

4

マイクロコンピュータ制御のできる

シンセサイザ用LSI TMS3631-RI104, -RI105

TMS3631-RI104, -RI105 をペアで使うことにより、豊富な音声を合成できます。マイコン制御、8和音独立出力が特徴で、①自動演奏、②デジタル・シーケンサ、③自動移調演奏などの要求に応えることができます。

吉田 幸作

最近の電子楽器の高機能化、低価格化の動きには、目を見はるものがあります。従来、職人的な高度な技巧が集約されてきた楽器の分野にも、マイクロコンピュータをはじめとするエレクトロニクス化の波が押し寄せてきているのです。

TI社からは、すでにOMTS (Octave Multiple Tone Synthesizer) 方式による、TMS3615, TMS3615-25, TMS3617の3品種の電子楽器用LSIが発売されていました。これは本誌でも何回か紹介され、おなじみの方も多と思います。このTI社から昨年、TOS (Top Octave Synthesizer) 方式によるTMS3630, TMS3631-RI104, TMS3631-RI105の3品種の電子楽器用LSIが発売されました。

このうちTMS3631-RI104とTM

S3631-RI105は、ペアで使うと従来のどのLSIよりも豊富な音色を合成することができます。また、マイクロコンピュータ制御、8音独立出力など、高級電子楽器を構成するのに十分な機能をもっています。

●特徴および機能

従来のTMS3615, TMS3617との比較を表にしてみました(表1)。機能的には、従来のTMS3617を4オクターブ分(4個)1チップにまとめたような構成ですが、いくつかの新しい特徴を備えています。

まず、マイクロコンピュータ制御方式となったことにより、キーボードのインテリジェント化を図ることができます。例えば、

① **自動演奏** あらかじめ、楽譜をプログラムすることにより、正確

な自動演奏をする。

② **デジタル・シーケンサ** 演奏者のキー操作をメモリに記憶し、必要に応じて何回でも再演奏する

③ **自動移調演奏** 変調記号をあらかじめセットすることにより、白鍵のみで演奏できる。

などが比較的容易に実現できます。

つぎに、8音が独立出力になっているため、それぞれ独立にエンベロープ制御を行うことができるようになりました。従来のTMS3617なども確かに複数の鍵盤を押すと、同時にそれぞれの音が出ます。しかし、出力がすでにミキシングされて出てくるため、独立にエンベロープ制御ができませんでした[図1(b)]。

図1(c)のようなエンベロープ制御まで含めたほんとうのポリフォニック・シンセサイザは、8音独立出

<表1>
TI社シンセサイザ
LSIの比較表

	TMS3615	TMS3617	TMS3630	TMS3631-RI105 TMS3631-RI105
入 力	鍵盤(スイッチ)	鍵盤(スイッチ)	マイクロコンピュータ 4ビット・データ×19	マイクロコンピュータ 6ビット・データ×8
カバーする音程	1オクターブ	1オクターブ	4オクターブ49鍵	4オクターブ49鍵
出 力	○全音ポリフォニック ○ミキシング出力	○全音ポリフォニック ○ミキシング出力	○全音ポリフォニック ○ミキシング出力	○8音ポリフォニック ○8和音独立出力
フィート出力	8', 16'	2', 2 ³ / ₄ ', 4', 5 ¹ / ₂ ', 8', 16'	4', 8', 16' 他にコード、ベース、モノフォニック出力	RI104 (16', 8', 4', 2')×7 + (2')×1チャンネル構成 RI105 (10 ³ / ₄ ', 5 ¹ / ₂ ', 2 ³ / ₄ ', 1 ¹ / ₂ ')×7 + (2 ³ / ₄ ') ×1チャンネル構成
電源電圧	9V, 12~15V	12~15V	11~16V	8~15V
消費電流	25, 50mA	25~50mA	60mA (max)	50mA (max)
クロック周波数	1MHz (max)	2.2MHz (max)	1MHz (max)	2.2MHz (max)
方 式	OMTS方式	OMTS方式	TOS方式	TOS方式

力の TMS3631 を使ってはじめて可能になります。

また、TMS3631 は、RI104、RI105 をペアで使うと、8 種類のフィード出力が得られます。このミキシングにより、多彩な音色が期待できます【R.273 参照】。

TMS3615、3617 にあったサステイン・バイアスは、TMS3631 ではなくなりました。しかし、あとで述べるように、出力回路の工夫で同等の効果が得られます。

●ブロック・ダイアグラムと機能説明

図2に TMS3631 のブロック・ダイアグラムを示します。TOS 十分周器の分周比の違いを除けば、RI104 も RI105 も同じです。

▶キー・デコーダ

6 ビットのキー信号を、49 鍵に割りふる。

▶フェーズ・ジェネレータ

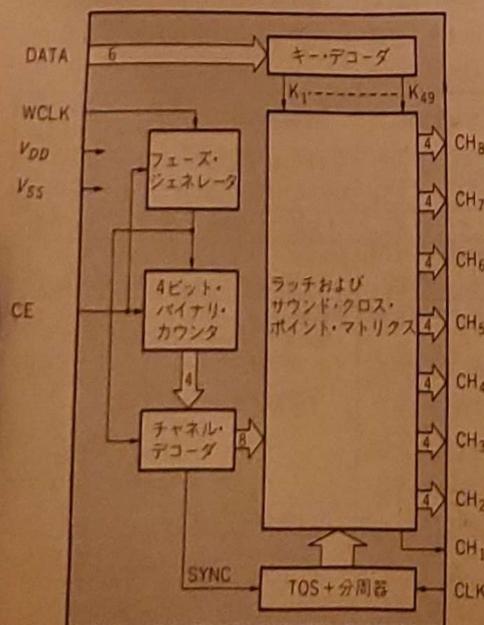
WCLK の信号を、次段の回路駆動のために波形整形する。この回路は、CE が "H" レベルで動作する。

▶4ビット・バイナリ・カウンタ

WCLK をバイナリ・コードでカウントし、次段のデコーダに送る。

このカウンタは、CE が "L" レベルでクリアされる。

＜図2＞^(*) TMS3631 のブロック・ダイアグラム



▶チャンネル・デコーダ

前段の4ビット・カウンタをデコードし、八つまでのチャンネル・セレクト信号をラッチおよびクロスポイント・マトリクスに送る。また、九つ目の信号は SYNC 信号として、TOS 十分周器のトリガに使われる。

▶TOS十分周器

CLK から入力されるクロックを TOS 方式により12音階に分周し、さらにそれを6段のフリップフロップを使って分周し、4オクターブ49鍵分をカバーさせる(図3)。トップ・オクターブ(C₇~B₇)の分周比は表2に示すとおり。FCLK=1.999360MHzとしたときの、理想的な音程からの誤差は、約0.1%程度におさまっている。

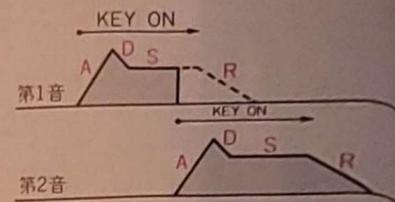
▶ラッチおよびサウンド・クロスポイント・マトリクス

チャンネル・デコーダにより選定されたチャンネルに、キー・デコーダからの信号を出力し、ラッチ・ホールドする。CH₂~₈には、1オクターブずつ違う4種類の信号を独立に出力し、CH₁には、1種類の信号を出力する。

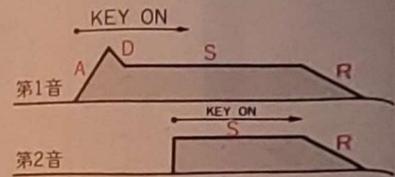
●入出力部の機能

表3は、TMS3631 の電気的特性です。このLSIは、P-MOS テクノ

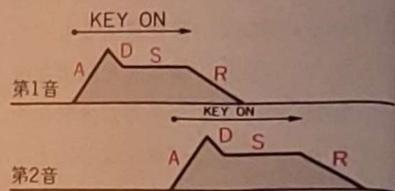
＜図1＞ 音色変化の比較



(a) モノフォニック



(b) ポリフォニック・モノコントロール



(c) 完全ポリフォニック
(ポリフォニック・マルチコントロール)

A:アタック S:サステイン
D:ディケイ R:リリース

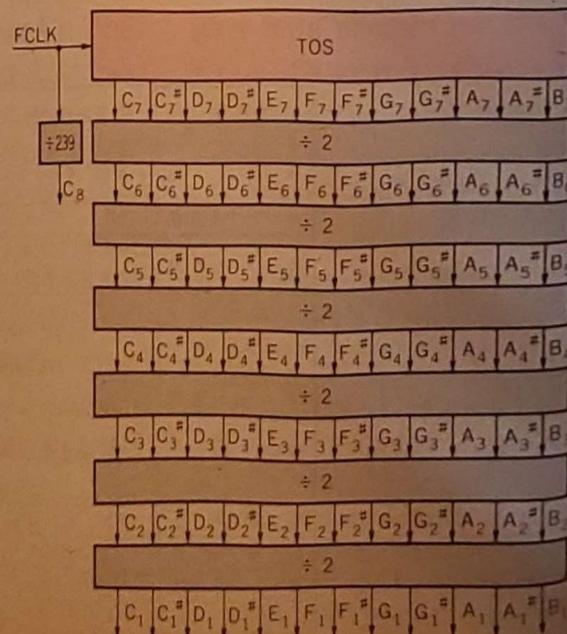
・:富沢瑞夫氏による呼称一
(トランジスタ技術1981年4月号)

ロジでつくられているため、一般のTTLレベル信号とのインターフェースには、レベル変換が必要です。

▶入力部

入力信号は、サウンド用の基本クロックCLKとDATA(6ビット)、WCLK、CEの9本です。クロック

＜図3＞^(*) TOS十分周器の構成図



のほかは、8ビットのI/Oポートで制御できます。

・CLK 最高周波数は2.2MHz。
KEY₈₄にA₃(ハ調ラ音)信号440Hzを得るためには、

$$440 \times 284 \times 2^4 = 1.999360 \text{MHz} \approx 2 \text{MHz}$$

を与えるとうまくいく。

・DATA 49鍵に対応する6ビット・データ。図4のキー・データ・フォーマットに示したように、上位2ビットでオクターブを、下位4ビットで1オクターブ12音を指定する。

・WCLK キー・データをチップ内に読み込むときの信号入力。

・CE 内部カウンタのクリアと、WCLKの入力禁止を行う。

▶出力部

CH₂~CH₈には4種類のフィード出力、CH₁には1種類だけのフィード出力を出します。

図5がチャンネル出力等価回路です。V_{DD}側のON抵抗は1MΩ以上と高いので、出力は33kΩの抵抗でV_{DD}にプルダウンして、波形整形します。

●コントロールのタイミング

図6に、キー・データをLSIチップに書き込むときの信号のタイムチャートを、図7にフローチャートを示します。まずCEを“H”にして、データ・バスに6ビット・データをセットしたのち、WCLK信号によって、CH₁~CH₈のキー・コードを順番にラッチします。

TMS3631は、電源投入時にサウンド・プロテクタ機能が働いて音が出ません。電源投入後、TOS+分周器を起動させるのが、9番目のSYNC信号です。したがって、電源投入後、一度起動すればこの信号は必要ありません。

8チャンネルをすべて書き込む必要がないときは、途中でCEを“L”にして終了します。

図8は、このデータ書き込みのタイムチャートです。制御用のマイク

<表2> TOSの分周比

	分周比	FCLK=1.999360MHz とした時の周波数 Fx	理想音の 周波数 F ₀	Fx/F ₀
B ₇	FCLK/253	7902.609	7902.080	1.000067
A ₇ [#]	FCLK/268	7460.299	7458.560	1.000233
A ₇	FCLK/284	7040.000	7040.000	1.000000
G ₇ [#]	FCLK/301	6642.392	6644.864	0.999628
G ₇	FCLK/319	6267.586	6271.872	0.999317
F ₇ [#]	FCLK/338	5915.266	5919.872	0.999222
F ₇	FCLK/358	5584.804	5587.712	0.999480
E ₇	FCLK/379	5275.356	5273.984	1.000260
D ₇ [#]	FCLK/402	4973.532	4978.048	0.999093
D ₇	FCLK/426	4693.333	4698.624	0.998874
C ₇ [#]	FCLK/451	4433.171	4434.944	0.999600
C ₇	FCLK/478	4182.762	4185.984	0.999230

(注) 理想音の周波数は標準高度(1939年ロンドン)による

<表3> (*2) 電気的仕様

■絶対最大定格

供給電圧: +0.3V~+17V, 出力電圧: +0.3V~+17V, 保存温度範囲: -55℃~150℃
入力電圧範囲: +0.3V~+17V, 動作温度範囲: 0℃~50℃, 許容損失: 1W

■電気的特性

パラメータ	記号	テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
供給電源電圧	V _{DD}		-15		-8	V
動作温度			0		50	℃
クロック入力周波数			100		2200	kHz
入力高レベル	V _{IH}		-0.8		0	V
入力低レベル	V _{IL}		V _{DD}		-4	V
クロック入力低レベル	V _{IL(CL)}		V _{DD}		-6	V
入力漏れ電流	I _L	V _L =V _{DD}		1		μA
消費電流	I _{DD}	全出力オープン			50	mA
出力高レベル・インピーダンス	R _{ONH}	V _{OUT} =-1V		0.5	1	kΩ
出力降下時間 V _{SS} ~V _{SS} -4V	t _{f(OUT)}	R _L =1MΩ C _L =50pF		2		μs
クロック入力低レベル・パルス幅	t _{w(CIL)}		200			ns
クロック入力高レベル・パルス幅	t _{w(CIH)}		200			ns
WCLK入力高レベル・パルス幅	t _{w(WCH)}		6			μs
WCLK入力SYN信号の 高レベル・パルス幅	t _{w(WCHSY)}		10			μs
クロック入力立ち上がり/ 降下時間	t _{r1}				50	ns
WCLK, DATA, ECの 立ち上がり/降下時間	t _{r2}				1	μs
CEのセットアップ時間	t _{SU(CE)}		3			μs
データのセットアップ時間	t _{SU(D)}		4			μs
WCLK降下後の 入力データ保持時間	t _{H(DWCL)}		8			μs
SYNC信号降下後の CE信号保持時間	t _{H(CEWCL)}		10			μs

ロコンピュータのクロックを2MHzとすると、かなり遅いタイミングですので、I/Oポートを介して行うとよいでしょう。SYNC信号発生用のWCLKパルス幅T_{w(WCHCY)}は、10/F_{CLOCK}(MHz)と規定されているので、F_{CLOCK}=2MHzの時は5μs

以上となります。

●ピン配置およびパッケージ

図9(a)にTMS3631のピン配置を、図9(b), 図9(c)にそれぞれRI104, RI105Aのピン仕様を示し

ロープ制御を独立に行います。

49鍵キーボードの接点信号は、I/Oポートを介してCPUに読み込みます。音源（フィード出力）制御、エンベロープ(ADSR)制御などの設定値は、スライド・ボリュームの値をマルチプレクサとA-Dコンバータを通して、CPUに読み込みます。マルチプレクサとA-DコンバータがワンチップになったLSI(ADC0808, ADC0816など)が便利です。

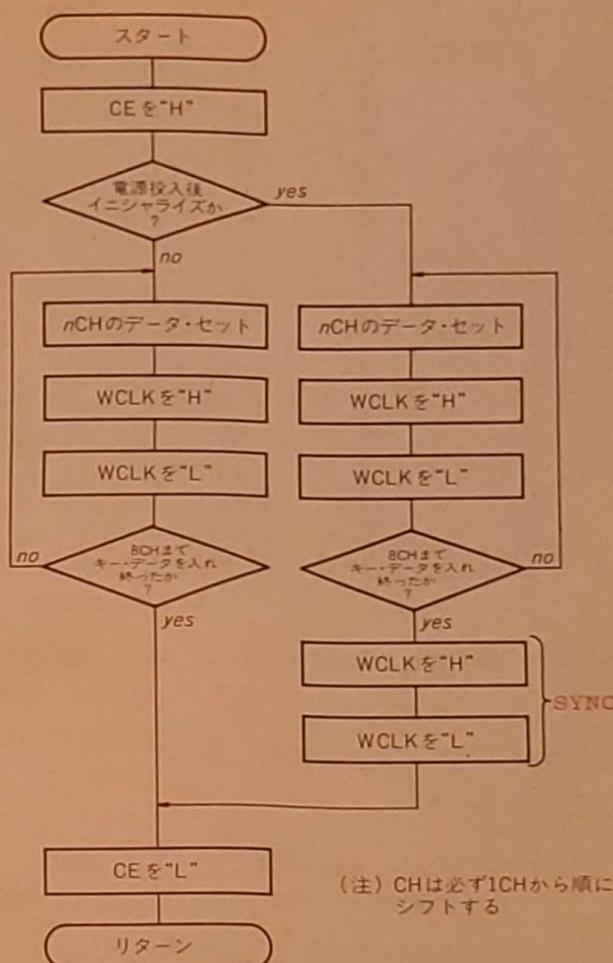
エンベロープ制御には、乗算型D-Aコンバータ(MC1408, DAC08など)が使えます。このようにCPUによるデジタル制御方式にすると、コントロール・パネルのセッティングも容易に再現できるようになります。

●TMS3631入カインターフェイス

マイクロコンピュータのI/Oポートから出るTTLレベルの信号で、TMS3631を制御するためには、レベル変換回路が必要です。

TMS3631の“H”レベルは0~0.8V, “L”レベルは、-4V~ V_{DD} , 遷移時間は1 μ s以下と規定されています。ここでは、ポピュラなコンパレータLM339を使った回路を紹介します。LM339は1パッケージに

<図7> (*2)
TMS3631のコントロール・フローチャート



(注) CHは必ず1CHから順にシフトする

4個のコンパレータが入っているので、2パッケージでCE, WCLK, $D_1 \sim D_6$ の8本の信号線の制御ができます。

図11(a)がM339の等価回路です。このコンパレータは、出力が図のよ

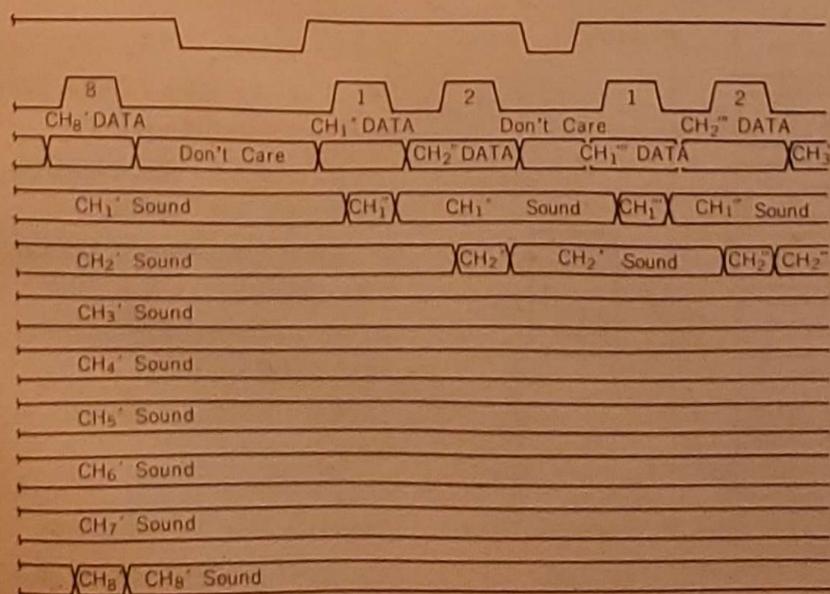
うにオープン・コレクタになっています。

普通はこの出力端子を(V+)にプルアップするのですが、ここでは図(b)のようにGNDにプルアップします。すると図のように、TTLレベルの信号は、0V~ V_{DD} (-9V)の信号に変換されます。遷移時間も、大振幅入力に対して、300ns以下と、条件を十分満たします。

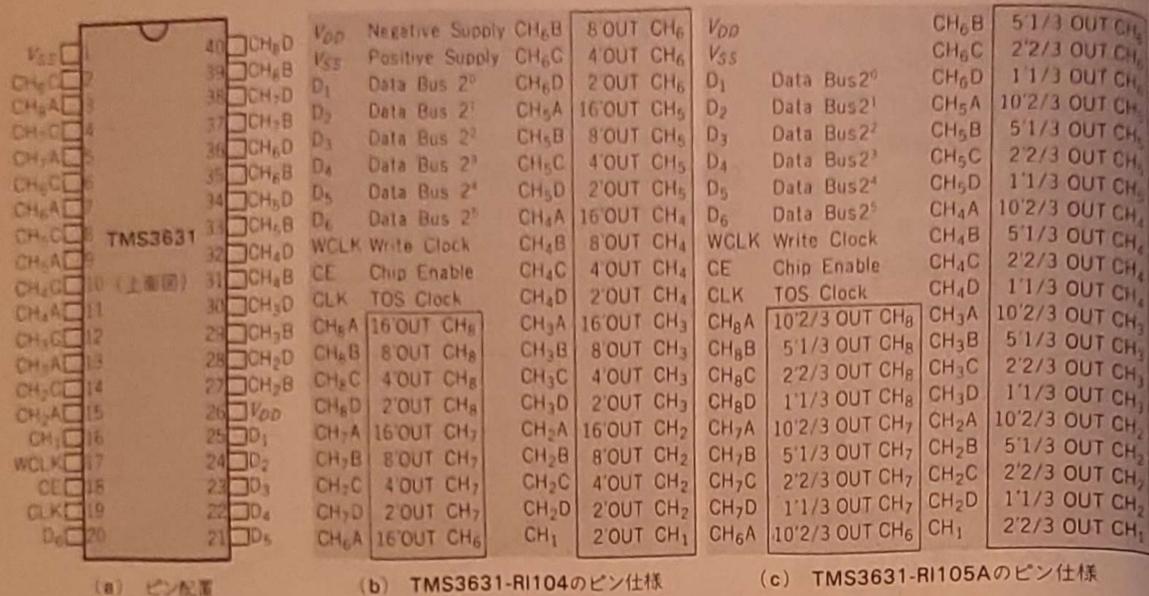
クロックCLKは、ほかの楽器との調律を考えると、可変にしておいたほうがいいのですが、いちばん手軽なのはCPUのクロックを流用する方法です。しかし、CLKについては規格がきびしく(遷移時間max 50ns), LM339は不適当です。PNPトランジスタを使った簡単な回路を紹介します(図12)。

カップリング・コンデンサは、大きすぎるとオーバーシュートが発生しますし、小さすぎると波形がくずれます。この回路で、遷移時間10ns程

必要なデータだけを交換する



<図9> (※) TMS3631の仕様



度のきれいなクロック波形が得られます。

●出カインターフェースの工夫

TMS3631の出力の、 V_{DD} 側FET

のオン抵抗はたいへん大きく(1M Ω 以上)、オープン・ドレインに近い状態になっています。このため、TI技術資料では、33k Ω の抵抗で V_{DD} にプルダウンするように指示しています(図5)。

出力はデジタル信号ですので、抵抗によるアナログ合成ばかりでなく、デジタル的に合成することもできます。

▶エンベロープの制御

TMS3617 などにあつたサスティン制御を、この方法で行うことができます。図13(a)のように、プルダウン電圧 V_X を0~ V_{DD} の範囲で連続的に変化させると、その変化に応じた包絡線をもつ出力信号が得られます。

▶フィート出力のミキシング制御

図13(b)のように、各フィート出力のプルダウン電圧 V_a, V_b, V_c, V_d を0~ V_{DD} の範囲で適当に選ぶことにより、各フィート出力をミキシングした出力信号を得ることができます。例えば、 $V_a : V_b : V_c : V_d = 8 : 4 : 2 : 1$ とすると、図のように疑似のこぎり波が得られます。

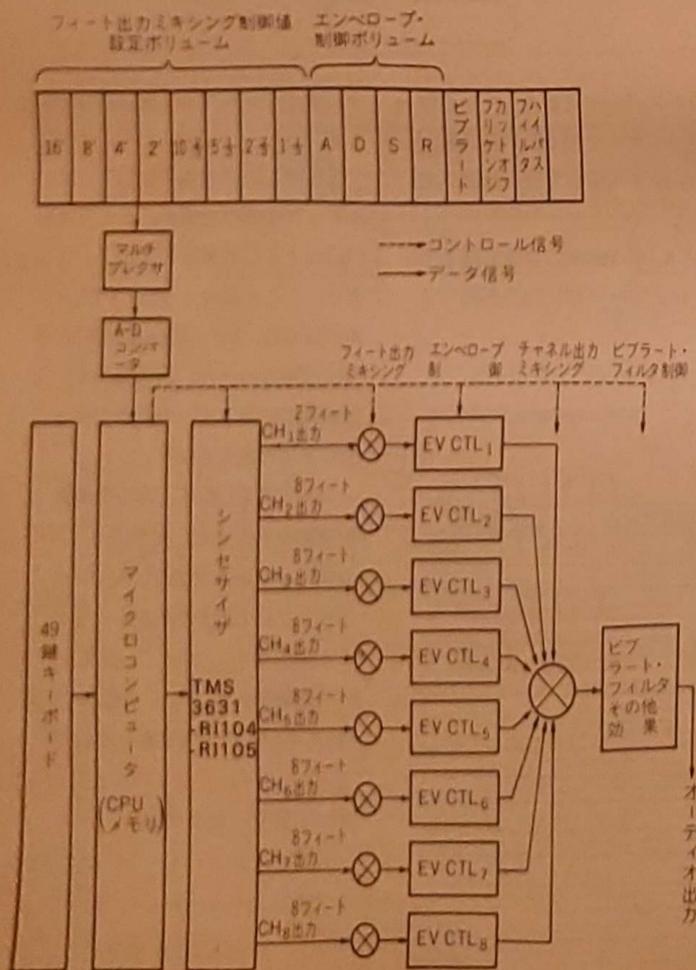
また、プルダウン電圧を時間的に変えることにより、例えば、

- ① 打鍵直後は高調波も基本波も大きい振幅をもつ
 - ② 徐々に高調波は減衰して基本波のみを持続させる
- というような制御(ピアノの音)もできます。

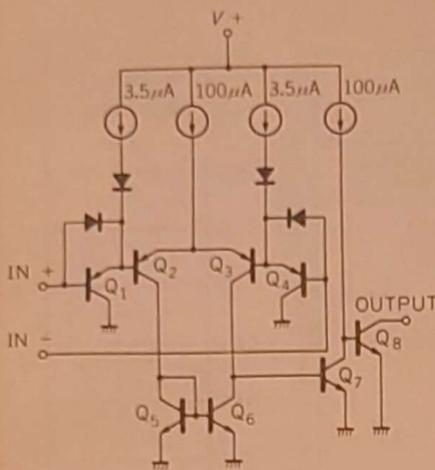
▶ワイヤードOR

TMS3631の各フィート出力は、TOS方式のため同期しています。

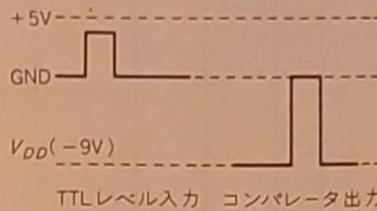
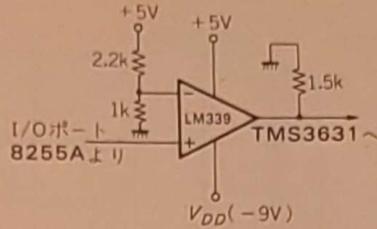
<図10> (※) TMS3631によるシンセサイザ構成例



<図11> (**3) LM339等価回路とレベル変換回路



(a) 等価回路



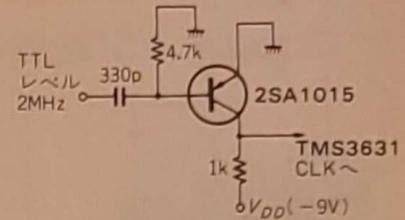
(b) レベル変換回路

そこで、図13(c)のように、ワイヤードOR回路にすると、出力方形波のデューティを50%、25%、12.5%、6.25%と変えることができます。

●フィート出力のミキシング

楽器の音色は、主として基本波と

<図12> クロック回路



高調波がどのような比率で含まれているか、そしてその混合比がどのような時間的変化をするかによって決まります。TMS3631でいろいろな楽器の音色をつくるためには、8種類のフィート出力をうまくミキシングして、もとの楽器に近い高調波比率を再現すればいいわけです。

TMS3631の出力は、すべてデューティ50%の方形波です。この波形をフーリエ級数展開すると、

$$f(t) = A \left(\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos \omega_0 t - \frac{2}{3\pi} \cos 3\omega_0 t + \dots \right)$$

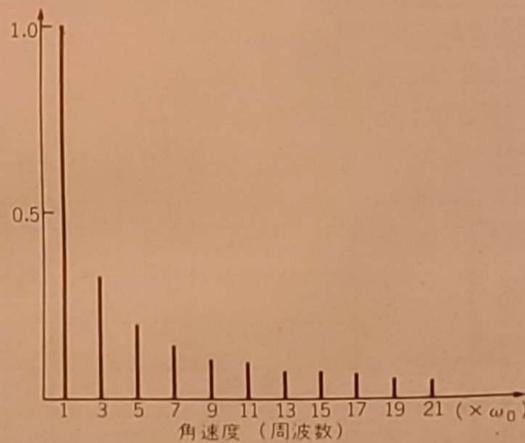
$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f_0$$

T: 基本周期
となります。直流分とゲイン定数を無視すると、

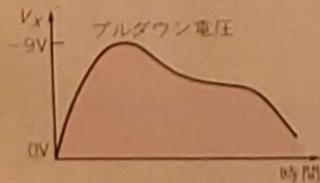
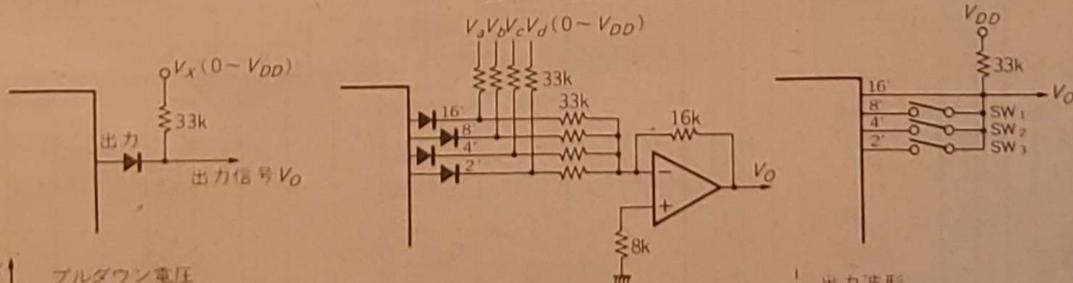
$$f'(t) = \cos \omega_0 t - \frac{1}{3} \cos 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \cos 5\omega_0 t \dots$$

と表せます。つまり、図14のように、奇数次の高調波が高次になるほど減

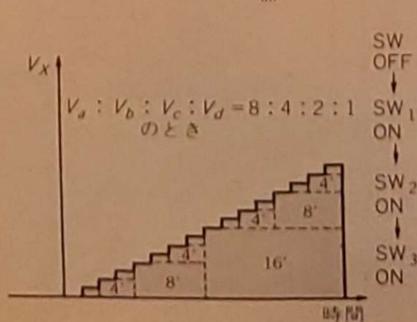
<図14> 方形波のスペクトル



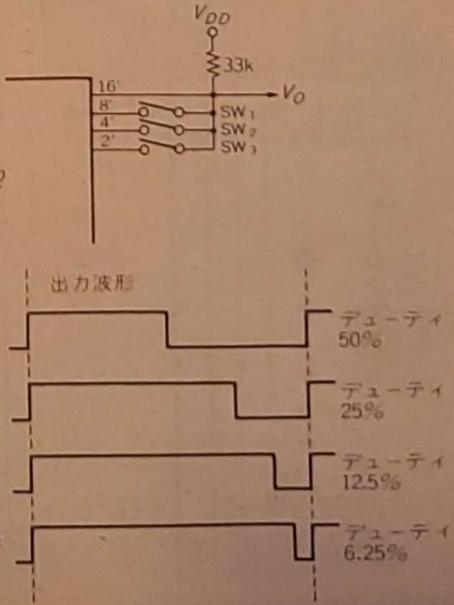
<図13> 出力回路



(a) エンベロープ制御

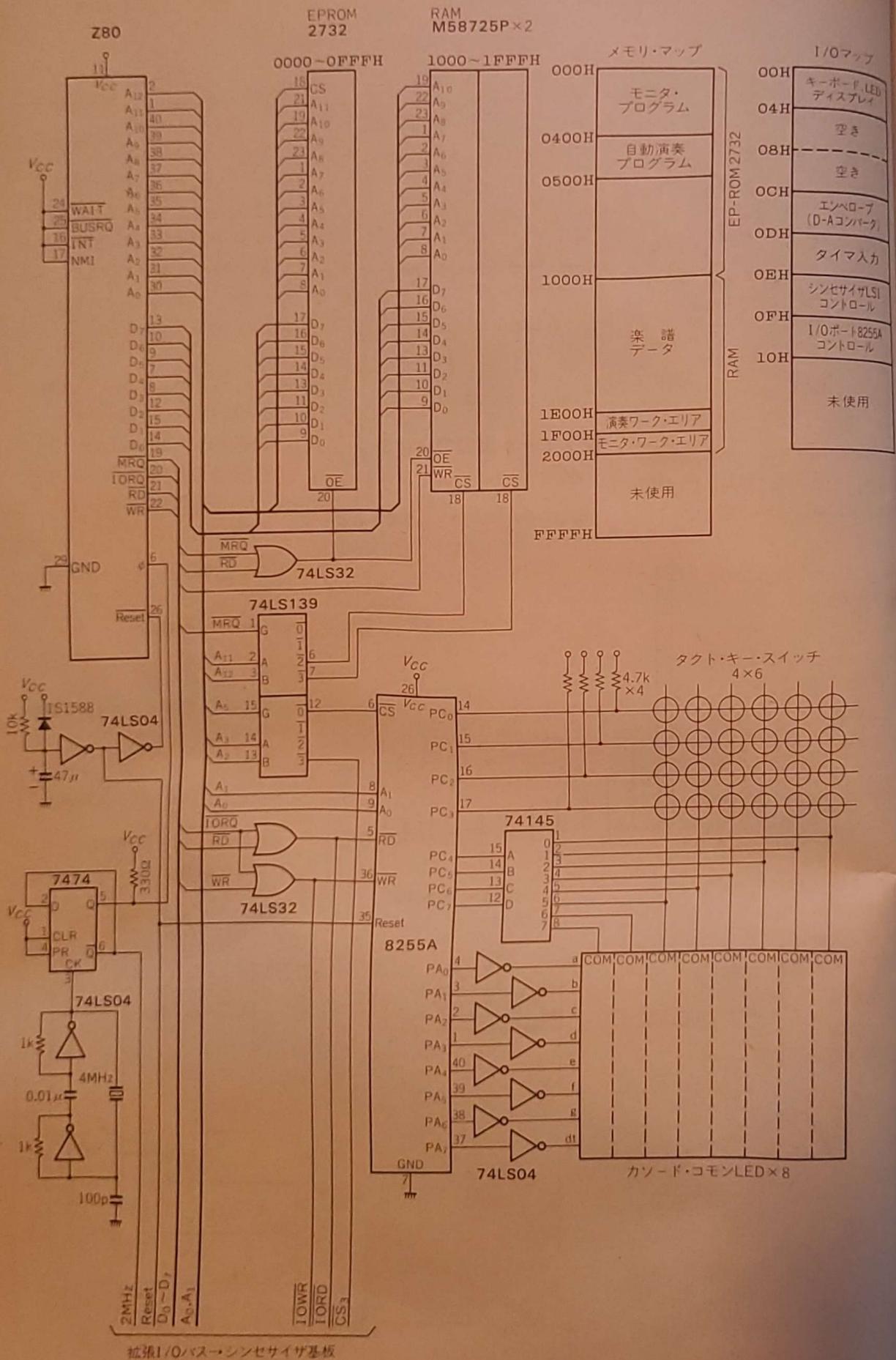


(b) フィート出力のミキシング



(c) ワイヤードORにより、デューティを変える

<図15> 制御用マイコン部回路



<表4>
各フィート出力の
フーリエ級数展開

$$\begin{aligned}
 16' \quad f(t) &= \cos \omega t - \frac{1}{3} \cos 3 \omega t + \frac{1}{5} \cos 5 \omega t \dots \\
 8' \quad f(t) &= \cos 2 \omega t - \frac{1}{3} \cos 6 \omega t + \frac{1}{5} \cos 10 \omega t \dots \\
 4' \quad f(t) &= \cos 4 \omega t - \frac{1}{3} \cos 12 \omega t + \frac{1}{5} \cos 20 \omega t \dots \\
 2' \quad f(t) &= \cos 8 \omega t - \frac{1}{3} \cos 24 \omega t + \frac{1}{5} \cos 40 \omega t \dots \\
 10' \frac{2}{3} \quad f(t) &= \cos \frac{3}{2} \omega t - \frac{1}{3} \cos \frac{9}{2} \omega t + \frac{1}{5} \cos \frac{15}{2} \omega t \dots \\
 5' \frac{1}{3} \quad f(t) &= \cos 3 \omega t - \frac{1}{3} \cos 9 \omega t + \frac{1}{5} \cos 15 \omega t \dots \\
 2' \frac{2}{3} \quad f(t) &= \cos 6 \omega t - \frac{1}{3} \cos 18 \omega t + \frac{1}{5} \cos 30 \omega t \dots \\
 1' \frac{1}{3} \quad f(t) &= \cos 12 \omega t - \frac{1}{3} \cos 36 \omega t + \frac{1}{5} \cos 60 \omega t \dots
 \end{aligned}$$

衰えています。偶数次の高調波が含まれないこのスペクトルは、フルートの音色に近いといわれています。

フィート出力16'の基本波角速度を ω_0 とすると、各フィート出力のフーリエ級数展開は、表4のようになります。これをみても、フィート出力が増えるにつれて、多くの高調波=豊かな音色が得られることがわかります。

従来、シンセサイザの音源としては、方形波、のこぎり波、パルス波、三角波などの中から選択されていました。図13(b), (c)の例よりわかるように、八つのフィート出力は、従来の方形波、のこぎり波、パルス波を近似的にカバーします。そしてさらに、このフィート出力合成方式は、従来なかった新しい音の可能性をも秘めているのではないのでしょうか。

●自動演奏システムの試作

図10のような本格的なシンセサイザ設計の基礎データを得るため、簡

単な自動演奏システムを試作しました。制御部は図15に示すように、CPU(Z80)、ROM(8KB)、RAM(8KB)およびキー(24個)、LEDディスプレイ(7セグメント8桁)を備えたトレーニング・ボードです。これは、筆者の所属する団体のマイコン教材として設計したもので、たいへんシンプルなものです(写真1)。

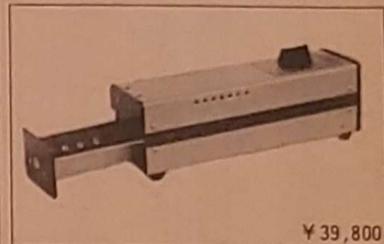
ROMアドレス0000H~03FFHにはモニタ・プログラムが入っており、今回のような試作時のハードおよびソフトのデバッグに役立ちます。EPROMの空きエリア0400H~04FFHには、図17の自動演奏プログラムを格納しました。

1000H~1FFFHは、16KスタティックRAM2個によるRAMエリアになっています。このうち、1F00H~1FFFHはモニタ・プログラムが、スタックおよびワーク・エリアとして使います。また、1E00H~1EFFFHを自動演奏プログラムのワーク・エリアとして使うことにしました。残りの1000H~1DFFFHが楽譜記憶用の

<写真1>
シンセサイザ・コントロール部



QE401 高速ロムイレーサー



¥ 39,800

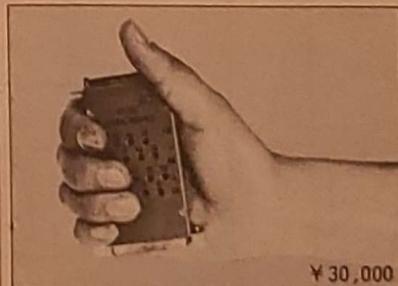
QE401 高速ロムイレーサーは紫外線源に理想的な石英管を使った高能率・長寿命のイレーサーです。

従来のもに較べて1/2から1/4の時間で消去出来、寿命も3倍以上です(当社比)

- 24Pin EPROM 12ヶ 同時消去可能
- 28Pin EPROM 10ヶ
- 定格—100V、10W、50又は60Hz
- 寸法—110H×80W×285L(mm)
- 重量—2kg

モデム(RS-232)

インターフェイスの
チェックに SZ-7 RS232
SIGNAL MONITORを!



¥ 30,000

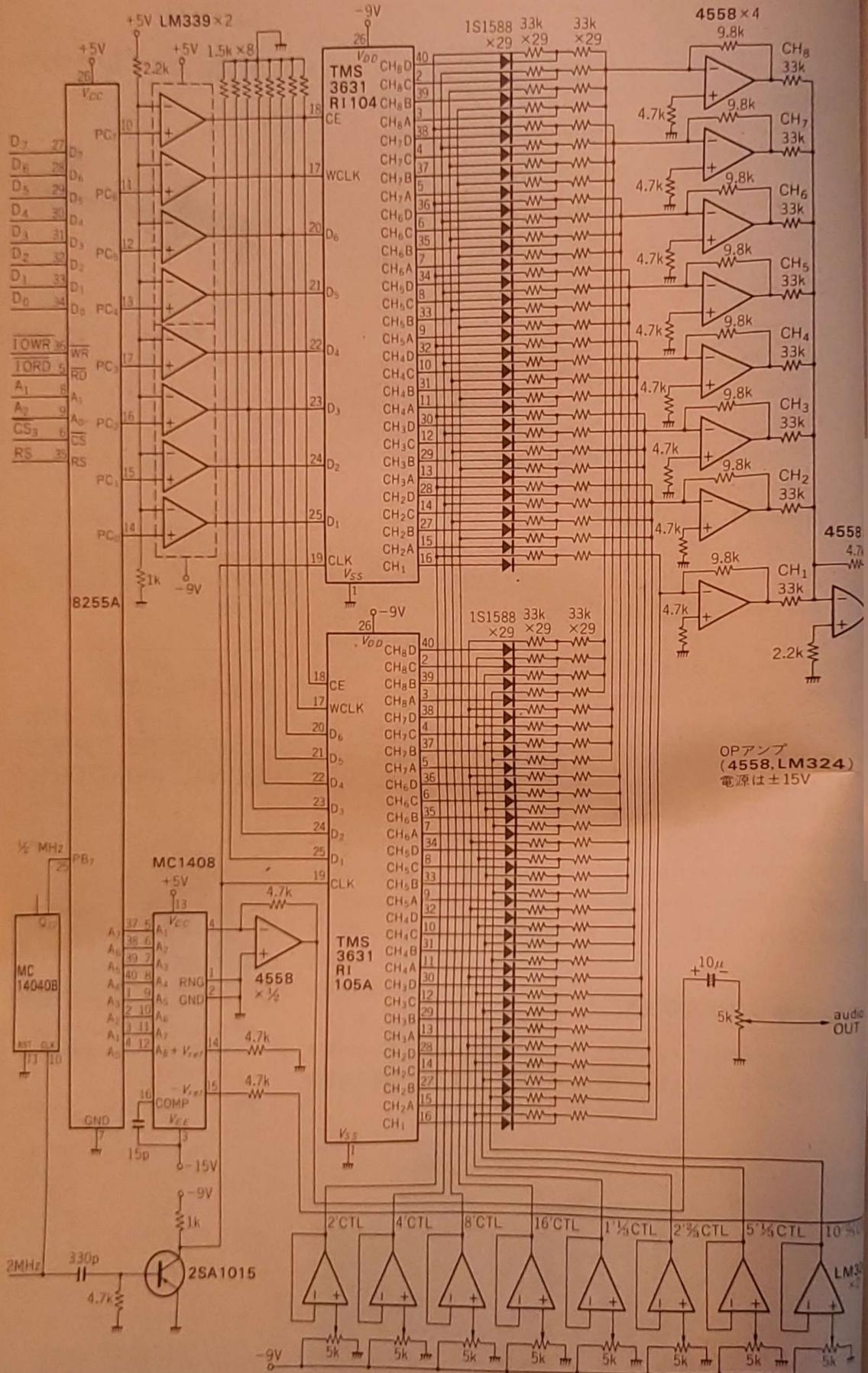
- モデム(RS-232)インターフェイス接続のライン間に接続して下記信号をLEDでモニターします。

DTE → DCE		DCE → DTE	
PIN NO.		PIN NO.	
2	TD (SD)	3	RD (RD)
4	RTS(RS)	5	CTS(CS)
11	(NS)	6	DSR(DR)
14	(NS)	8	DCD(CD)
20	DTR(ER)	15	TC (ST)
23	(SDS)	17	RC (ST)
24	(TC)(ST)	21	SO(SOD)
		22	RI (CI)

シスト株式会社

〒101 東京都千代田区内神田2丁目1番15号 ☎254-6021(代)

<図16> 試作シンセサイザ部回路



OPアンプ
(4558, LM324)
電源は±15V

スライド・ボリューム

<図17>
自動演奏プログラム・リスト

ADRS	CODE	LINE	SOURCE	STATEMENT	0434	10EE	0076	DJNZ	GETC
>000C	0001	ENUC	EDU	BCH	0434	10EE	0076	DJNZ	GETC
>000D	0002	CLOCK	EDU	ENUC+1	0436	FA3F	0077	AND	3FH
>000E	0003	LS1	EDU	ENUC+2	0437	D30E	0078	OUT	(LS1),A
>000F	0004	CTL	EDU	ENUC+3	043A	22061E	0079	LD	(BUFADR),HL
>1000	0005	BUFFER	EDU	1000H	043D	3E00	0080	LD	A,C
	0006				043E	32001E	0081	LD	(CNT1),A
	0007				043F	320A1E	0082	LD	(CNT2),A
	0008				0440	00	0083	STP	
>0400	0007	DRG	400P		0439	308A1E	0084	FUL	LD
0400	0008	CALL	INIT		043A	FE01	0085	CP	A,(CNT2)
	0009				043B	271D	0086	CP	A,C
	0010				043C	FE02	0087	TR	Z,DEC
0403	0011	NXT	CALL	SET	043D	223A	0088	CP	Z
0406	0012	NXTC	CALL	WAIT	043E	FE03	0089	CP	Z,SUS
0408	0013		LD	HL,CNT1	043F	2745	0090	CP	Z
040C	0014		INC	(HL)	0440	D80C	0091	IN	Z,REL
0410	0015		LD	A,(PT)	0441	21001E	0092	LD	A,(ENUC)
0413	0016		CP	(HL)	0442	3E	0093	LD	HL,PA
0414	0017		JR	NZ,NXTC	0443	3E00	0094	ADD	A,(HL)
0416	0018		LD	(HL),B	0444	3E00	0095	JR	NC,ATX0
0418	0019		LD	HL,CNT0	0445	3EFF	0096	LD	A,CFFH
041E	0020		DEC	(HL)	0446	D80C	0097	OUT	(ENUC),A
041C	0021		JR	NZ,NXTC	0447	3E01	0098	LD	A,Z1
041E	0022		LD	HL,(BUFADR)	0448	320A1E	0099	LD	(CNT2),A
0421	0023		LD	A,(HL)	0449	00	0100	RET	
0422	0024		CP	OFFH	044A	D80C	0101	ATX0	OUT
0424	0025		JR	NZ,NXT	044B	00	0102	RET	(ENUC),A
0426	0026		LD	HL,BUFFER	044C	D80C	0103	DEC	IN
0428	0027		LD	(BUFADR),HL	044D	21011E	0104	LD	A,(ENUC)
042C	0028		JR	NXT	044E	00	0105	SWB	HL,PD
	0029				044F	3E00	0106	JR	NC,DECR
	0030				0450	3E00	0107	LD	A,0
042E	0031	INIT	LD	A,10000010B	0451	21021E	0108	DEC2	LD
0430	0032		OUT	(CTL),A	0452	EE	0109	CP	HL,PSL
0432	0033		LD	A,0	0453	308E	0110	JR	NC,DEC1
0434	0034		OUT	(ENUC),A	0454	7E	0111	LD	A,(HL)
0436	0035		LD	A,30H	0455	D80C	0112	OUT	(ENUC),A
0438	0036		OUT	(LS1),A	0456	3E02	0113	LD	A,02
043A	0037		LD	B,3	0457	320A1E	0114	LD	(CNT2),A
043C	0038	INIT0	LD	A,000H	0458	3E00	0115	LD	A,C
043E	0039		OUT	(LS1),A	0459	320E1E	0116	LD	(CNT3),A
0440	0040		LD	A,30H					
0442	0041		OUT	(LS1),A	04D7	00	0117	RET	
0444	0042		DJNZ	INIT0	04D8	D80C	0118	DEC1	OUT
0446	0043		LD	A,0	04D9	00	0119	RET	(ENUC),A
0448	0044		OUT	(LS1),A	04DA	210B1E	0120	SUS	LD
044A	0045		LD	HL,BUFFER	04DB	34	0121	INC	HL,CNT3
044C	0046		LD	(BUFADR),HL	04DC	3A031E	0122	LD	A,(PS1)
0450	0047		RET		04DE	3E	0123	CP	(HL)
	0048				04DF	02	0124	RET	NZ
0451	0049	WAIT	IN	A,(CLOCK)	04E0	3E03	0125	LD	A,03
0453	0050		BIT	Z,A	04E1	320A1E	0126	LD	(CNT2),A
0455	0051		JR	Z,WAIT	04E2	00	0127	RET	
0457	0052	WAITL	IN	A,(CLOCK)	04E3	00	0128	REL	IN
0459	0053		BIT	Z,A	04E4	D80C	0129	LD	A,(ENUC)
045B	0054		JR	NZ,WAITL	04E5	21041E	0130	LD	HL,PR
045D	0055		RET		04E6	00	0131	SWB	(HL)
	0056				04E7	3E02	0132	JR	NC,RELD
045E	0057	SET	LD	HL,(BUFADR)	04E8	3E00	0133	LD	A,0
0461	0058		LD	A,30H	04E9	D80C	0134	OUT	(ENUC),A
0463	0059		OUT	(LS1),A	04EA	00	0135	RET	
	0060								
0465	0061		LD	A,(HL)	>1E00	0136	DRG	1E00H	
0466	0062		LD	(CNT2),A	1E00	22	0137	PC	DEFB
0468	0063		INC	HL	1E01	10	0138	PD	DEFB
046A	0064		LD	A,000H	1E02	AC	0139	PSL	DEFB
046C	0065		OUT	(LS1),A	1E03	30	0140	PST	DEFB
046E	0066		AND	50H	1E04	20	0141	FR	DEFB
0470	0067		OUT	(LS1),A	1E05	30	0142	PT	DEFB
0472	0068		LD	B,7			0143		
0474	0069	GETC	LD	A,(HL)	>1E06	0144	BUFADR	DEFS	2
0476	0070		AND	3FH	>1E07	0145	CNT3	DEFS	1
0478	0071		OR	50H	>1E08	0146	CNT1	DEFS	1
047A	0072		OUT	(LS1),A	>1E09	0147	CNT2	DEFS	1
047C	0073		OR	000H	>1E0A	0148	CNT3	DEFS	1
047E	0074		OUT	(LS1),A	>1E0B	0149			
0480	0075		AND	00FFH		0150	END		
0482	0076		OUT	(LS1),A					
0484	0077		LD	A,30H					
0486	0078		INC	HL					

エリアです。

図16が、シンセサイザ部の回路図です。制御はすべてI/Oポート8255Aを通して行います。

フィード出力のミキシングは、図13(b)の電圧制御方式です。従来のように、抵抗値を変えてミキシング比を制御しようとする、今回のような場合、CH₁~CH₈の8本のボリュームを連動して変化させなければなりません。そこで、この困難を

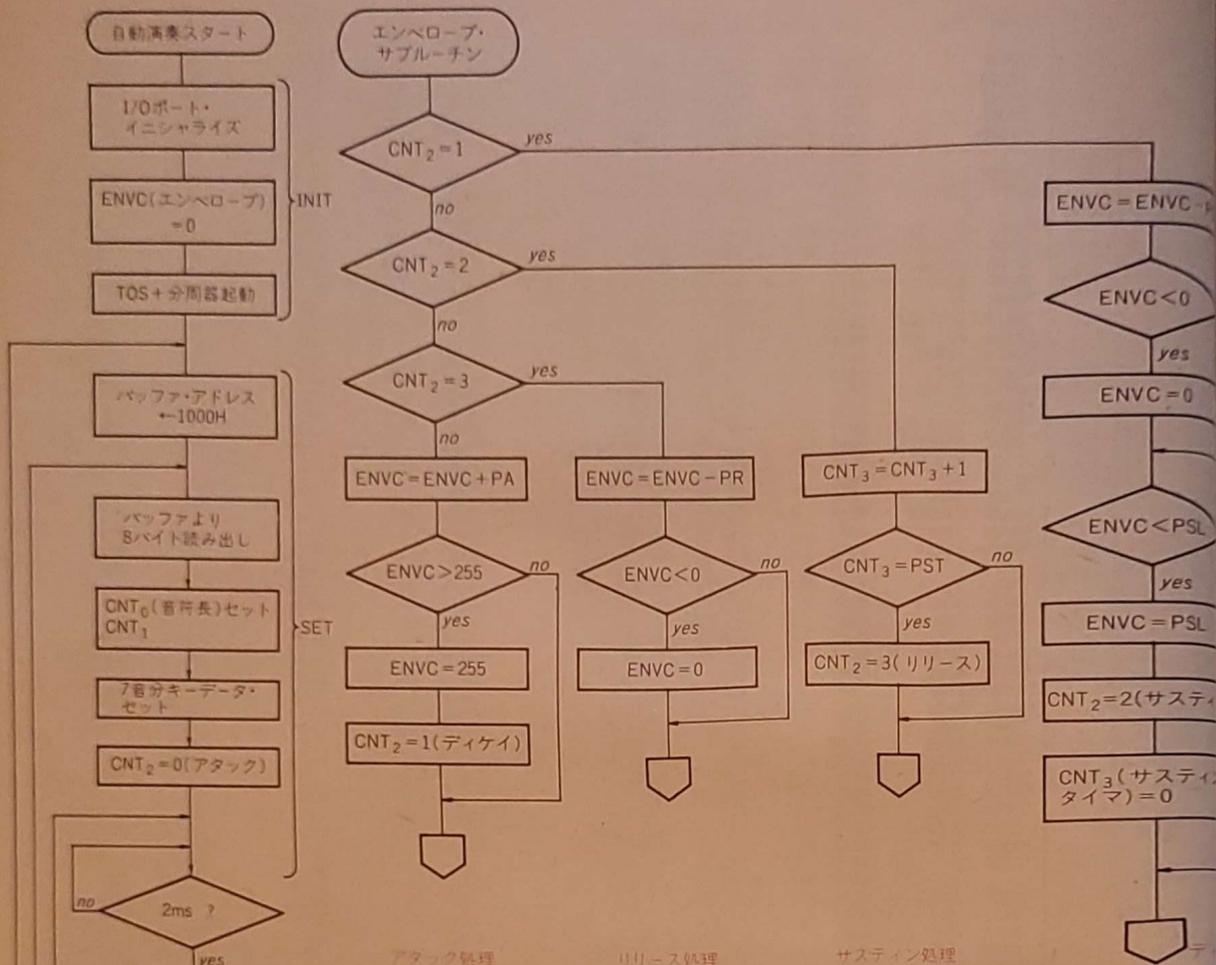
避けるため、図のように8個のスライド・ボリュームで設定した電圧(0~9V)でフィード出力の波高値をコントロールすることにしました。

図5の出力等価回路では、ドレイン側のオン抵抗は1MΩ以上となっていますが、今回のようにプルダウン電圧を0~V_{DD}(-9V)と広い範囲に変えた場合、この特性は保証されていないようです。そこで、完全な“オープン・ドレイン特性”が得ら

れるように、各フィード出力にスイッチング・ダイオードを付けました。

各チャンネルの出力は、OPアンプ4558でミキシングしたのち、乗算型D-AコンバータMC1408でエンベロープ・コントロールを行います。本当は、各チャンネル別にエンベロープ・コントロールを行った後、ミキシングをしなければ、このLSIの特長が生きてこないのですが、とりあえず今回はLSIの性能評価のための試

<図18> 自動演奏プログラム・フローチャート



作ということで、このような回路にとどめました。

MC1408は、基準入力電圧 V_{ref} とデジタル設定値の積が出力される乗算型です。ふつうのD-Aコンバータとして使う時は、一定値の基準電圧を V_{ref} に加えるのですが、ここではTMS3631でつくられた音響信号を加えて、デジタル的にエンベロープのコントロールを行います(音響出力がマイナス電圧ですので、 V_{ref} 端子は接地して、 $-V_{ref}$ 端子に加えています)。

また、2MHzをMC14040で 2^{12} 分周したクロックを、I/OポートのPB₇

から読み込み、制御プログラムの時間信号としています。

●自動演奏のプログラム

この試作システムのプログラム・リストを図17に、フローチャートを図18に示します。まず、I/Oポート8255Aのイニシャライズをしたのち、各チャンネルに0データを書き込みつつ、TOS+分周器の起動をします。Z80を2MHzで動かした場合、

```
LD    A, 80H
OUT   (LSI), A
```

と実行しただけで、 $9\mu s(18T$ ステート)かかりますので、TMS3631のタイムチャートは十分満たされています。

楽譜の記憶フォーマットを図19に示します。1和音は最高7音までとし、音符の長さ指定を含めて8バイトで表します。各音の指定は、TMS3631の6ビット・コードで行い、音

符の長さは16分音符を1として、進数で表します。例えば、付点2音符は $0C_{16}$ です。

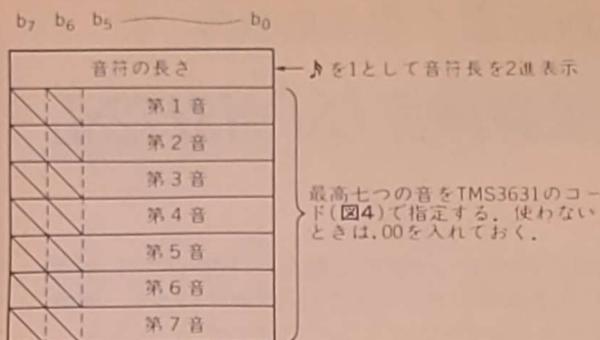
1組の和音をTMS3631にセットしたのち、CPUは音符の長さを変えながら、エンベロープ処理を行います。I/Oポート8255AのPB₇から読み込んだ時間信号(2.048ms)は、このために使います。

詳細はフローチャートとプログラム・リストを参照していただくといいでしょう。プログラム中の定数と変数(カウンタ)の意味だけを表5に示しておきます。

●試聴

モニタを使って、1000H番地以降に楽譜データを書き込み、PA、PSL、PST、PR、PTを変えながら自動演奏させてみました。その結果、フィード出力のミキシングについては、当初の期待にそったものが得

<図19> 楽譜データ・フォーマット



れました。8個のフィート・ミキシング・ボリュームを少しずつ動かすたびに、異なった音色が次々出てきます。

ひとつひとつの音を表現する適切なことばがなく残念ですが、それぞれ個性のある、たいへん美しい音色です。一度、ご自分の耳で確かめられることをおすすめします。

D-Aコンバータによるエンベロープ・コントロールも、当初心配したほどのノイズもなく、一応、期待どおりの効果が得られました。しかし、ピアノの音色などをそっくり再現するためには、もう少し工夫の余地がありそうです。今回はコントロールを容易にするため直線で近似していますが、減衰曲線に変えるなど、いろいろ工夫してみたいと思います。

また、この試作ではカット・オフ周波数やハイパス・フィルタ、ビブラート、エコーなどの効果は一切行わず、いきなりアンプにつながし

フィート出力…

オルガンとは、足で空気を送ることによって音を出す楽器であったことを憶えている人は少なくなったかもしれませんが。それほど電子技術を駆使した電子オルガンは世の中に広く普及しています。

電子オルガンは様々な音色を出すことができます。フルート、トロンボーン、トランペット、バイオリン、ピアノ、ストリングスなど様々なキ

ーが鍵盤の上のほうに並んでいるのを見たことがあると思います。

しかし、基本になっているのはフルート系の音です。米国ハモンド社の電子オルガンにおいて、8'(フィート)、4'(フィート)、16'(フィート)というフルートの音色をつけたのが始まりです。

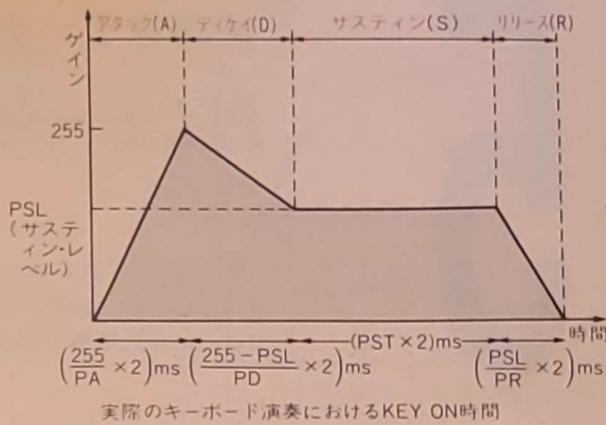
これは、電子オルガンの音色をパイプ・オルガンに似せたことによるのですが、パイプ・オルガンの音階

は、パイプの長さによって変わります。

そこで、C₁の音のパイプの長さが8フィートであることから、C₁の音が出る音階を8'としたものです。4'は1同じ鍵盤を押すと8'より1オクターブ高い音が出ます。逆に16'では1オクターブ低い音が出ます。

さらに、10²/₃、5¹/₃、2²/₃、1¹/₃などは、完全5度シフトされた音階が出力されるようになっています。

<図20> エンベロープ(ADSR)のコントロール



<表5> プログラム中の定数と変数の意味

PA	アタック係数。2msごとに、PA/255ずつエンベロープを増加させる。	CNT 0	現在演奏中の音符の残り時間(16分音符を1とする)。
PD	ディケイ係数。PD/255ずつエンベロープを減衰させる。	CNT 1	テンポ・カウンタ。CNT 1 = PTとなったとき、16分音符1個分の時間とする。
PSL	サステイン・レベル	CNT 2	エンベロープ・コントロールのためのインジケータで、現在の状態を指示する。 0 ; アタック 1 ; ディケイ 2 ; サステイン 3 ; リリース
PST	サステイン・タイム。実際のキーボード演奏では、演奏者がキーを押している時間に相当。自動演奏なので、PST × 2msをプログラム定数で指定する。	CNT 3	サステイン時間カウンタ。CNT 3 = PSTの時、サステイン終了。
PR	リリース。PD/255ずつエンベロープを減衰させる。(以上、エンベロープ・コントロールは図20参照)		
PT	テンポ。2.048ms × PTが16分音符1個分の時間となる。		

た。この出力を、以前から培われてきたアナログ手法とうまく結合すれば、音の幅と深さはよりいっそう広がるものと、期待されます。

◆参考・引用文献◆

(1)* TI半導体技術資料, No. 10, 1982年

10月15日

- (2)* TMS3631データ・シート
- (3)* NS, リニアIC・ハンドブック
- (4) モトローラ・インターフェース・データブック
- (5) カワイ音楽教室編, 音楽の理論, 1983年3月