDA1541A, SAA7220とTDA1541A各々のインターフェイス回路、第9図



〈第10図〉 TDA1541Aの入カタイミン (データシートより)

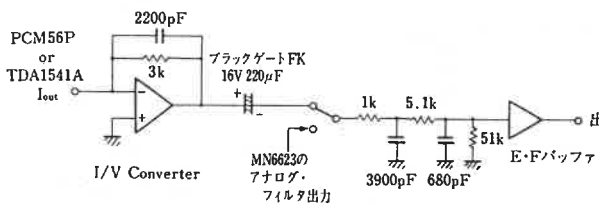


SHRとSHLのORをとり、その立ち上がりを利用して、SHLをラッチする。ラッチの出力がWSとなる。I²Sフォーマットは、データの先頭のタイミングが決められているため、データ長は自由となる。パワブラウンの方式とは逆である。

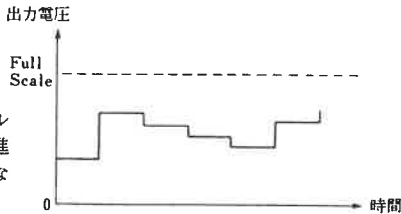


〈第11図〉
デジタル系メイン基板への追加

TDA1541Aの追加回路を示す。TDA1541Aは+5V、-5V、-15Vの3電源を必要とするが、±5VはDigital系-15VはAnalog系から供給する。DECOVのCは良質の0.1~0.22μFを使用する。



〈第12図〉
アナログフィルタ回路(全く進歩がみられない)



に TDA1541A の入力タイミング、第 10 図にインターフェイス回路のタイミング・チャートを示します。YM3404B のデグリッチャ信号、SHR と SHL の OR をとり、その信号の立ち上がりを利用して SHL をラッチしています。かなりトリッキーな方法ですが、ラッチ回路の出力が I²S の WS (ワードセレクト) のタイミングに一致します。

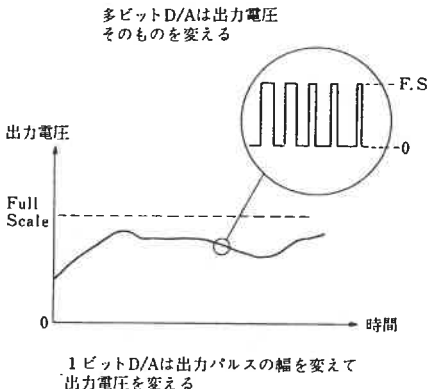
第 11 図に TDA1541A の追加回路を示します。TDA1541A にはアナログ、デジタルの 2 つの GND 端子があり、また電源端子は ±5V、-15V の 3 種類があります。どの電源が“アナログ”なのか“デジタル”なのかわかりませんが(データシートには記載がない。また GND も (A)、(D) 共通となっている)、おそらく基準電源は -15V だろうと考え、-15V のみアナログ系としました(間違っていたらごめんください)。

TDA1541A の電流出力は PCM56P と異なり 0~4 mA とモノポーラです。2 mA の定電流を作って加算するか、I/V コンバータを通した後にかップリング・キャパシタを使用するか、D/A を 2 個使用して I/V を通してから引算するかして直流分をキャン

セルしなければなりません。もちろん安易にカップリング・キャパシタを使用します。第 12 図にアナログ・フィルタ回路を示します(未だ 4 月号の回路から進歩していません)。今日のところは I/V の出力にキャパシタを追加しただけです。カップリングはブラックゲート FK16V 220μF です。電解ですが音質的には少し低域が締まる程度で、中高域にもほとんど劣化はありません。フィルム・キャパシタにありがちなクセの強い中高域よりは、はるかに良質の音を聴かせる電解です。

1 ビット方式の問題点

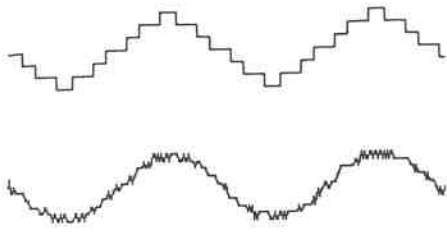
MN6623 に入る前に、1 ビット D/A 変換方式について考えてみたいと思います。多ビット同時変換方式(1 ビットとの対応上多ビット式と呼びます)D/A は、出力する電圧を変えてアナログ波形を作ります。これに対して 1 ビットは出力信号の高さ(電圧)ではなくパルス幅(時間)を変えてアナログ出力を作ります(第 13 図)^①。時間当たりで考えますとパルスの幅が狭ければ振幅・時間積も小さくなり、パルス列を積分して得られる電圧も低くなり



〈第13図〉1ビットD/Aと多数ビットD/Aの出力の違い

ます。たとえば 1 秒のパルスがフルスケール、1 V 出力としますと、1/2 秒幅のパルスは 0.5 V の出力に、1/4 秒のパルスは 0.25 V の出力となります。そうです、このパルス出力を高速で繰り返せば、そのパルス列を積分した出力はアナログ電圧となります。

1 ビット方式の D/A は、ゼロクロスひずみが発生しない、モニタ性に欠ける事がない、非直線ひずみを発しない、デグリッチャ回路が不要である、小信号時の波形再現に優れる、などの多くの利点があり、オーディオ用に最適であるかのように言われています。確かに第 14 図のようなシミュレーション波形を見せられると、1 ビットのほうが良い音がしそうな気がし



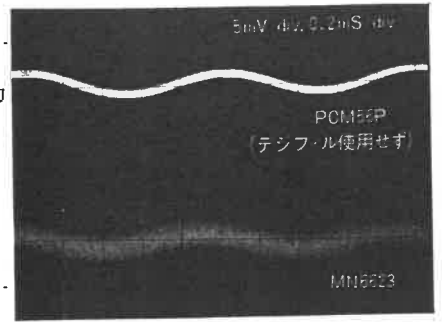
上が多ビット同時、下が1ビット出力である。なお、1ビットは64倍+2次のノイズシェーピングを用い、量子化器の出力は10値の単純平均でフィルタリングした。ノイズ・シェーピングは文献(8)を参考にした。

〈第14図〉-78dB正弦波のシミュレーション出力

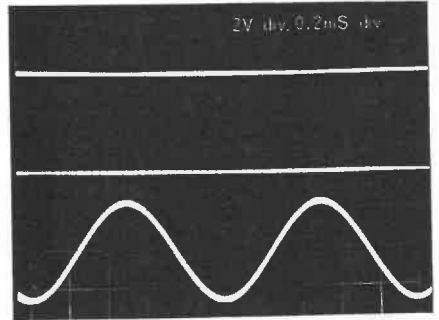
ます。

さて、私の実験機で1kHz、-66dBのサイン波出力を撮影した写真を第15図に示します。オシロスコープの能力一杯なのでこれ以下の信号は観測できません。上の波形がPCM56P、ただし1倍(DFは使用しない状態)、下の波形がMN6623の出力です。「いや、こんなはずはない。PCM56Pの出力は第14図のように段階状になるはずだ」と思われた方もあるかもしれませんが、確かにPCM56Pの出力もそのままでは階段波形となります。しかし1ビット、MN6623の出力もそのままでは第16図の様な方形パルス列です。

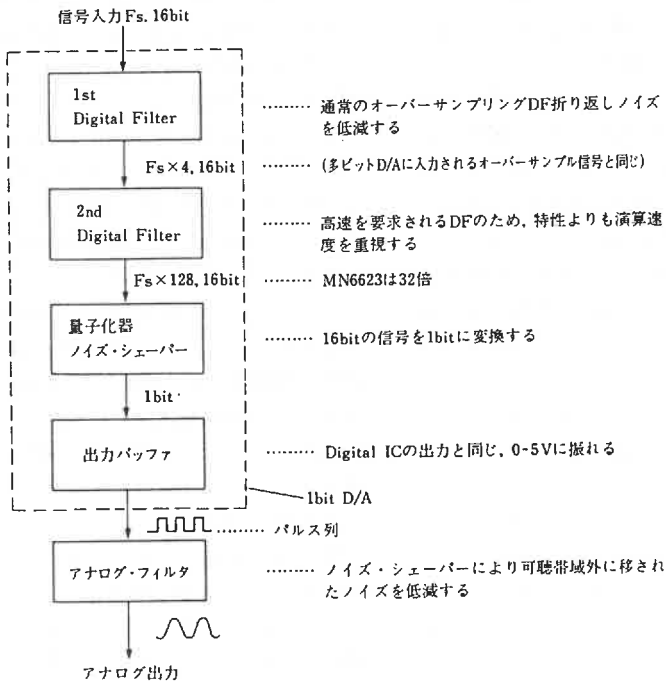
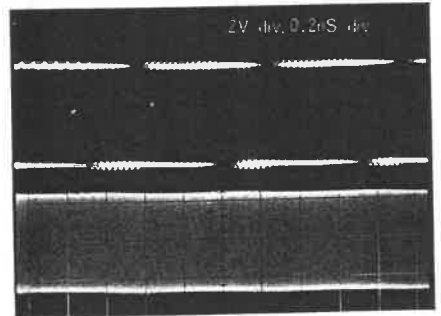
〈第15図〉
-66dB 1kHz 出力



〈第16図 a〉
MN6623の出力とアナログフィルタ通過後、1kHz 0dBのサイン波の出力であるが、MN6623の直接出力(上はどうなっているかわからない)



〈第16図 b〉
図 a の X 軸を 1000 倍に拡大したところ。MN6623の出力はいろいろな間隔の方形波の集まりであることがわかる(下のサイン波は同期ズレのため広がっている)

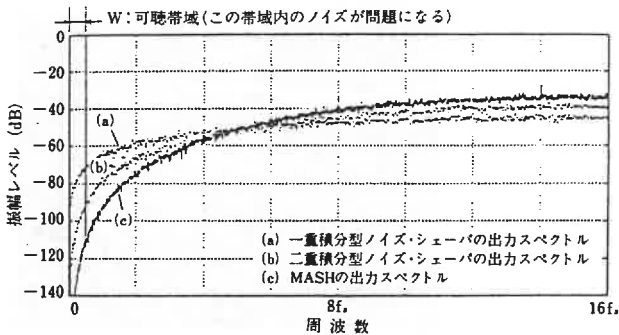


〈第17図〉
1ビットD/Aの基本構成

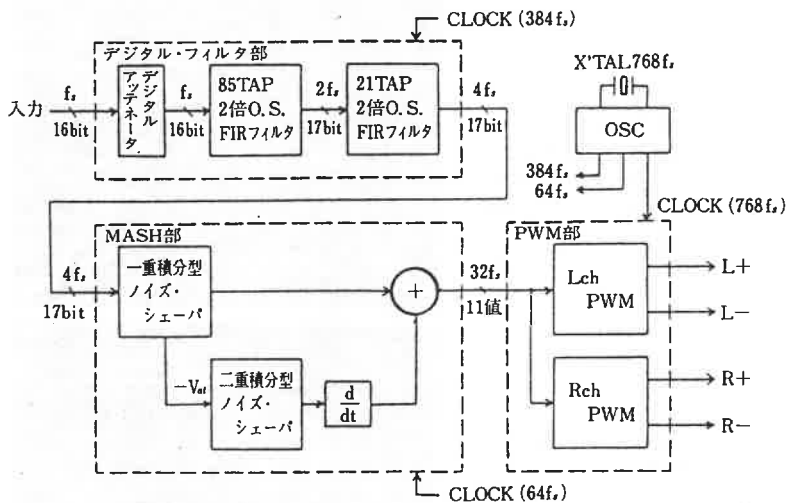
決してサイン波ではありません。

注意していただきたいのは、1ビットD/Aの場合、ICの出力はアナログ信号ではなく、AFを通過して初めてアナログ信号とみなされる点です。

第17図に1ビットD/Aの基本的な構成を示します。入力された信号は16ビット1倍のCDに含まれていたそのままの信号です。そして1stDFで4倍サンプリングしています。ここまでは通常のオーバーサンプリング+多ビット同時変換方式と同じです。例えばここでPCM56Pに接続すれば、いわゆるひとつの4倍出力です。この4倍された信号を2ndDFに入力します。2ndDFでは、さらにサンプリング・レートを64倍とか128倍に上げ、量子化(1ビットにすること、平たく言えば一番上のビットだけを出力すること)します。もちろん量子化の際には、



〈第18図〉
ノイズシェーパの
出力スペクトル
(文献4より)



〈第19図〉 MN6623の内部ブロック図 (文献4より)

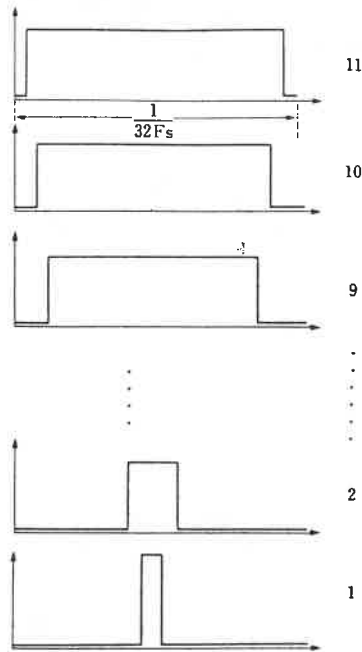
ノイズ・シェーピング (MASH 変換もノイズ・シェーピングの方法) を行い、可聴帯域の S/N を稼ぎます。そして「1ビット」として IC から出力されるのですが、第16図に示したようにこの時点ではパルス列です。(しかしこのパルス列はデジタル情報を含んだ信号ではなく、アナログ信号を含んでいます)。

付け加えておきますが、ノイズ・シェーピングは、ビット数を1にする時に増える量子化ノイズ (ビット数を減らすとダイナミック・レンジが小さくなると考えてもよい) を、上のほうに押しやる (下の方の可聴帯域回りでは S/N がよくなる) 技法です。結果として「1ビット出力」は第18図³⁾のような出力スペクトルを持ちます。

第19図に MN6623 の内部ブロックを示します³⁾。MN6623 でも1倍16ビット入力は4倍オーバーサンプリングされ (デジタル・フィルタ部)、

MASH 部で17ビットから3.5ビット (11値) に圧縮されます。そして PWM 部では値に応じた幅のパルスを出します。第16図のパルス列は PWM 出力を直接オシロスコープで観測したものです。なお、「MN6623 は1ビットと呼ばれるのに MASH 部の出力が32倍の11値あるのはおかしい」と思われた方もあるかも知れません。が、第20図に示すようにパルスの幅が11通りありますが、PWM 出力は0と5Vに振れ、中間位はありませんから「1ビット」に間違いありません。

第17図のブロック図を見ますと、1ビット出力の後にはアナログ・フィルタがあります。ここでノイズ・シェーピングによって高い方へ押しやられたノイズ・スペクトルを減衰させ、元の信号を取り出します。1ビット D/A の場合、このアナログ・フィルタを通った信号が始めて「アナログ」と見な



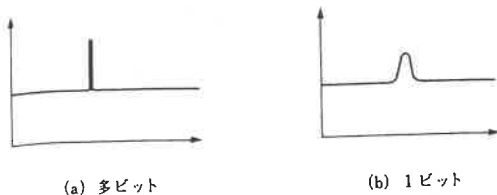
〈第20図〉32倍サンプリング11値出力、
1/32 fs 秒間に出力されるパルス幅が11
通りある
されます。

一息入れましょう。

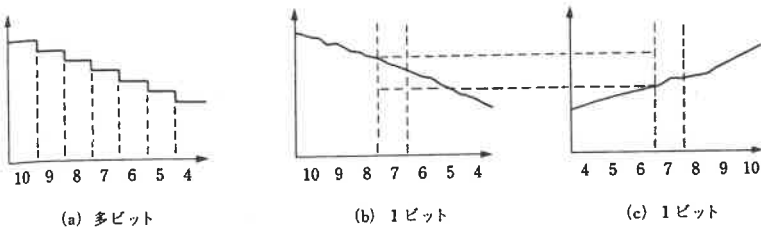
ここからが私の主張 (偏見) です。第14図の1ビット D/A 波形は、アナログ・フィルタを通過したものです。ところが多ビット D/A の波形はアナログ・フィルタなしの出力です。そりゃ当然だと思われる方、もう1度考えて下さい。お宅の CD プレーヤは、多ビット D/A の出力にもアナログ・フィルタを使ってはいないでしょうか。そうです。ふつう、多ビットの出力にもアナログ・フィルタが、折返してスペクトルを減衰させるために使われています。1ビット D/A のアナログフィルタも、シフトされたノイズを減衰させるものです。それならば第14図の2つの波形 (AF ありとなし) を比較することに意味があるでしょうか。

加えて、1ビットと多ビット同時変換では、出力されるアナログ信号の性質も異なってきます。

第21図 (a) に示すように多ビット式はある時点、時点の瞬間をアナログに変換しますが、1ビット式では変換時点を正確に規定することはできませ



〈第21図〉
多ビット D/A はある瞬間を
変換できるが、1ビットは変
換時点が広がる



〈第22図〉多ビットは常に入力値に正確に出力が対応する。1ビットは過去のデータによって出力が変化する(図はオーバーにしている)

ん。なぜなら1ビットでは、パルス幅として出力された信号をフィルタリングして初めて波形として合成しますから、第21図(b)の様に変換時点は広がりを持つこととなります。

また、1ビット D/A は変換ループ内に遅延器を持ちますから、出力電圧は変換時点より過去の影響を受けることとなります⁴⁾。いい換えれば、ある値の入力に対して出力されるアナログ信号が、過去の入力値によって異なって来ることとなります(第22図)。もちろん多ビットでは過去のサンプルの影響を受けることはありません。(ただし DF を用いていたならば、DF が過去未来のサンプルを利用して平滑化していますから、影響を受けているとも言えます)。このように信号の性質が違うものを、単純に見ただけで判断できるのでしょうか。

もっとも、私の撮影した1ビットの出力は、アナログ・フィルタが不十分な状態であるとも考えられます。より強力にフィルタリングすれば、より美しい波形となるでしょう。それでは、より強力にフィルタリングすれば、より美しい音になるのでしょうか。アマチュアのアナログ感覚から考えれば、フィルタは1段でも少ない方が音質劣化は少ないように思えますが、どうなるのでしょうか。

また、1ビット D/A はデジタル・フィルタをも含んだ構成となっています。

もちろん DF にも音質劣化はあります。1stDF はよしとしても、2ndDF は演算時間の制限が大きいため、かなり大まかな方法で補間しています。DF で音質劣化を判わないと断言はできません。

さらに、PWM 出力された波形は、0-5 V フルスケールの範囲で、高速に振れますから、出力トランジスタのスイッチング能力、配線の長さ等が精度に影響するでしょう。また大振幅で高速のスイッチング回路を持つわけですから、どうしてもこの部分でノイズを放出することにもなります。

けれども私は、1ビット方式を否定するつもりはありません。抵抗ネットワーク方式と比較すれば、簡単に良好な直線性を得ることができます(したがってコスト的にも有利になります)。本質的にモノトニシティに欠けない点は1ビットの大きな利点であるはずで、さらに、出力時点を曖昧にすることは、優せたスムージング方式だともいえます。

どんな技術手段にも必ずメリットとデメリットがあります。そして、メリットだけが音に結びつくわけではありません。「原理的に直線性に優れている」1ビットですが、やはり多くの不利な点をもっています。気をつけなければならぬので、技術的な1側面だけを拾いだして優劣を判断することではないのでしょうか。「ひずみが1桁低

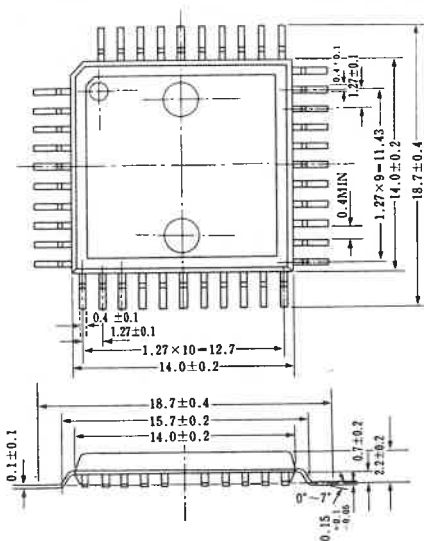
い」オランジスタ・アンプよりも、いい音のする真空管アンプもあるではありませんか。そうです。聴いて良ければすべてよし。

MN6623

MN6623 は松下電子工業製の MASHD/A で、左右2チャンネル、おのおのチャンネルがコンプリメンタリと、4つの D/A (と呼ぶよりは PWM 出力器) を内蔵しています。外形を第23図、ピン配置を第24図、端子機能を第2表に示します⁵⁾。+5 V 単一電源、ただしアナログとデジタルの2系統。入力データ・フォーマットは、BB コンパチブル、I²S の両方に対応可能となっています。

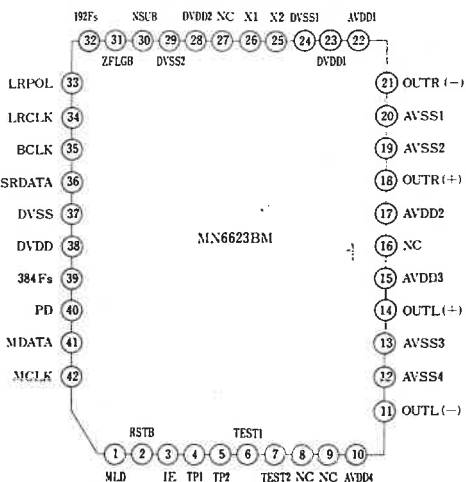
MN6623 はシステム・クロックに 768Fs (33.8688MHz) を必要とします。しかもこのシステム・クロックがビット・クロックと同期していることが必要です。そこで PLL IC を用いて YM3623B の ϕA (16.9344 MHz) を2倍して供給しています。第25図に PLL IC, RCA CD74HC4046A, 第26図に内部ブロック⁶⁾、第27図にインターフェイス回路を示します。CD74HC4046A は発振回路、位相比較回路を内蔵し、1石で PLL を構成することができる高速 C-MOS IC です。第27図に示すように 74HC161 を用いて内部発振回路の出力を 1/2 に分周して位相比較器に入力する方法で、2倍倍クロックを作り出しています。

2段 PLL 構成だなどと喜ばないで下さい。PLL を利用した倍周波回路は、どうしても出力クロックにジッターを含みます。Rf1, Rf2, Cf によって構成されるフィルタによって位相比較器の特性が決まり、出力クロックのジッター量も変化はするはずですが、私には PLL の理論的な設計法がわからないので、カットアンドトライ(ほとんどやみくも)でフィルタの定数を決めました。出力クロックの例を第28図に示します。フィルタの定数によってジッターが変化しているのがわかります。



〈第 23 図〉
MN6623 外形
(データシートより)

〈第 24 図〉
MN6623 ピン配置
(データシートより)



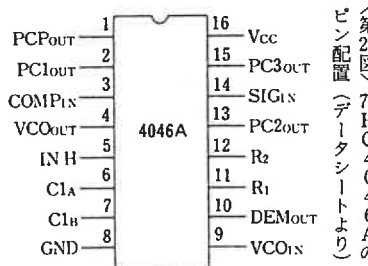
No.	端子名	端子説明	No.	端子名	端子説明
1	MLD	マイコンコマンドロード入力 (Ⓐ時ロード)	22	AVDD1	アナログ系電源端子 1 (+5V)
2	RSTB	リセット端子 (Ⓐ時アクティブ)	23	DVDD1	デジタル系電源端子 1 (+5V) (発振回路用電源)
3	IE	Ⓐ時信号処理LSIフォーマット Ⓒ時FSフォーマット	24	DVSS1	デジタル系グラウンド端子 1 (発振回路用グラウンド)
4	TP1	デジタル・フィルタ部テスト出力端子 1	25	X2	X'tal発振端子
5	TP2	デジタル・フィルタ部テスト出力端子 2	26	X1	X'tal発振端子 (外部クロック入力端子)
6	TEST1	デジタル・フィルタ部検査用テスト信号入力端子 1 通常 "L"	27	NC	
7	TEST2	デジタル・フィルタ部検査用テスト信号入力端子 2 通常 "L"	28	DVDD2	デジタル系電源端子 2 (+5V)
8	NC		29	DVSS2	デジタル系グラウンド端子 2
9	NC		30	NSUB	D-VDDに接続する (シリコン基板電位固定端子)
10	AVDD4	アナログ系電源端子 4 (+5V)	31	ZFLGB	ゼロ入力検出力端子
11	OUTL(-)	Lch逆相PWM出力端子	32	192FS	192FS (=8.4672MHz) 出力端子
12	AVSS4	アナログ系グラウンド端子 4	33	LRPOL	LRCLK極性切り換え端子 (ⒶLch ⒸRch)
13	AVSS3	アナログ系グラウンド端子 3	34	LRCLK	LRCLK入力端子 LR-POLⒶ時 ⒸLchデータ入力 ⒸRchデータ入力 LR-POLⒸ時 ⒸLchデータ入力 ⒸRchデータ入力
14	OUTL(+)	Lch正相PWM出力端子	35	BCLK	シリアル入力ビットクロック
15	AVDD3	アナログ系電源端子 3 (+5V)	36	SRDATA	シリアル入力・データ (デジタル) 入力端子
16	NC		37	DVSS3	デジタル系グラウンド端子 3
17	AVDD2	アナログ系電源端子 2 (+5V)	38	DVDD	デジタル系電源端子 (コム電位固定端子) (+5V)
18	OUTR(+)	Rch正相PWM出力端子	39	384FS	384FS (=16.9344MHz) 出力端子
19	AVSS2	アナログ系グラウンド端子 2	40	PD	パワーダウン端子 (Ⓐアクティブ)
20	AVSS1	アナログ系グラウンド端子 1	41	MDATA	マイコン・コマンド データ入力端子
21	OUTR(-)	Rch逆相PWM出力端子	42	MCLK	マイコン・コマンド用クロック入力端子

〈第 2 表〉 MN6623 のピン接続 (データシートより)

第 29 図に位相比較器の出力を示します。中心から上下へのずれが位相のずれ、ジッターを表わします。試験時には撮影時よりも改善されていますが、まだまだ改善の余地がありそうです。追試される方はフィルタの定数を変えて、位相比較器の出力が良くなる点を探して下さい。ただし、CD74HC4046A 推奨動作範囲は 20MHz 以下ですから、本機ではかなり無理をした状態で使っています。

MN6623 はシステム・クロックのジッターが増えると不規則雑音となって

聞こえてきます。実は最初に MN6623 の音出しをした時には、余りにもノイズがひどいので途方に暮れてしまいました。理由ははっきりとは解らないの



ですが、ジッターによってパルス幅が微妙に狂い、またランダムに狂うため、ホワイト・ノイズとなって聞こえて来るのではなかかと考えています。また、パルス幅の狂いは直線性に悪影響を及ぼします。

MN6623 はノイズに対して脆弱であるようで、システム・クロックのジッターだけでなく、CD74HC4046A の位相比較出力にオシロのプローブを接続する事によっても、YM3623B の内部発振回路の動作によっても、また聞くところによ

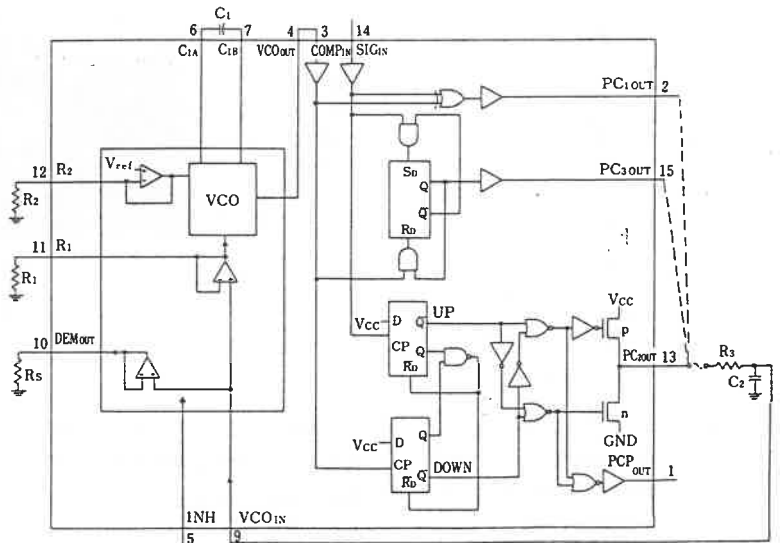
るとプリント基板の GND パターンによっても影響を受けます。

YM3623B の内部クロックによる影響は、内部クロックを停止させてみれば判ります (第 30 図)。YM3623B の内部クロックは、動作開始時や外部クロックに同期していない時には必要ですが、同期しているときは不要となります。そして、内部クロックは外部クロックとの間にビート雑音を生じることがあるため、YAMAHA 社の CD プレーヤは同期時 (YM3623B の ERR 端子が "H" となる) に内部クロック

ックを停止しています?)

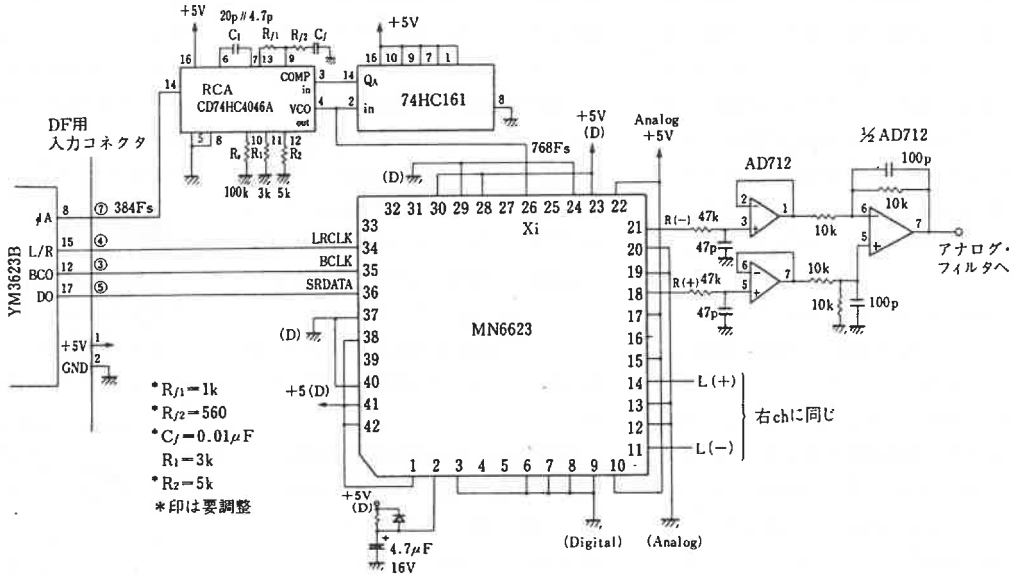
そこで、私も試してみましたが、確かに MN6623 に限って聴感上のノイズが減ります (ひずみ率は変化ありません。また、PCM56P などは全く変化は感じられません)。同時にオシロスコープで観測すると、内部クロックの停止によって YM3623B の出力クロックのジッターが減ることがわかります。これはパワーを食い、ノイズ源となる発振回路を停止させることで YM3623B の PLL 回路がより安定に動作するためと推測しています。

第 27 図に戻ります。アナログフィルタ回路です。D/A (量子化器) の出力はまず、CR 1 段フィルタに入力します。これはフィルタリングだけでな



<26 図> CD74HC4046A の内部ブロック図 (RCA データシートより)

<第 27 図> MN6623 インターフェイス回路

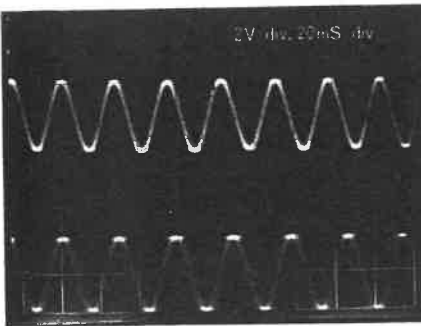


く IC のラッチアップ対策も兼ねていますので省略はできません。MN6623 は D/A コンバータと呼ぶよりは C-

MOS デジタル IC と考えたほうが正解ですから、出力に重い負荷をぶら下げたり、端子がオープンになつたりしないように気をつける必要があります。

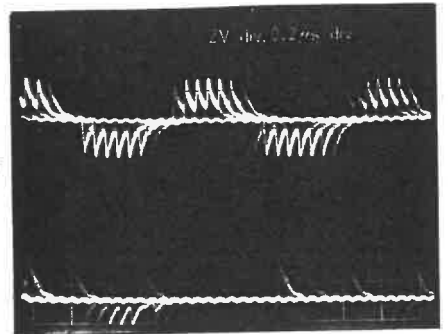
このフィルタは 47kΩ と 47pF です。からカットオフ 72kHz です。

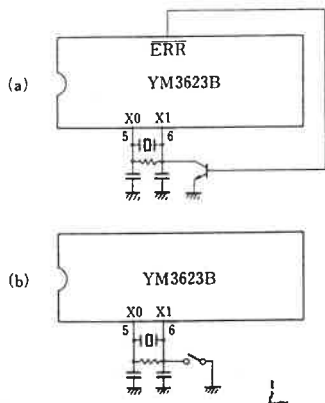
1 段フィルタの後には OP-AMP を利用したボルテージ・ホロウです。こ



<第 28 図> CD74HC4046A の出力クロック、上は YM3623B の局発クロックに同期したとき、下は外部の CD プレーヤーのデジタル出力に同期した時、ジッターが増えている

<第 29 図> PLLIC (HC4046A) の位相比較器出力別、フィルタ定数の調整により、同期状態が改善されている (下)。位相の平均からのズレがジッター量を表している。



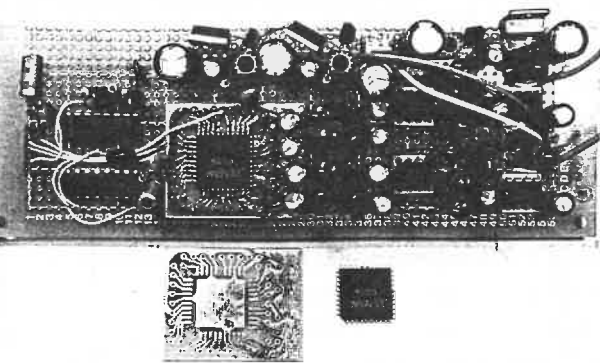
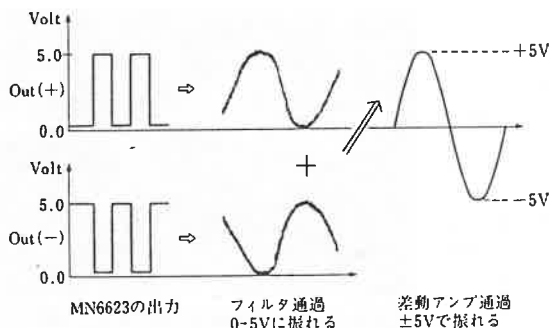


(a) 外部クロックに同期時はERR=「 \bar{B} 」となり、内部クロックを停止する(YAMAHA社)
 (b) スイッチを閉じれば内部クロックは停止する
 <第30図> YM3623Bの内部クロック停止回路

こまではハイ・インピーダンス回路です。最短距離で配線して下さい。

次の段は差動アンプです。正相、逆相信号を加算しています。この段までの入力は第31図に示すように+2.5Vを中心に振っていますが、差動アンプの出力はうまく0を中心に振れるようになります。また差動段のカットオフは159kHzになっています。大体この部分までが1ビットD/Aを構成しています。

OP-AMPは音が悪いといっておきながら、MN6623の出力には使用していますが、これはとてもTRで組むのが大変であること、そしてこの部分はアナログ以前であると考えられることから、OP-AMPを使用しました。それでも使用部品には贅を尽くし、OP-AMPにはアナログデバイセズ社のAD712を、抵抗はいつもの東京光音RDの1/2W、キャパシタは日通工のディップ・マイカを使用しています。またAD712に供給する±15V、



第33図
 MN6623用
 基板と
 MN6623

MN6623のアナログ用+5V電源は、基板上に安定化電源を組んでいます。電源の回路は毎度のワンパターンです(第32図)。

1ビット方式は可聴帯域のS/Nを稼ぐ代わりに、可聴帯域外のノイズを増やしますので、十分なアナログ・フィルタが必要となります。出力スペクトル図を見る限りでは簡単なフィルタでも良いように思い、とりあえず現用のCR2段フィルタを流用したのですが、オシロスコープで見るとフィルタが不足しているようにも思われます。

MN6623はピンのピッチが珍しく、またICの下面をグランドプレーンとすることが指定されていますので、第33図に示す基板を試作して取り付けました。

MN6623, TDA1541Aの周波数特性を第34図に、ひずみ率特性を第3表に示します。MN6623, TDA1541AのF特が高域で低下しているのは、アナログ・フィルタの特性そのものです。TDA1541Aの20kHzでのひずみ率が高い原因はわかりませ

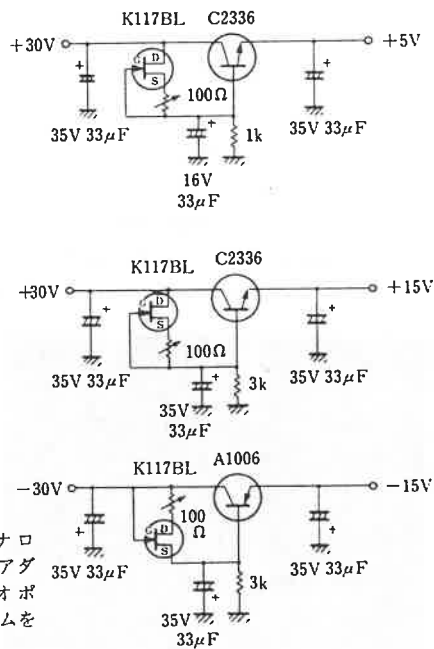
<第31図>
 MN6623の出力

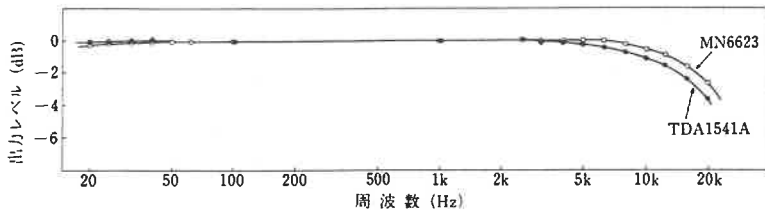
<第32図>
 MN6623基板用アナログ安定化電源、Cはアダム、VRはNECネオポット、Rはタイヨームを使用した

ん。チップのせいかとも考え、他のチップと交換しましたが同じように20kHzのみ高率でした。参考のためPCM56Pのひずみ率も示しますが、同じI/V, 同じAFを使用していますから、石の中に原因があると考えられます(全体的に残留ノイズが大きいですから、参考程度にとどめて下さい)。また、MN6623の中低域でのひずみ率が高めとなっていますが、これはフィルタが十分でないためかも知れません。

試聴方法

今回の実験でももちろん、1ビット方式と多ビット方式の音を比較することは不可能です。「1ビットD/A」とひとまとめにして呼んでいても、多ビ





〈第34図〉MN6623, TDA1541Aの周波数特性。TDA1541AはPCM56Pなどとほぼ同じである。これはアナログフィルタのf特そのものである

ットD/AがPCM56PとAD1856で音が違うように、チップによって千差万別の音がするでしょう。どのような実験を試みたところで「素子の音」は必ず入り込んで来ます。今回試されるのはあくまでも「1ビット」と「多ビット」の音ではなく「MN6623」と「TDA1541A」の音です。

試聴に使用したCDを第4表に示します。MN6623, TDA1541AともPCM56Pをリファレンスとして1対1で比較試聴しました。TDA1541AとPCM56Pは、デジタルフィルタにSAA7220Aを使用しています。

試聴結果

まずはMN6623とPCM56Pです。MN6623は全体的に音がひっこみ、平板的になります。中島みゆきのVoはとくに高域が力がなくなり、またシンバルなどの高域楽器が浮き上がってしまいます。柔らかいというのを通り越し、芯のないつまらない音です。ブルクナーでは、さすがに冒頭のpppはノイズが耳につきまます。このノイズはクロックのジッターによるもので、ジッターを少なくすればノイズも少なくなります(フィルタの定数さえうまく選べば実用になると思います)。こちらも平板的な音となり、弦も管も何十回もトレースしたレコードのようにひっこみ、とくに管楽器はそれらしく鳴りません。この音が平板になる傾向は、ジッター量に関わらず変わりませ

んから、チップ自体の、あるいは専用アナログフィルタ回路の音質であろうと思います。

次にTDA1541Aです。1541は外付けキャパシタによって全く違った音になります。当初はTDKの安価な積層セラミックを使用したのですが、ピーキーな高域強調の音がして、「こりゃだめだ」。しかし、音響用積層セラミックに交換してみると、高域のうるさは抑えられ、1541独自の低域の線の太さが表れてきます。ポリプロピレンのMKP1841にしますと、さらに素直な音になってきます。また、Cの容量はデータシートでは0.1μFとなっていますが、メーカー製には0.22μFを使用しているセットもありましたので、試してみました。確かに0.22のほうがピアノのアタックなどが明確に聞こえます。が、Cの銘柄を変えたほどの差はありません。

それではTDA1541A対PCM56Pです。カントロフのVnは、1541の方が芯の強い太い音ですが、荒い音にも思えます。直接音とエコーも明確になり、はっきりとした音です。1541に比べると56Pは丸みを帯びた、落ち着いた音がします。自然さ(ホールで聴く音に近い)では56Pの方を選びます。2台のピアノによるラ・ヴァルスも、ピアノのタッチは1541の方がくっきりと明確です。やはり自然さと言うか原音再生の観点からは56Pですが、1541の音にはなにかしら惹かれ

るものがあります。まりちゃんのVoでは絶対に1541です。低域の線の太さ、とくにドラムスのアタック、エレクトリック・ベースの音は1541ならではのものがあります。これに比べると56Pは大人しすぎるように感じます。

結果について

MN6623にはさんごんの評価となりましたが、システム・クロックのジッターがハンディ・キャップとなっているかも知れません。1ビットD/Aに供給されるクロックのゆらぎは、D/Aの直線性そのものに影響を及ぼします。(多ビットD/Aではジッターは変換のタイミングに影響しますが、1ビットでは変換のタイミングは元々曖昧なものですから、条件が違ってくると思います)。加えて、ジッターが増えれば増えるほど聴感上のノイズも多くなりますから、なにかしら他の悪影響もあるかも知れません。

さらにMN6623の場合は、AFに用いるオペアンプ、AFの特性などにより音が変わるでしょうし、条件によっては今回の比較とは違った結果が得られるかも知れませんが、しかしPLL回路など製作が難しいことも事実です。どなたにでもお勧めできる石ではありません。しかし良いはずだと信じられる方は是非トライしてみてください。

TDA1541Aは外付けのキャパシタによって、それこそ月とすっぽんです。質の悪いキャパシタを用いますとうるささが耳につきまますが、良質のキャパシタを用いたときには、実に魅力的な音を聴かせてくれます。私のポリシーからいうとPCM56Pの方がベターなのですが、ポップスでの音、クラシックはスタジオ的な音がします明快さ

品名	100Hz	1kHz	10kHz	12.5k	16kHz	20kHz
MN6623	0.080	0.081	0.15	—	—	0.38
TDA1541A	0.028	0.032	0.10	0.12	0.22	0.85
(PCM56P)	0.028	0.030	0.10	—	—	0.28

〈第3表〉ひずみ率測定結果

飯島 真理：My Heart in Redより「Still」(Alpha Moon 32XM89)
中島みゆき：中島みゆきより「湾岸24時」(CANYON D32A0351)
ブルクナー：交響曲第5番 インバル/フランクフルト放聲
より「第1楽章」(TELDEC 8.35785)
ラヴェル：ツイガース カントロフ/ルヴィエ (BMG B18D-39027)
ラヴェル：ラ・ヴァルス アルゲリッチ/フレイレ (Philips 411 034-2)

〈第4表〉試聴に使用したCD

の点では素晴らしいものがあります。

D/Aの音を決める

パラメータは一体なんだろう

結論から申しますと、今のところ、皆目わかりません。ただし、BBとADの4種が似ていたのに対して、TDA1511AとMN6623が違っていた点からは、

(1) もしかするとD/A変換の方式が効くかも知れない

と言えるかも知れません。MN6623は原理からして異質なものですから、後の石についてはムリムリの結論です。また、同じ結果からは(こちらも無理を承知で)、

(2) もしかするとICの製法、構造などが効くかも知れないという結論も導き出せるでしょう。

R-2Rラダー方式のD/Aがあるとすれば、ラダー回路に使用されている抵抗が音に影響するでしょうか。ICでは無理ですが、ディスクリットで自作するとしてカーボンと金属皮膜ではやはりカーボンの方がよい音がするでしょうか。変わらないと信じたいのですが、ラダー回路の前にあるリファレンス電源の性質が影響を及ぼしていることは既に明らかです。それではラダーネットワークでなく、DEMであればどうでしょうか。電流を分配するトランジスタによって音が変わるでしょうか。やはり鉄足は良くないでしょうか。今のところは否定も肯定もできません。こままでは飛躍のしすぎですが、

(3) ビット数は関係ない

これは断言できます。ただし、演算によって作り出された、録音されている以上のビット数の事です。もちろんCDに録音された情報が16ビットから20ビットになったら大に関係あるに違いありません。一般にはビット数の数字が多いと音は良くなるように言われていますが、オーバーサンプリングの倍数と同様、ビット数も音質とは無関係と結論してよいでしょう。

(4) 過渡特性が効くように思える

セトリング・タイムが小さいだけでなく、グリッジの大きさ、落ち着きか

た、リンクングなどの過渡的な変化の状態が音に影響していると考えられます。

しかし過渡特性を最重要視するならば、(スルーレートの大きな)サンプルホールド・アンプを使用した方が良い結果が得られそうにも思います。が、しかしアナログ系のアンプは一段でも少ない方が良いはずですから、なんとわかりません。

さて、今回の結論です。

D/Aコンバータは確かに音に影響しますが、CDプレーヤの音を決めてしまうほど大きな影響力を持っているわけではありません。また、デジタルフィルタとD/Aコンバータの比較を繰り返しましたが、再生音に関しては、D/AよりもDFのほうが影響が大きいようです。

おわりに

「レコードがCDになるとすべて同じ音になる」と言われていたのも束の間、(この言葉にはデジタルでは音の劣化がなく、マスターテープと同じ音質が家庭でも再生できるとの、はかない期待が込められていたようにも思われるのですが)、デジタルにも多くの問題点が存在していることが明らかになりつつあります。

しかし、デジタル・オーディオは、自作派の手の届かない領域になろうとしています。自作を諦めて製品をとつかえひっかえするのも良いでしょう。CDは聞かずにレコードと心中するのも止めません。デジタル録音には目もくれず、古い録音にしがみつくのも自由です。でも、まだまだ我々アマチュアの出番はあります。デジタルもやはり、音質は数字では表わせません。メーカーが数字の追求に走っているうちは、簡単に追い抜くことができます。

全国の自作派同志よ！ デジタルに足を踏み入れましょう。

× ×

最後になりましたが、多くの助言を下さいました友人の河村剛良氏、岡本公平氏、また日本シグネティクス社に

感謝いたします。

部品の入手について

秋葉原ではBBは関東電子、ADはキョードー(どちらも東京ラジオデパート)が代理店です。いずれのD/Aも標準在庫品ではないようですが、注文に応じて取り寄せてもらえます。

TDA1541A、MN6623については私の手元に8~9個転がっていますので、本誌発売日より30日以内に、住所氏名を記入し62円切手を貼りつけた返信用封筒を同封の上、編集部気付別府俊幸までお問い合わせください。実費にて頒布いたします。

CD74HC4046Aは秋葉原のオテックで扱っています。

参考文献

- 1) PHILIPS, TDA1541A data sheet
- 2) HANS J. SCHOUWENAARS, et al., A Monolithic Dual 16-Bit D/A Converter, IEEE Journal of Solid-State Circuits, SC21-3, 424-429, 1986
- 3) 金秋哲彦, MASH方式16ビットD/A変換用MN6623 LSI, ラ技1988-5, 140-143
- 4) 湯川彰, オーバサンプリング方式のA-D/D-A変換技術(第6回), 日経エレクトロニクス460, 271-277, 1988.11.14
- 5) MN6623 データーシート, 松下電子工業
- 6) 74HC4046A データーシート, RCA
- 7) 竹内厚, 竹原孝夫, YAMAHA CX-2000にみるHi-Bit DAコンバータのコントロール・アンプ搭載へのコンセプトと諸問題, ラ技1988-11, 90-93
- 8) 黒田徹, 1ビットA-D/D-A入門, ラ技1988-8, 41-49

注) P社のSAA7320はパルス密度を(単位時間内のパルス数)を変えている。

●お詫び●

前回P80中、第2図および第3図は、CQ出版社発行の「トランジスタ技術」誌88年10月号に鈴木隆氏が執筆されました記事中の図で、鈴木氏、同誌に許諾を得ず編集部が引用してしまいました。鈴木氏、同誌に深くお詫び申し上げますとともに、別府氏にもご迷惑をお掛けしましたことを重ねてお詫びいたします。ラジオ技術編集部